

# ЭКОЛОГИЯ

УДК 630\*16:582.475.4:582.632.1:581

О.Л. Цандекова  
O.L. Tsandekova

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ *PINUS SYLVESTRIS* (PINACEAE) И *BETULA PENDULA* (BETULACEAE) ПО НЕКОТОРЫМ БИОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### STATE ASSESSMENT OF *PINUS SYLVESTRIS* (PINACEAE) AND *BETULA PENDULA* (BETULACEAE) BY SOME BIOCHEMICAL INDICES IN A MINING ROCK DUMP

**Ключевые слова:** *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, пероксидаза, малоновый диальдегид, пролин, сахара, породный отвал.

Представлены результаты исследований по состоянию древесных растений на территории породного отвала угольного разреза «Кедровский». Объектами исследований служили насаждения *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная) и *Betula pendula* Roth. (береза повислая), произрастающие на территории породного отвала. Рассмотрен комплекс биохимических методов диагностики листьев древесных растений. В задачи исследований входили: оценка интенсивности перекисного окисления липидов по основному продукту – малоновому диальдегиду, определение активности пероксидазы и содержания пролина и сахаров в листовом аппарате древесных растений. Интенсивность перекисного окисления липидов определяли спектрофотометрическим методом с использованием 2-биобарбитуровой кислоты, активность пероксидазы – методом А.Н. Бояркина, содержание пролина – с помощью нингидринового реактива, уровень содержания сахаров – по описанию Филипцовой и Смолича. В ходе эксперимента в листовом аппарате древесных растений выявлено увеличение биохимических показателей – пероксидазы, малонового диальдегида, пролина и сахаров. Наибольшее повышение по активности пероксидазы и пролина установлено у *P. sylvestris*, по содержанию малонового диальдегида и сахаров – у *B. pendula*. У исследуемых деревьев выявлены различные значения признаков варьирования. Минимальный размах варьирования признаков отмечен по содержанию малонового диальдегида и сахаров, особенно у березы повислой; наибольшая вариабельность – у *P. sylvestris* по содержанию пролина (58–65%), у *B. pendula* –

по пероксидазной активности (58–63%). Биохимические перестройки у древесных растений позволяют их рассматривать как приспособительные и защитные реакции, направленные на выживание в экологических условиях породного отвала. Экспериментальные данные можно использовать для диагностики состояния насаждений в условиях нарушенных земель.

**Keywords:** *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, peroxidase, malondialdehyde, proline, sugars, mining rock dump.

The research results on the state of woody plants in a mining rock dump of the "Kedrovskiy" surface coal mine are presented. The research targets were planting of *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) and *Betula pendula* Roth. (Silver birch) growing in the territory of the rock dump. The complex of biochemical methods to diagnose the leaves of woody plants is discussed. The research objectives were as following: the assessment of lipid peroxidation intensity by the main product – malondialdehyde, determination of peroxidase activity, and determination of proline and sugar content in leaf apparatus of woody plants. The intensity of lipid peroxidation was determined by spectrophotometric method using 2-thiobarbituric acid; peroxidase activity was determined according to A.N. Boyarkin; proline content was determined by means of ninhydrin agent, and the content of sugars according to Filipitsova and Smolich. The experiment revealed an increase of biochemical indices – peroxidase, malondialdehyde, proline and sugars in leaf apparatus of woody plants. The greatest increase in activity of peroxidase and proline was found in *P. sylvestris*, in the content of malondialdehyde and sugars – in *B. pendula*. Different values of varying characters were found in the studied trees.

The minimum range of character variation was found in the content of malondialdehyde and sugars, especially in silver birch. The greatest variability was found in *P. sylvestris* in proline content (58-65%), and in *B. pendula* in peroxidase activity (58-63%). Biochemical readjustment in woody plants may be

considered as adaptive and protective reactions aimed at survival under the environmental conditions of the rock dump. The experimental data may be used to diagnose the state of forest plantings in disturbed lands.

**Цандекова Оксана Леонидовна**, к.с.-х.н., н.с., Институт экологии человека СО РАН, г. Кемерово. Тел.: (3842) 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

В Кузбассе преобладает карьерный способ добычи угля. Отвалы, возникающие при открытой добыче полезных ископаемых, специфичны по экологическим условиям. Формирующиеся эмбриоземы на угольных отвалах существенно отличаются от зональных в сторону олиготрофности и ксероморфизма, поэтому ограничено число видов растений, способных создавать на них продуктивные насаждения. Наиболее пригодными для фитомелиорации являются береза повислая и сосна обыкновенная, которые малотребовательны к плодородию почвы [1]. Выявление соответствия условий произрастания древесных растений их биологическим требованиям на отвалах весьма актуально. Биохимические исследования позволяют всесторонне анализировать состояние древесных растений, выявлять наиболее лабильные параметры метаболизма растений [2-5].

**Цель** исследований – по некоторым биохимическим показателям оценить состояние *Pinus sylvestris* и *Betula pendula*, произрастающих в условиях породного отвала угледобывающей промышленности. Для достижения поставленной цели в **задачи** исследований входили: оценка интенсивности перекисного окисления липидов по основному продукту – малоновому диальдегиду (МДА), определение активности пероксидазы, определение содержания пролина и сахаров в листовом аппарате древесных растений.

### Объекты и методы исследований

Объектами исследований служили насаждения *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная) и *Betula pendula* Roth. (береза повислая), произрастающие на

территории породного отвала угольного разреза «Кедровский». Эксперимент проведен на двух площадках наблюдений: № 1 – контроль – участок, расположенный в 5 км от породного отвала, № 2 – опыт – спланированный породный отвал со сформированным фитоценозом естественного происхождения. Исследования проведены в течение летнего периода 2013-2016 гг. Отвал имеет равнинно-наклонный рельеф с высотой 58 м, площадь составляет 599,3 га, 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 № 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). Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Fe, Cr) не показал превышения существующих ПДК.

Интенсивность перекисного окисления липидов оценивали по его основному продукту – малоновому диальдегиду (МДА) спектрофотометрическим методом с использованием 2-биобарбитуровой кислоты [6]; определение активности пероксидазы – методом А.Н. Бояркина [7]; определение содержания пролина – с помощью нингидринового реактива [8]; уровень содержания сахаров, как описано у Филипцовой и Смолича [9]. Экспериментальные данные обработаны статистически с помощью компьютерных программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 6.1.

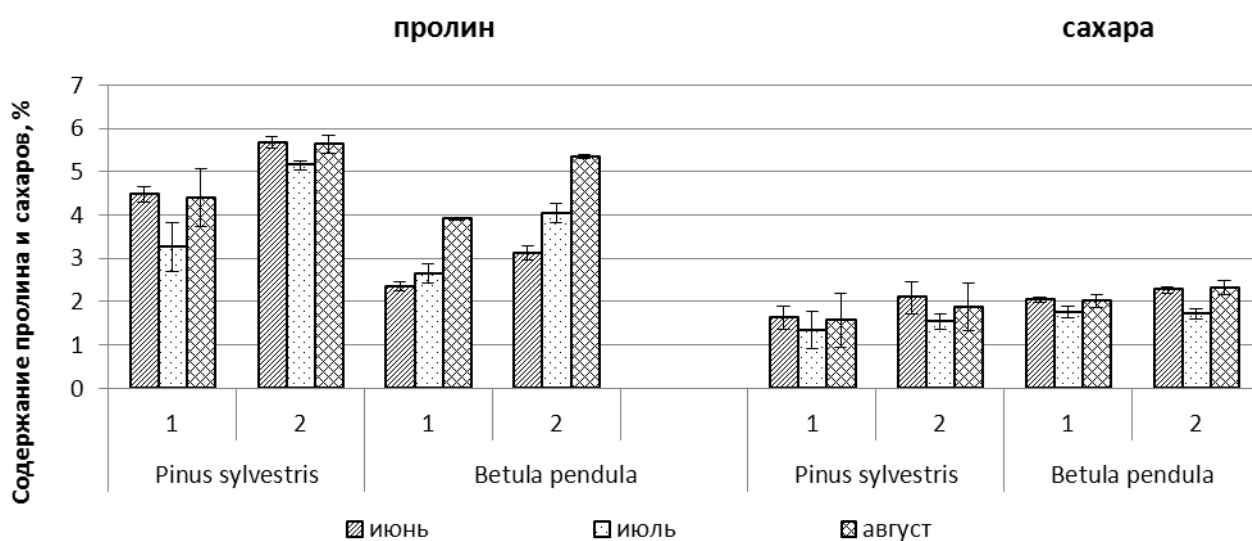
**Результаты исследований  
и их обсуждение**

Устойчивость древесных растений к условиям породного отвала определяется способностью к перестройке различных физиологических и биохимических процессов. Анализ проведенных исследований показал, что содержание пролина выше в 1,3-1,4 раза у хвойных, чем у лиственных образцов; а концентрация сахаров, наоборот, выше в 1,1-1,3 раза у лиственных, чем у хвойных растений (рис. 1).

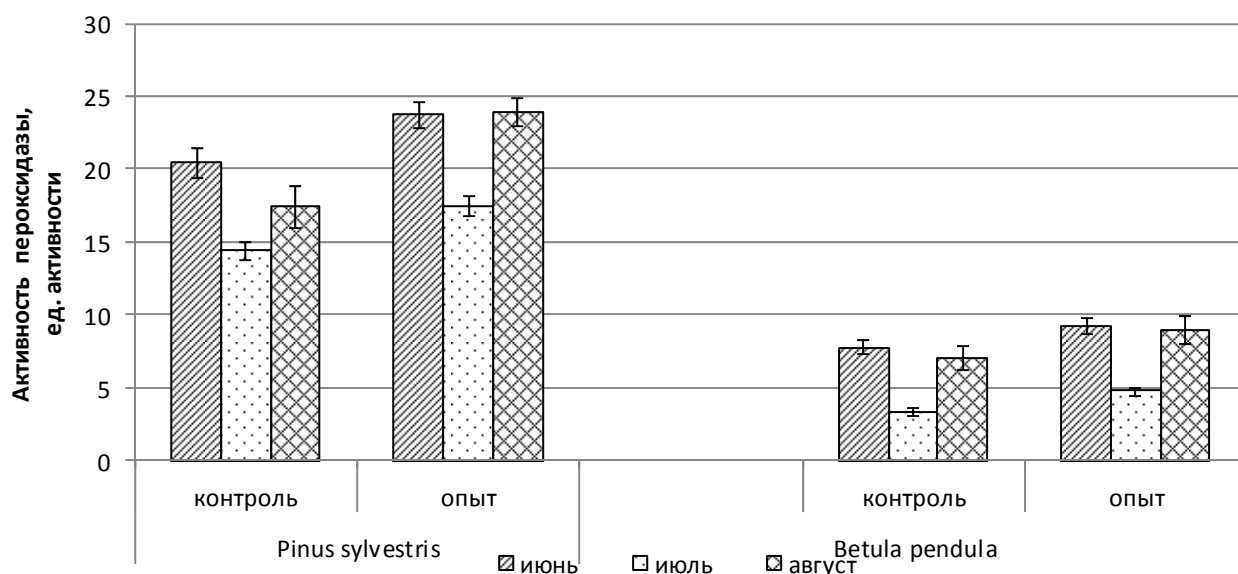
Максимальное накопление пролина отмечено в хвое *P. sylvestris* в июне (до 5,67 мг%), в листьях *B. pendula* – в авгу-

сте (до 5,32 мг%), минимальное его содержание – в июле (до 2,65 мг%). Выявлено, что на опытном участке у сосны обыкновенной активность аминокислоты пролина достоверно выше в среднем на 36%, а уровень содержания углеводов – на 22; у березы повислой – на 40 и 9% соответственно, в сравнении с контролем.

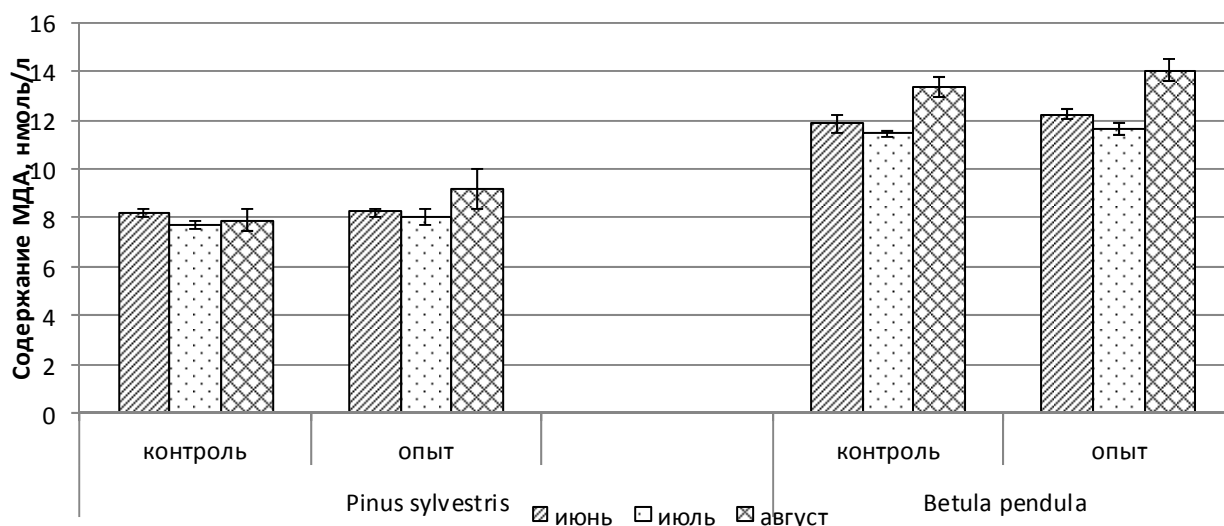
Нами выявлены изменения в содержании некоторых компонентов антиоксидантной системы, которые выражались в увеличении пероксидазной активности и содержании малонового диальдегида (рис. 2, 3).



**Рис. 1. Содержание пролина и сахаров в листьях древесных растений**



**Рис. 2. Активность пероксидазы в листьях (хвое) древесных растений**

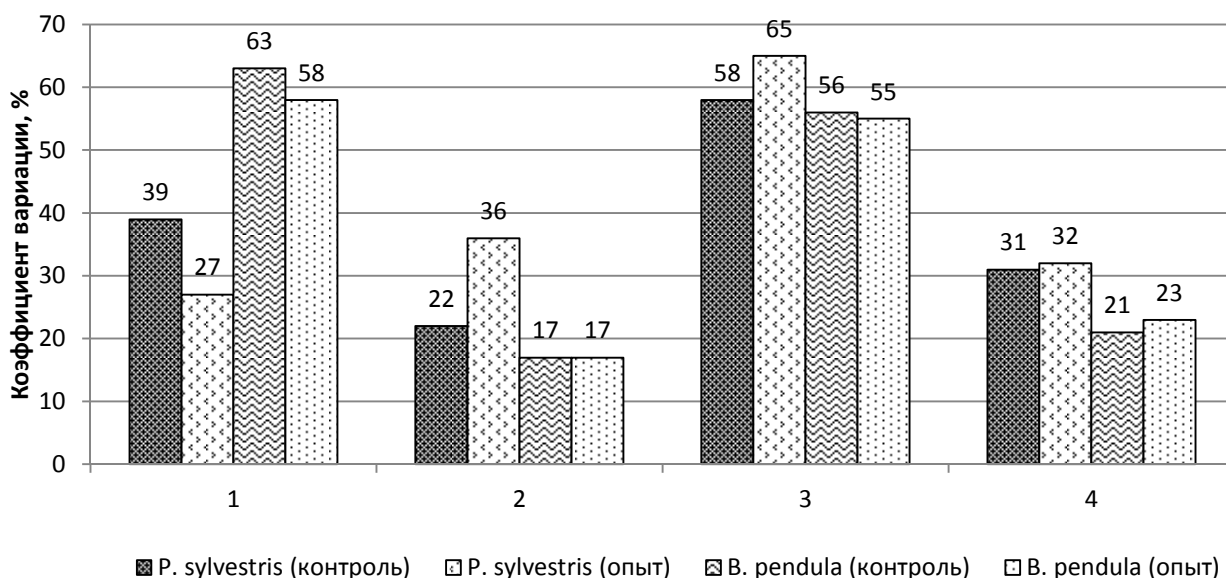


**Рис. 3. Содержание МДА в листьях (хвое) древесных растений**

Уровень активности фермента у хвойных образцов выше в 2,8-2,9 раза, чем у лиственных растений. В июне и августе в хвое *P. sylvestris* и листьях *B. pendula* отмечено достоверное увеличение пероксидазной активности (до 23,87 ед. активности). Содержание МДА у *B. pendula* выше в 1,5 раза, чем у *P. sylvestris*.

Наши исследования согласуются с работами отечественных и зарубежных ав-

торов. Некоторые авторы отмечают увеличение активности антиоксидантных ферментов, в том числе пероксидазы, а также содержания пролина и сахаров в хвое сосны обыкновенной и листьях березы повислой [10-14]. На основе полученных экспериментальных данных нами проведена оценка варьирования исследуемых биохимических показателей (рис. 4).



**Рис. 4. Коэффициент вариации у древесных растений,**

**произрастающих в условиях породного отвала:**

**1 – активность пероксидазы; 2 – содержание малонового диальдегида;**

**3 – содержание пролина; 4 – содержание сахаров**

Коэффициент вариации у *P. sylvestris* варьировал в пределах 22-65%, у *B. pendula* — 17-63%. У хвойных и лиственных деревьев выявлены как минимальные, так и максимальные значения признаков. Так, для параметров по содержанию малонового диальдегида и сахаров отмечен минимальный размах варьирования признаков, особенно у березы повислой (17-23%). Наибольшая вариабельность отмечена у *P. sylvestris* по содержанию пролина (58-65%), а у *B. pendula* — по пероксидазной активности (58-63%). В связи с этим можно предположить, что растения разных видов выбирают индивидуальный путь приспособления к специфике конкретного местообитания.

### Выводы

1. У древесных растений, произрастающих в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза, выявлены некоторые изменения процессов метаболизма, которые выражались в увеличении активности пероксидазы, содержания малонового диальдегида, уровня накопления пролина и сахаров.

2. Выявлено, что наибольшее повышение по активности пероксидазы и пролина установлено у *P. sylvestris*, по содержанию малонового диальдегида и сахаров — у *B. pendula*.

3. У исследуемых деревьев выявлены различные значения признаков варьирования. Наибольшая вариабельность отмечена у *P. sylvestris* по содержанию пролина (58-65%), а у *B. pendula* — по пероксидазной активности (58-63%). Биохимические перестройки у древесных растений позволяют их рассматривать как приспособительные и защитные реакции, направленные на выживание в экологических условиях породного отвала.

### Библиографический список

1. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Баранник Л.П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышлен-

ности Кузбасса. — Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. — 160 с.

2. Неверова О.А., Цандекова О.Л. Фотосинтетическая способность древесных растений как индикатор суммарного загрязнения атмосферного воздуха городской среды // Сибирский экологический журнал. — 2010. — Т. 3. — № 2. — С. 193-196. [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.]

3. 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. Doi: 10.1016/j.rse.2010.10.007.

4. Milyutina I.L., Sudachkova N.E., Romanova L.I. Response of the antioxidant system of light-demanding and shade-bearing pine species to phytocenotic stress // Contemporary Problems of Ecology. — 2013. — Vol. 6 (2). — P. 149-155. DOI: 10.1134/S199542551302011X.

5. Neverova O.A., Tsandekova O.L., Domrachev D.V. Study of the composition of ether oils from pine needles of *Pinus sylvestris* L. growing in various edaphic conditions of Kuzbass surface coal mines dumps // Global Journal of Pharmacology. — 2014. — Vol. 8 (3). — P. 415-419.

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

7. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. — Л., 1987. — С. 41-43.

8. Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой прак-

тикум по биоэкологии: учебное пособие. – Йошкар-Ола, 2006. – С. 66-67.

9. Филиппова Г.Г., Смолич И.И. Биохимия растений: методические рекомендации. – Минск: БГУ, 2004. – С. 6-7.

10. Золотухин А.И., Горина П.А. Содержание свободного пролина в хвое сосны ослабленных насаждений рекреационной зоны г. Балашова // Научное обозрение. – 2013. – № 3. – С. 25-29.

11. Галибина Н.А., Целищева Ю.Л., Андреев В.П., Софронова И.Н., Никерова М. Активность пероксидазы в органах и тканях деревьев березы повислой // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – № 4 (133). – С. 7-13.

12. 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.

13. Симонова З.А., Чемаркин Д.А. Активность пероксидазы *Betula pendula* как индикатор качества городской среды (на примере г. Саратова) // Фундаментальные исследования, 2013. – № 8 (5). – С. 1097-1101. Режим доступа: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=32091>.

14. Цандекова О.Л., Неверова О.А. Особенности антиоксидантной системы *Betula pendula* Roth., произрастающей в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 9. – С. 58-64.

### References

1. Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A., Barannik L.P. Vosstanovlenie ekosistem na otvalakh gornodobyvayushchey promyshlennosti Kuzbassa. – Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2010. – 160 s.

2. Neverova O.A., Tsandekova O.L. Fotosinteticheskaya sposobnost drevesnykh rasteniy kak indikator summarnogo zagryazneniya atmosfernogo vozdukha gorodskoy sredy // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. – 2010. – Т. 3. – № 2. – S. 193-196. [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. – Vol. 3 (2). – P. 141-143.]

3. 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. Doi: 10.1016/j.rse.2010.10.007.

4. Milyutina I.L., Sudachkova N.E., Romanova L.I. Response of the antioxidant system of light-demanding and shade-bearing pine species to phytocenotic stress // Contemporary Problems of Ecology. – 2013. – Vol. 6 (2). – P. 149-155. DOI: 10.1134/S199542551302011X.

5. Neverova O.A., Tsandekova O.L., Domrachev D.V. Study of the composition of ether oils from pine needles of *Pinus sylvestris* L. growing in various edaphic conditions of Kuzbass surface coal mines dumps // Global Journal of Pharmacology. – 2014. – Vol. 8 (3). – P. 415-419.

6. Nekrasova G.F., Kiseleva I.S. Ekologicheskaya fiziologiya rasteniy: rukovodstvo k laboratornym i prakticheskim zanyatiyam. – Ekaterinburg: Uralskiy gosudarstvennyy universitet, 2008. – S. 28-29.

7. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy. – L., 1987. – S. 41-43.

8. Voskresenskaya O.L., Alyabysheva E.A., Polovnikova M.G. Bolshoy praktikum po bioekologii: uchebnoe posobie. – Yoshkar-Ola, 2006. – S. 66-67.

9. Filiptsova G.G., Smolich I.I. Biokhimiya rasteniy: metodicheskie rekomendatsii. – Minsk: BGU, 2004. – S. 6-7.

10. Zolotukhin A.I., Gorina P.A. Soderzhanie svobodnogo prolina v khvoe sosny oslablennykh nasazhdeniy rekreatsionnoy zony g. Balashova // Nauchnoe obozrenie. – 2013. – № 3. – S. 25-29.

11. Galibina N.A., Tselishcheva Yu.L., Andreev V.P., Sofronova I.N., Nikerova M. Aktivnost peroksidazy v organakh i tkanyakh derevev berezy povisloy // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2013. – № 4 (133). – S. 7-13.

12. Zaripova R.S., Kuzmin P.A. Osobennosti fenologii i fiziologo-biokhimicheskie

kharakteristiki Betula pendula (Betulaceae) v usloviyakh g. Naberezhnye chelny (respublika Tatarstan) // Rastitelnye resursy. – 2016. – T. 52. – № 1. – S. 124-134.

13. Simonova Z.A., Chemarkin D.A. Aktivnost peroksidazy Betula pendula kak indikator kachestva gorodskoy sredy (na primere g. Caratova) // Fundamentalnye issledovaniya. – 2013. – № 8 (5). – S. 1097-1101. Rezhim dostupa: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=32091>.

14. Tsandekova O.L., Neverova O.A. Osobennosti antioksidantnoy sistemy Betula pendula Roth., proizrastayushchey v usloviyakh porodnogo otvala Kedrovskogo ugolnogo razreza // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 9. – S. 58-64.



УДК 630\*521.3

**A.A. Vayc**  
**A.A. Weiss**

**УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАМЕТРОВ  
НИЖНЕЙ ЧАСТИ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*Picea obovata* L.)  
В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ**

**SIMPLIFIED METHOD TO DETERMINE LOWER PART DIAMETERS  
OF SIBERIAN SPRUCE (*PICEA OBOVATA* L.)  
UNDER THE CONDITIONS OF CENTRAL SIBERIA**

**Ключевые слова:** диаметр, модель, *Picea obovata* L., восстановленный запас.

Проблема незаконных рубок, необходимость восстановления срубленного запаса, вычисление объема крупного детрита приобретают в последние годы особую актуальность. В основу исследований были положены данные обмеров учетных моделей ели, собранных по ступеням толщины из Тасеевского, Дзержинского, Большемурутинского, Казачинского, Абанского муниципальных районов Красноярского края. Общее количество моделей – 980 шт. Целью работы является применение одинарных коэффициентов для перехода к диаметрам нижней части ствола. Преимуществами одного коэффициента являются повышение адекватности модели и упрощенная биологическая интерпретация. Достоверность уравнения при

этом возрастает в значительной степени. Незначительная величина систематической ошибки значительно проявляется только для тонкомерных деревьев и составляет не более 1,4 см. Разработанные нормативы характеризуются гибкостью, поскольку в них указан диапазон значений выходной переменной (диаметров на высоте груди и диаметров на высоте пня) по ступеням толщины. Это позволяет детализировать данные по конкретным лесорастительным условиям. Применительно к деревьям ели в условиях Сибири получено линейное множественное уравнение вычисления коэффициента **b** для определения диаметров на высоте 1,3 м. Предложены упрощенные линейные уравнения по переходу от диаметров стволов на точке рубки к диаметрам на высоте груди. Модели используются для восстановления срубленных запасов насаждений ели в различных районах Сибири.