

УДК 581.8:582.475.4:582.632.1

АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРЕСТРОЙКИ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА КЕДРОВСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

© 2017 О.Л. Цандекова, О.М. Легощина

Институт экологии человека Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово

Статья поступила в редакцию 09.06.2017

В работе представлены результаты исследования анатомо-морфологических показателей древесных растений (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*), произрастающих в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза. Выявлены видоспецифические анатомические изменения у древесных растений, имеющие адаптивный характер и способствующие их выживанию в экстремальных условиях среды. У сосны обыкновенной установлено достоверное увеличение ассимилирующей поверхности хвои, утолщение эпидермы и незначительное утолщение эндодермы, с уменьшением числа смоляных ходов отмечалось возрастание их диаметра. У березы повислой увеличивался размер клеток нижней эпидермы, и возрастало число устьиц на единицу поверхности листа.

Ключевые слова: древесные растения, анатомо-морфологические показатели, адаптивные изменения, угольный породный отвал.

ВВЕДЕНИЕ

Отвалы вскрышных пород угольной промышленности Кузбасса специфичны по экологическим условиям. Основными древесными породами, пригодными для облесения нарушенных земель, являются сосна обыкновенная и береза повислая, благодаря малотребовательности их к плодородию почвы [1]. Для выживания в неблагоприятных условиях среды у разных древесных растений возникают различные адаптивные перестройки, как на анатомическом, так и на физиологическом уровне. Анатомо-морфологические исследования позволяют анализировать состояние древесных растений, выявлять наиболее лабильные параметры метаболизма растений [7,9,10,14,15]. Изменения анатомических характеристик древесных растений связаны с влиянием разнообразных биотических и абиотических факторов окружающей среды, что демонстрирует экологическую пластичность вида и способствует его выживанию в неблагоприятных условиях [6,12,13].

В ряде работ показаны изменения развития различных тканей листьев, в частности толщины мезофилла, у древесных растений, произрастающих в экстремальных условиях [2, 3,11]. Публикации по изучению адаптивных реакций у древесных растений на рекультивируемых территориях единичны, поэтому выявление соответствия условий произрастания деревьев их

биологическим требованиям на отвалах весьма актуально.

Цель исследования – изучить анатомо-морфологические перестройки ассимиляционного аппарата древесных растений, произрастающих в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований служили береза повислая (*Betula pendula* Roth) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на территории породного отвала угольного разреза «Кедровский». Кедровский разрез расположен в 25 км севернее г. Кемерово (56°32'52" с. ш., 86°05'54" в. д.). Отвал имеет равнинно-наклонный рельеф с высотой 58 м, его 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 и более мм), содержание мелких частиц снижено. Возраст деревьев составлял 25–30 лет, II класса бонитета с полнотой 0,3–0,5. Живой напочвенный покров образован разнотравно-злаковым сообществом с общим проективным покрытием, равным 40–60 %.

Эксперимент проведен в 2014–2015 гг. на двух площадках наблюдений (ПН): №1 (опыт) – спланированный породный отвал со сформированным фитоценозом естественного происхождения; №2 (контроль) – участок, расположенный в 5 км от породного отвала со сходным по составу фитоценозом. Агрехимический ана-

Цандекова Оксана Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник. E-mail: zandekova@bk.ru
Легощина Ольга Михайловна, младший научный сотрудник. E-mail: legoshchina@mail.ru

лиз эмбриоземов проведен в аккредитованном испытательном центре агрохимической службы ФГУ ЦАС «Кемеровский». По агрохимическим показателям эмбриоземы всех ПН характеризовались высокой обеспеченностью обменным калием (100...240 мг/кг) и низкой обеспеченностью подвижным фосфором (10...50 мг/кг). На эмбриоземах ПН №1, в сравнении с ПН №2, выявлена низкая обеспеченность 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.

Сбор материала проводили в конце вегетационного периода (август), собирали полностью сформированные листья и хвою. Для исследований образцы листьев (хвои) собирали с десяти модельных деревьев удовлетворительного жизненного состояния (с десяти ветвей с нижней трети по периметру кроны) на каждом изучаемом участке. Отбирали листья березы и хвою сосны без видимых признаков повреждений в период с 9 до 10 часов с помощью секатора на шесте. Растительные образцы фиксировали в 60% растворе этилового спирта. Для анатомических исследований, из средней части ассимиляционного аппарата делали поперечные срезы и помещали их в глицерин. Измерения анатомо-морфологических признаков проводили с помощью микроскопа Аксиоскоп-2+, модель ZEISSN HBO103 and N XBO75 (Германия) с программным обеспечением. В ходе исследования определяли анатомические и морфологические показатели по общепринятой методике. Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью стандартного пакета программ StatSoft STATISTICA 8.0. for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ морфологических параметров древесных растений, произрастающих в различных экологических условиях выявил некоторые отличия между опытными и контрольными растениями. Так, длина хвои сосны обыкновенной на опытных площадках превышала контроль на 48 %. У березы повислой наблюдалась обратная закономерность, длина и ширина листовая пластинки в условиях породного отвала были ниже контроля на 14 и 23 % соответственно (рис. 1).

Анализ анатомических признаков хвои сосны обыкновенной показал, что в условиях породного отвала площадь поверхности хвои увеличивалась в 1,5 раза в сравнении с контролем. Отмечалась редукция количества смоляных каналов до 5–7 штук у растений на опытной площадке. Однако при этом было выявлено увеличение диаметра смоляных ходов в 1,3 раза, относительно контроля (табл. 1, рис. 2).

Важную роль в защите растений от неблагоприятных условий окружающей среды играют покровные ткани. Средние значения показателей толщины эпидермы в условиях породного отвала составили 19,22 мкм, эндодермы – 24,01 мкм, что превышали контрольные значения на 11 и 6 % соответственно (табл. 1).

Полученные нами результаты по анатомическим изменениям у древесных растений в экстремальных условиях произрастания согласуются с имеющимися литературными данными [4, 5, 8].

Микроскопирование препаратов поперечных срезов березы повислой выявило некото-

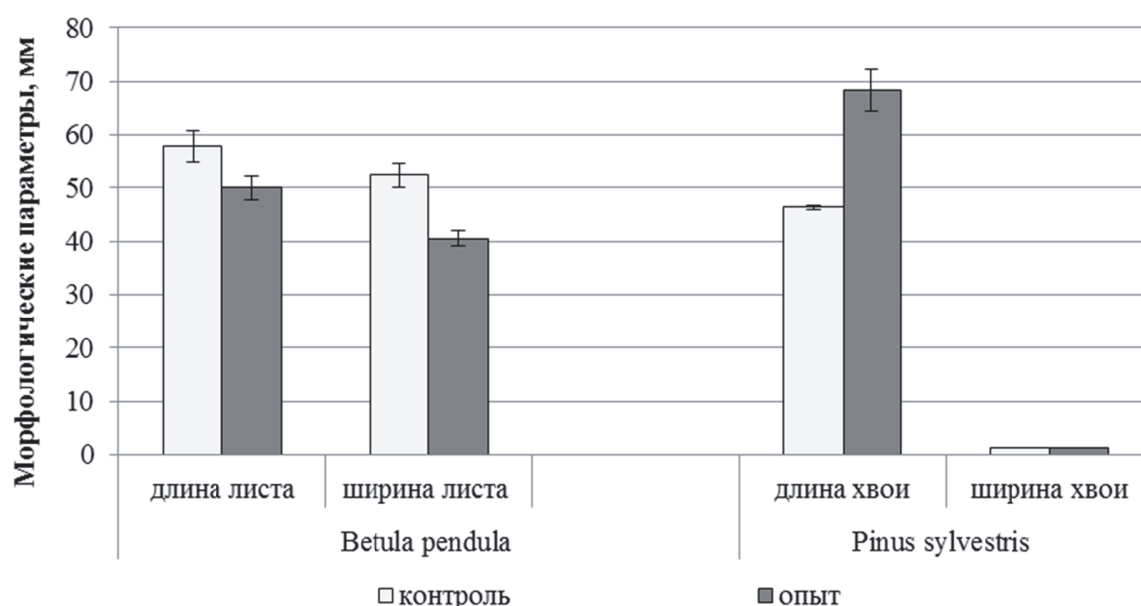


Рис. 1. Морфологические характеристики листьев (хвои) исследуемых древесных растений, произрастающих в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза

Таблица 1. Анатомические характеристики поперечного среза хвои сосны обыкновенной (средние данные за 2014–2015 гг.)

Площадки наблюдений	Площадь поверхности хвои, мм ²	Число смоляных каналов, шт	Диаметр смоляных каналов, мкм	Высота эпидермы, мкм	Высота гиподермы, мкм	Высота эндодермы, мкм
контроль	129,94±8,44	6-9	45,11±1,89	17,27±0,23	12,19±1,22	22,61±0,73
опыт	196,23±7,91*	5-7	56,95±1,71*	19,22±0,72*	12,08±0,08	24,01±0,91

Примечание: * – (здесь и далее) достоверные отличия опытных растений от контрольных при $p < 0,05$

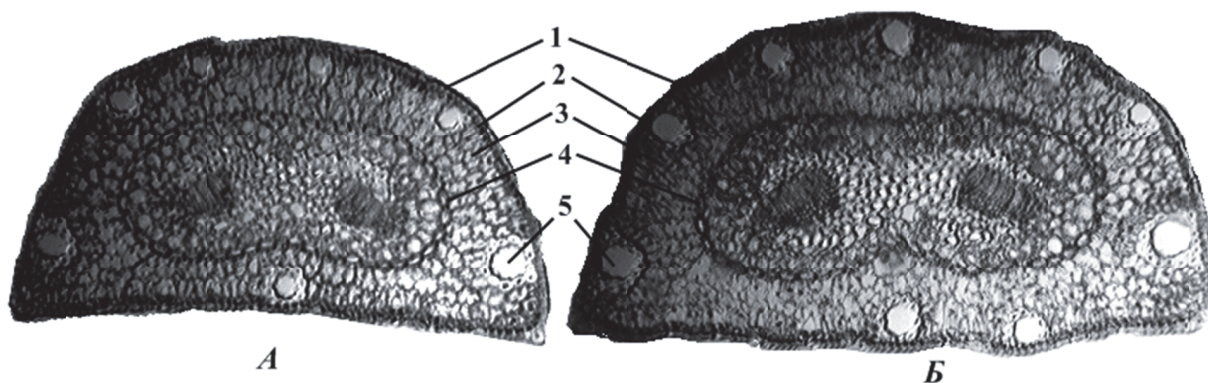


Рис. 2. Поперечный срез хвои *Pinus sylvestris* L в условиях Кедровского угольного разреза (10*10): А – контроль; Б – опыт; 1 – эпидерма, 2 – гиподерма, 3 – складчатый мезофилл, 4 – эндодерма, 5 – смоляной канал

рые отличия между контрольными и опытными образцами. В условиях породного отвала отмечено деление мезофилла на палисадный и губчатый с преобладанием последнего (табл. 2). Толщина палисадного и губчатого мезофилла в листьях исследуемых деревьев снижалась незначительно (на 4 % и 2 %, соответственно), при этом высота верхней эпидермы уменьшалась –

на 12 %, его ширина – на 7 % относительно контроля, размеры нижней эпидермы, наоборот, увеличивались – на 6–9 %.

В условиях породного отвала толщина листовая пластинки березы повислой незначительно снижалась в сравнении с контролем. Подсчет приходящихся на единицу поверхности листа устьиц показал значительное повышение на 68

Таблица 2. Анатомические характеристики поперечного среза листьев березы повислой (средние данные за 2014–2015 гг.)

ПН	Верхняя эпидерма		Нижняя эпидерма		Палисадный мезофилл		Губчатый мезофилл	
	Высота, мкм	Ширина, мкм	Высота, мкм	Ширина, мкм	Количество клеток, шт	Толщина, мкм	Количество клеток, шт	Толщина, мкм
контроль	27,66±1,13	24,97±1,17	13,64±0,70	18,66±0,79	1-3	63,13±3,40	2-5	75,49±5,75
опыт	24,26±1,22	23,33±1,30	14,47±0,50	20,29±1,05	1-2	60,9±3,95	2-5	73,96±4,33

Таблица 3. Морфометрические показатели эпидермы листьев березы повислой (средние данные за 2014–2015 гг.)

ПН	Толщина листовой пластинки, мкм	Верхняя эпидерма	Нижняя эпидерма			
			Количество клеток в 1 мм ² , шт	Количество клеток в 1 мм ² , шт	Количество устьиц в 1 мм ² , шт	Длина устьиц, мкм
контроль	180,36±5,17	1769,34±1,81	1999,01±3,11	78,34±5,75	31,72±0,76	22,42±0,59
опыт	177,1±3,86	1813,67±0,79	2395,56±2,14	131,98±4,67*	31,42±0,71	23,28±0,46

% этого показателя в условиях отвала (табл. 3). Сравнительный анализ древесных видов по толщине кутикулы выявил, что у березы повислой она меньше на 8 %, у сосны обыкновенной – на 19 %, в сравнении с контролем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлены видоспецифические анатомические изменения у древесных растений в условиях Кедровского угольного разреза, имеющие адаптивный характер и способствующие их выживанию в экстремальных условиях среды. У сосны обыкновенной в условиях опыта установлено достоверное увеличение ассимилирующей поверхности хвои, утолщение эпидермы и незначительное утолщение эндодермы, с уменьшением числа смоляных ходов отмечалось возрастание их диаметра. У березы повислой в условиях породного отвала на опытных площадках увеличивался размер клеток нижней эпидермы, и возрастало число устьиц на единицу поверхности листа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранник Л.П., Николайченко В.П. Лесная фитомелиорация техногенных земель в Кузбассе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. Кемерово, 2006. № 5. С. 45-47.
2. Егорова Н.Н., Кулагин А.А. Изменчивость признаков анатомического строения ассимиляционного аппарата и проводящих корней сосны обыкновенной в экстремальных лесорастительных условиях // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6(50). С. 52-54.
3. Кулагин А.А., Егорова Н.Н., Бакиев И.Ф. Анатомические особенности листового аппарата древесных лесообразующих видов в экстремальных лесорастительных условиях на территории республики Башкортостан // Известия Уфимского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 10-14.
4. Неверова О.А., Легощина О.М., Зокиров Р.С. Изменение анатомических показателей хвои *Pinus eldarica* Ten., произрастающей в примагистральных посадках г. Худжанда // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 274-274. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6676> (дата обращения: 22.05.2017).
5. Сравнительная оценка структурно-функциональной организации листового аппарата хвойных растений на территории г. Горно-Алтайска / А.П. Зотикова, О.Г. Бендер, Р.О. Собчак, Т.П. Астафурова // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 299 (1). С. 197-200.
6. Хикматуллина Г.Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбано-среды // Вестник Удмуртского университета. 2013. Вып. 2. С. 48-56.
7. Цандекова О.Л., Колмогорова Е.Ю. Анатомические и морфометрические характеристики *Pinus sylvestris* L., произрастающей на техногенно нарушенных землях угольного разреза «Кедровский» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 10(108). С. 59-63.
8. Шаяхметова Р.И., Егорова Н.Н. Анатомические особенности хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Нижневартовского района, Хмао-Югра // Вестник алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 6(140). С. 72-77.
9. Boratyńska K., Jasińska A., Ciepluch E. Effect of tree age on needle morphology and anatomy of *Pinus uliginosa* and *Pinus sylvestris* – species-specific character separation during ontogenesis // Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2008. Vol. 203. P. 617-626.
10. Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length / S. Rossi, A. Desclausers, T. Anfodillo, H. Morin, A. Savacino et al. // New Phytologist. 2006. Vol. 170. P. 301-310.
11. Elkhartbotly A.A. Studies on some anatomical features of selected plant species grown in sand dune areas of North Sinai, Egypt // Acta Ecologica Sinica. 2016. Vol. 36, Iss. 4. P. 246-251. doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.03.004
12. Elucidating adaptive strategies from leaf anatomy: Do Amazonian savannas present xeromorphic characteristics? / P.F. Simioni, P.V. Eisenlohr, M.Jo. Gomes Pessoa, I. Vieira da Silva // Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2017. Vol. 26. P. 38-46. doi.org/10.1016/j.flora.2016.11.004.
13. Hu Y., Yan L., Li H. Studies on the anatomical characteristics of the stems of 14 desert plants // J. Arid Land Resour. Environ. 2006. Vol. 20, Iss. 2. P. 202-208.
14. Morpho-anatomical effects of pollutants on *Pinus pinea* L. needles / P. Grossoni, F. Bussotti, B. Mori, M. Magalotti, S. Mansuino // Chemosphere. 1998. Vol. 36. P. 913-917.
15. Saxe H. Photosynthesis and Stomatal Responses to Polluted Air, and the Use of Physiological and

Biochemical Responses for Early Detection and Diagnostic Tools // Advances in Botanical Research.

1991. Vol. 18. P. 1-128. doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60021-X.

EVALUATION OF STATUS OF TREE PLANTS ON ANATOMO-MORPHOLOGICAL INDICATORS DURING THE CONDITIONS OF KEDROVSKY COAL MINE

© 2017 O.L. Tsandekova, O.M. Legoshchina

Institute of Human Ecology of Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, SB RAS, Kemerovo

The anatomical and morphological characteristics of woody plants (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*) growing under the conditions of the rock dump of the Kedrovsky coal mine are studied.

Species-specific anatomical changes in woody plants have been identified that are adaptive in nature and contribute to their survival in extreme environmental conditions. Pine has a reliable increase in the assimilating surface of the needles, a thickening of the epidermis and a slight thickening of the endoderm, with an increase in the number of resin courses, an increase in their diameter was noted. The size of the cells of the lower epidermis increased in birch, and the number of stomata per unit surface of the leaf increased.

Keywords: woody plants, anatomic-morphological indicators, adaptive changes, coal dump.

Tsandekova Oksana, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher of the Laboratory for Reclamation and Biomonitoring. E-mail: zandekova@bk.ru

Legoshchina Olga, Junior Researcher, Laboratory of Reclamation and Biomonitoring. E-mail: legoshchina@mail.ru