

References

1. Rodionenko G.I. Postigaya tainy prirody (Sud'ba moya – irisy). – SPb.: RIO GBOU SPO «SPbIPT», 2013. – 260 s.
2. McEwen C. The Siberian Iris. – Portland, Oregon, 1996. – 206 p.
3. Warburton B. The world of Irises. – Wichita, Kansas, 1995. – 494 p.
4. Tamberg T. Apogon notes from the Tamberg Garden // The 1980 Iris Year Book. – Kent (British), 1980. – P. 75-78.
5. Shidara H. Iris species and cultivars in the World. – The Japan Iris Society, 2005. – P. 247.
6. Dolganova Z.V. Istochniki, donory i kandidaty v sorta Iris sibirica L. i Iris ensata Thunb. // Genofond i selektsiya rastenii: doklady i soobshcheniya / I Mezhd. nauch.-prakt. konf / Sib. NIIRiS. – Novosibirsk, 2013. – T. 2. – S. 129-136.
7. Metodika gosudarstvennogo ispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Dekorativnye kul'tury. – M.: Kolos, 1968. – Vyp. 6. – 223 s.



УДК 581.174: 582.632.1

О.Л. Цандекова  
O.L. Tsandekova



**ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ПИГМЕНТОВ  
В ЛИСТЬЯХ *BETULA PENDULA* ROTH.  
В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА  
УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**THE DYNAMICS OF PIGMENT ACCUMULATION IN LEAVES  
OF *BETULA PENDULA* ROTH. IN A MINING ROCK DUMP**

**Ключевые слова:** *Betula pendula* Roth., листья, хлорофилл а, хлорофилл b, сумма хлорофиллов, каротиноиды, породный отвал, эмбриоземы, угольный разрез.

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. В качестве диагностического признака состояния древесных растений к неблагоприятным экологическим условиям окружающей среды относится качественный и количественный состав пигментной системы. Содержание пигментов является показателем потенциальной фотосинтетической способности растений и служит индикатором общего состояния растительного организма. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *B. pendula* определяли спектрофотометрическим методом и рассчитывали по формулам Mac-Kinney и Wettstein. Представлены результаты по накоплению фотосинтетических пигментов в листьях *B. pendula* в условиях породного отвала «Южный» Кедровского угольного разреза. У растительных образцов выявлены более высокие концентрации хлорофилла а и суммы хлорофиллов, по сравнению с хлорофиллом b и суммой каротиноидов. Содержание зеленых пигментов в ассимиляционном аппарате растений превышало количество желтых в среднем в 2,5 раза. Максимальные значения хлорофиллов и каротиноидов в листьях *B. pendula* отмечены в июле, в августе – их снижение. Исследованиями установлено, что возрастают отклоне-

ния в содержании пигментов и их соотношении от контрольных значений. Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния древесных растений и в качестве информативного параметра для фитоиндикации в озеленении.

**Keywords:** *Betula pendula* Roth, leaves, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophylls, carotenoids, mining rock dump, embryozem, surface coal mine.

The rock dumps arising from surface mining have their features in terms of environmental conditions. Silver birch (*Betula pendula* Roth.) is the most suitable tree for phytomelioration under the conditions of the rock dumps of Kuzbass due to its high seed activity and low requirement to soil fertility. The qualitative and quantitative composition of the pigment system serves as a diagnostic sign of the state of woody plants under adverse environmental conditions. The content of pigments is an indicator of potential photosynthetic ability of plants and an indicator of the general state of the plant organism. The content of photosynthetic pigments in leaves of *B. pendula* was determined by spectrophotometry and calculated using the formulae of MacKinney and Wettstein. The data on the accumulation of photosynthetic pigments in leaves of *B. pendula* in a rock dump "Yuzhnyiy" of the "Kedrovskiy" surface coal mine is presented. The studied plant samples revealed higher concentration of chlorophyll a and total chlorophylls as compared to chlorophyll b and total carotenoids. The content of green pigment in plant assimilation system exceeded the amount of yellow pigments 2.5 times on average. The maximum values of chlorophylls and carotenoids in the leaves

of *B. pendula* were revealed in July; the values decreased in August. The experimental data may be used for the evaluation of woody plants and as an

informative parameter for phytoindication in landscaping.

**Цандекова Оксана Леонидовна**, к.с.-х.н., н.с., Институт экологии человека СО РАН, г. Кемерово. Тел.: (83842) 57-50-79. E-mail: zandekova@bk.ru

**Tsandekova Oksana Leonidovna**, Cand. Agr. Sci., Staff Scientist, Institute of Human Ecology of Siberian Branch of Rus. Acad. of Sci., Kemerovo. Ph.: (3842) 57-50-79. E-mail: zandekova@bk.ru.

### Введение

Отвалы, возникающие при открытой добыче полезных ископаемых, специфичны по экологическим условиям. В условиях породных отвалов Кузбасса, сложенных аргиллитами, алевролитами и песчаниками, пригодными для фитомелиорации являются некоторые виды древесных растений. Одной из наиболее перспективных пород является *Betula pendula* Roth., благодаря ее высокой семенной активности и малотребовательности к плодородию почв [1].

В качестве диагностического признака состояния древесных растений к неблагоприятным экологическим условиям окружающей среды относится качественный и количественный состав пигментной системы. По мнению ряда авторов, содержание пигментов является показателем потенциальной фотосинтетической способности растений и служит индикатором общего состояния растительного организма [2-6]. Представленные в литературе сведения о состоянии пигментной системы, динамики и соотношении ее компонентов не дают четкого представления о механизмах адаптации листовых растений на техногенно нарушенных почвах. В связи с этим актуальным остается вопрос об участии пигментного комплекса в механизмах адаптации и выживания *B. pendula* в экстремальных экологических условиях угольных отвалов.

**Цель** исследований – проанализировать динамику накопления фотосинтетических пигментов в листьях *B. pendula* в условиях породного отвала «Южный» Кедровского угольного разреза.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования служила *Betula pendula* Roth. Эксперимент проведен на двух площадках наблюдений (ПН): ПН № 1 (опыт) – спланированный породный отвал со 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, его возраст – 30-35 лет. Породы отвала представлены песчаником (60%), алевролитами (20%), аргиллитами (15%), суглинками и

глинами (5%). Преобладающей фракцией являются крупные агрегаты (от 3 до 10 мм и более), содержание мелких частиц снижено. По агрохимическим показателям эмбриоземы ПН характеризуются высокой обеспеченностью обменным калием (100-240 мг/кг) и низкой обеспеченностью подвижным фосфором (10-50 мг/кг). На ПН № 1 отмечается средняя обеспеченность нитратным азотом (9,5-13,8 мг/кг). Эмбриоземы ПН № 2 в сравнении с ПН № 1 характеризуются низкими значениями обменного фосфора и нитратного азота (10-20 и 3,6-6,0 мг/кг соответственно).

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *B. pendula* определяли спектрофотометрическим методом (с использованием спектрофотометра LEKI SS 1207) в трехкратной повторности и рассчитывали по формулам Mac-Kinney и Wettstein [7]. Статистический анализ данных выполнен с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1 и Microsoft Office Excel 2007. Статистическую значимость различий между вариантами определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента ( $p < 0,05$ ). Описание количественных признаков в исследованных площадках наблюдений производилось с использованием средних арифметических и среднеквадратических (стандартных) ошибок среднего ( $M \pm m$ , где  $M$  – среднее;  $m$  – ошибка среднего).

### Результаты исследований и их обсуждение

Анализ результатов исследований показал, что в листьях *B. pendula* содержание хлорофилла *a* варьировало в пределах от 0,89 до 1,29 мг/г, хлорофилла *b* – от 0,32 до 0,53 мг/г, суммы хлорофиллов – от 1,22 до 1,82 мг/г, суммы каротиноидов – от 0,53 до 0,66 мг/г (рис. 1, 2). В ассимиляционном аппарате исследуемых образцов в течение вегетации как опытных, так и контрольных вариантов отмечены более высокие концентрации хлорофилла *a* и суммы хлорофиллов ( $a+b$ ), по сравнению с хлорофиллом *b* и суммой каротиноидов. По-видимому, хлорофилл *a* из основных пигментов фотосинтеза обладает наибольшей стабильностью. Поскольку поддержание стабильного уровня концентрации молекул хлорофилла *a*, имеющего представительство как в реакционных центрах, так и в антенном комплексе, при

большей изменчивости «антенных» хлорофилла *b* и каротиноидов, является выражением поддержания физиологической нормы, необходимой для оптимизации протекания фотосинтетических процессов. Выявлено, что содержание зеленых пигментов в листьях березы повислой превышало количество желтых в среднем в 2,5 раза. Максимальное накопление пигментов у *B. pendula* отмечено в июле (до 1,82 мг/г), в августе – их снижение (до 0,33 мг/г). Наиболее низкие значения концентрации зеленых и желтых пигментов выявлены на площадке наблюдений (ПН № 1) у опытных растительных образцов, в сравнении с контрольными образцами на ПН № 2. Так, у березы повислой в течение вегетации концентрация хлорофилла *a* ниже на 17%, хлорофилла *b* – на 19, суммы хлорофиллов – на 18, суммы каротиноидов – на 14%, чем в контроле.

Соотношение количества хлорофиллов к содержанию каротиноидов в листьях *B. pendula* характеризует общее состояние ее ассимиляционного аппарата. По полученным данным выявлено, что показатель соотношения зеленых и желтых пигментов листьев березы незначительно различался на всех площадках наблюдений и варьировал в пределах от 2,46 до 2,76 (рис. 3). Видимо, данный показатель достаточно стабилен, и колебания параметра слабо зависят от экологических условий места произрастания березовых насаждений. Наиболее высокие значения отношения хл *a*/хл *b* у *B. pendula* отмечены в июне (от 2,94 до 3,05 мг/г), а отношение суммы хлорофиллов/сумме каротиноидов – в июле (от 2,55 до 2,76 мг/г). У опытных образцов отношение хл *a* /хл *b* выше в среднем на 4%, чем у контрольных образцов, однако значения отношения хлорофиллов к каротиноидам – ниже на 5%.

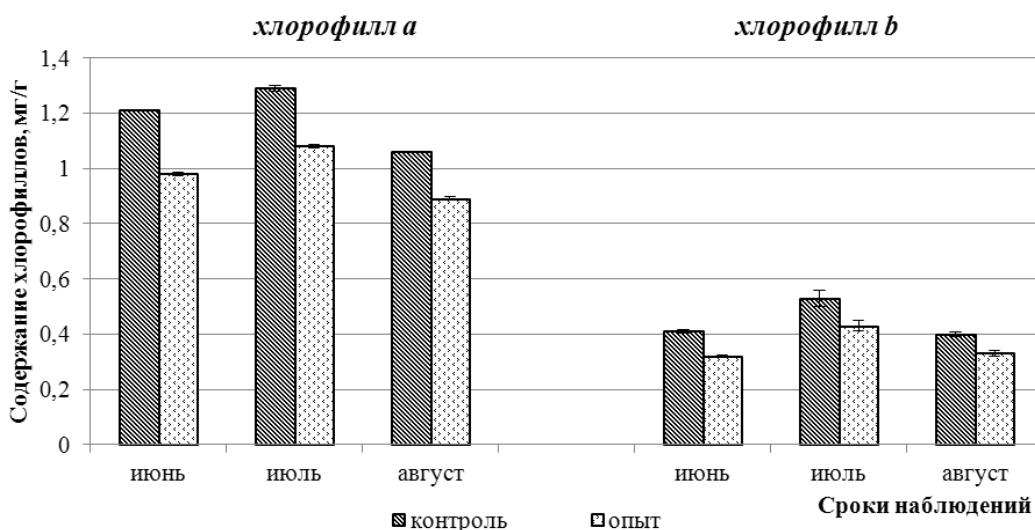


Рис. 1. Динамика накопления хлорофилла *a* и *b* в листьях *B. pendula* (средние данные 2013-2014 гг.)

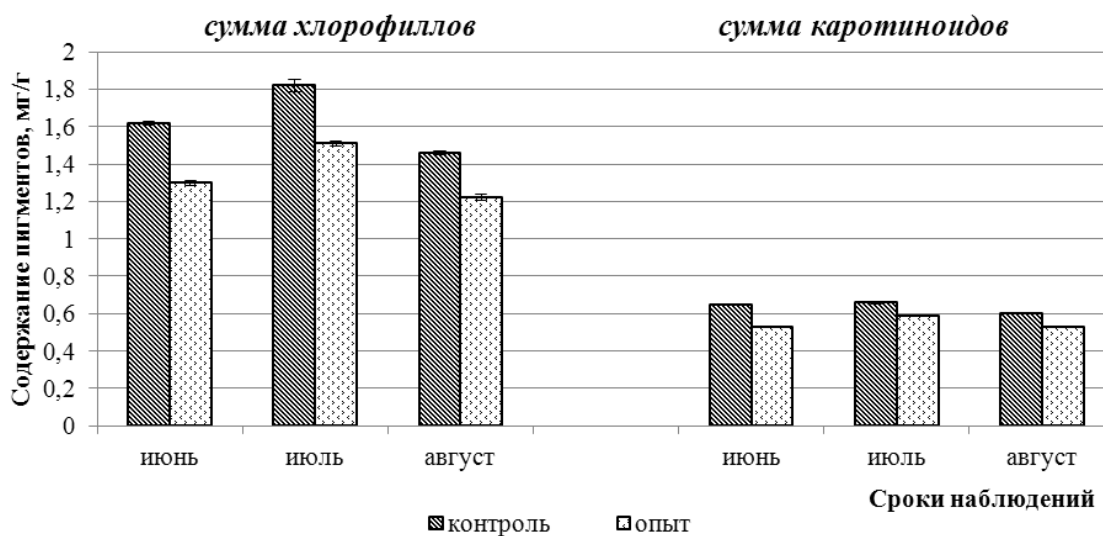


Рис. 2. Динамика накопления суммы хлорофиллов и каротиноидов в листьях *B. pendula*

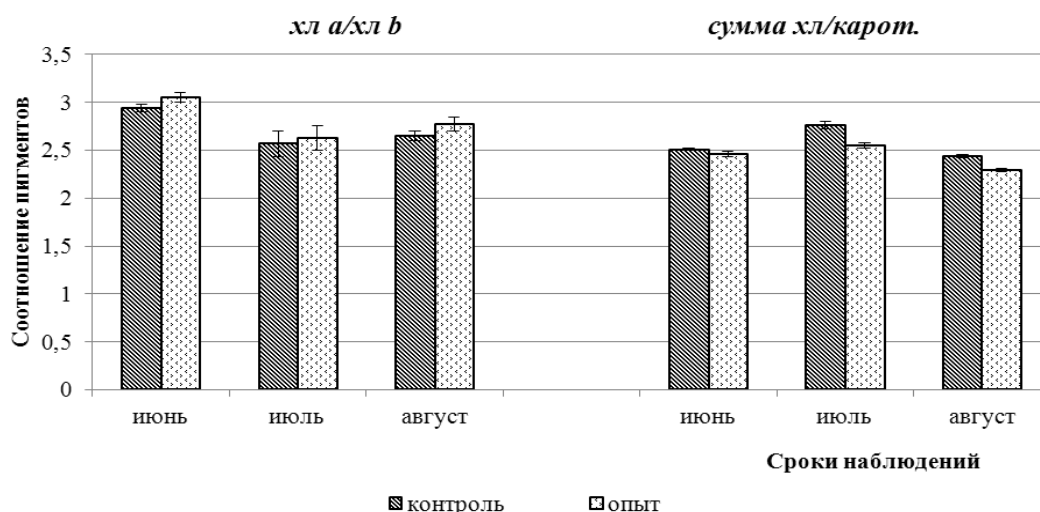


Рис. 3. Соотношение пигментов в листьях *V. pendula*

В литературе содержится немало сведений по содержанию фотосинтетических пигментов и их соотношению в листьях *V. pendula*, некоторые из них согласуются с нашими исследованиями. Снижение фотосинтетических пигментов в ассимиляционных системах растений подтверждается сведениями, содержащимися в ряде работ. Так, исследования, проведенные О.А. Маракаевым с соавторами, показали, что в листьях *V. pendula*, произрастающей в парках промышленного г. Ярославля с разным уровнем антропогенного загрязнения, уменьшалось накопление хлорофиллов *a*, *b* и увеличивалось – каротиноидов [8]. Яшин Д.А. и Зайцев Г.А. приводят данные о содержании пигментов фотосинтеза в листьях *V. pendula* в условиях Уфимского и Стерлитамакского промышленных центров в течение вегетационного периода [9]. Они считают, что содержание пигментов фотосинтеза (хлорофилл *a*, хлорофилл *b* и каротиноиды) в листьях березы повислой в условиях Уфимского промышленного центра в целом выше по сравнению с контролем. Установленные изменения в сезонном содержании пигментов фотосинтеза в данных промышленных центрах можно рассматривать в качестве адаптивных реакций на действие загрязнения.

Рыбаковой Е.А. и Кулагиным А.А. изучены особенности содержания основных пигментов фотосинтеза в листьях *V. pendula* в течение вегетационного периода в г. Уфа [10]. Установлено, что с увеличением загрязнения возрастают отклонения в содержании пигментов и их соотношении от контрольных значений. В течение вегетационного периода наблюдалась тенденция к снижению значений.

В работе О.А. Неверовой, А.А. Быкова дана оценка адаптивного потенциала *V. pendula* в условиях преобладающего влияния выбросов предприятий промзоны г. Кемерово по комплексу физиолого-

биохимических, морфологических и анатомических характеристик [11]. Экспериментально установлено, что по мере приближения к промзоне в листьях березы отмечено снижение содержания зеленых пигментов (хлорофиллов *a* и *b*), в то же время наблюдается возрастание относительного содержания хл *a/b*. Полученные данные свидетельствуют, что увеличение адаптивных перестроек у березы повислой на физиологическом уровне обеспечивают ее устойчивость в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово.

### Выводы

1. Динамика накопления фотосинтетических пигментов в листьях *V. pendula* зависела от различных экологических условий породного отвала Кедровского угольного разреза. Максимальные значения хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений отмечены на контрольном участке (ПН № 2).

2. В листьях березы повислой отмечены более высокие концентрации хлорофилла *a* и суммы хлорофиллов (*a+b*), по сравнению с хлорофиллом *b* и суммой каротиноидов.

3. Содержание зеленых пигментов в листьях *V. pendula* превышало количество желтых в среднем в 2,5 раза.

4. Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния древесных растений и в качестве информативного параметра для фитоиндикации в озеленении.

### Библиографический список

1. Баранник Л.П., Николайченко В.П. Лесная фитомелиорация техногенных земель в Кузбассе // Вестник Кузбасского технического университета. – Кемерово, 2007. – № 5. – С. 101-102.

2. Цандекова О.Л., Неверова О.А. Влияние выбросов автотранспорта на пигментный комплекс листьев древесных растений //

Известия Самарского научного центра РАН. – Самара, 2010. – Т. 12 (33). – № 1 (3). – С. 853-857.

3. Тужилкина В.В. Пигментный комплекс хвои сосны в лесах европейского Северо-Востока // Лесоведение. – 2012. – № 4. – С. 16-23.

4. Di Vittorio A.V. Pigment-based identification of ozone-damaged pine needles as a basis for spectral segregation of needle conditions // J. Environ. Quality. – 2009. – Vol. 38 (3). – P. 855-867.

5. Dobrota C., Lazar L., Baciu C. Assessment of physiological state of *Betula pendula* and *Carpinus betulus* through leaf reflectance measurements // Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. – 2015. – Vol. 216. – P. 26-34.

6. Garrity S.R., Eitel Jan U.H., Vierling L.A. Disentangling the relationships between plant pigments and the photochemical reflectance index reveals a new approach for remote estimation of carotenoid content // Remote Sensing of Environment. – 2011. – Vol. 115 (2). – P. 628-635.

7. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. – М.: Академия, 2003. – 256 с.

8. 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.

9. Яшин Д.А., Зайцев Г.А. Содержание пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой в условиях промышленного загрязнения // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2015. – № 4 (1). – С. 193-196.

10. Рыбакова Е.А., Кулагин А.А. Особенности содержания основных пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в течение вегетационного периода на территории г. Уфа республики Башкортостан // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – Т. 19. – № 3. – С. 1024-1028.

11. 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 (Ч. 1). – С. 551 (URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=18411>).

#### References

1. Barannik L.P., Nikolaichenko V.P. Lesnaya fitomelioratsiya tekhnogennykh zemel' v Kuzbasse // Vestnik Kuzbasskogo tekhnich-

eskogo universiteta. – Kemerovo, 2007. – № 5. – С. 101-102.

2. Tsandekova O.L., Neverova O.A. Vliyanie vybrosov avtotransporta na pigmentnyi kompleks list'ev drevesnykh rastenii // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. – Samara, 2010. – Т. 12 (33). – № 1 (3). – С. 853-857.

3. Tuzhilkina V.V. Pigmentnyi kompleks khvoi sosny v lesakh evropeiskogo Severo-Vostoka // Lesovedenie. – 2012. – № 4. – С. 16-23.

4. Di Vittorio A.V. Pigment-based identification of ozone-damaged pine needles as a basis for spectral segregation of needle conditions // J. Environ. Quality. – 2009. – Vol. 38 (3). – P. 855-867.

5. Dobrota C., Lazar L., Baciu C. Assessment of physiological state of *Betula pendula* and *Carpinus betulus* through leaf reflectance measurements // Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. – 2015. – Vol. 216. – P. 26-34.

6. Garrity S.R., Eitel Jan U.H., Vierling L.A. Disentangling the relationships between plant pigments and the photochemical reflectance index reveals a new approach for remote estimation of carotenoid content // Remote Sensing of Environment. – 2011. – Vol. 115 (2). – P. 628-635.

7. Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V. Bol'shoi praktikum po fotosintezu. – М.: Akademiya, 2003. – 256 с.

8. 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.

9. Yashin D.A., Zaitsev G.A. Soderzhanie pigmentov fotosinteza v list'yakh berezy povisloi v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2015. – № 4 (1). – С. 193-196.

10. Rybakova E.A., Kulagin A.A. Osobennosti sodержaniya osnovnykh pigmentov fotosinteza v list'yakh berezy povisloi (*Betula pendula* Roth.) v techenie vegetatsionnogo perioda na territorii g. Ufa respubliki Bashkortostan // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2014. – Т. 19. – № 3. – С. 1024-1028.

11. Neverova O.A., Bykov A.A. Otsenka adaptivnogo potentsiala *Betula pendula* Roth. v usloviyakh preobladayushchego vliyaniya vybrosov promzony g. Kemerovo // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2015. – № 2 (Ch.1). – С. 551 (URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=18411>).

