

СТРУКТУРНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ЛИСТОВОГО АППАРАТА *BETULA PENDULA* ROTH НА ОТВАЛАХ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© 2019 О.М. Легощина, О.Л. Цандекова, Е.Ю. Колмогорова

Институт экологии человека, Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово

Статья поступила в редакцию 05.03.2019

Приводятся сведения об анатомо-морфологических перестройках листового аппарата березы повислой в условиях породного отвала разреза «Кедровский» Кемеровской области. Перестройки морфологической структуры листа заключались в уменьшении размеров ассимиляционной поверхности березы повислой. Анатомические перестройки листовой пластинки проявлялись в снижении мощности фотосинтезирующих тканей (мезофилла) и верхней эпидермы, увеличения высоты клеток нижней эпидермы. Результаты корреляционного анализа показали, что в условиях породного отвала наблюдалось большее количество достоверных корреляционных связей между анатомо-морфологическими показателями строения листа березы повислой, причем это происходило за счет образования положительных корреляций.

Ключевые слова: *Betula pendula*, морфология и анатомия, листовая пластинка, породные отвалы.

Работа выполнена по государственному заданию ФИЦ УУХ СО РАН
(Проект № 0352-2016-0002).

ВВЕДЕНИЕ

Одним из доминирующих видов среди растительных сообществ на отвалах вскрышных пород угольной промышленности Кузбасса является *Betula pendula* Roth, благодаря малотребовательности ее к плодородию почв и высокой семенной активности [1]. Однако на породных отвалах для растений складываются экстремальные условия произрастания, характеризующиеся недостаточным запасом влаги и низким плодородием почв. Произрастая в неблагоприятных внешних условиях, древесные растения включают механизмы адаптации, выражающиеся в перестройках организма на разных уровнях его организации [2, 3]. Исследования адаптационных реакций у древесных растений на техногенно нарушенных территориях единичны, поэтому выявление их анатомических и морфологических особенностей на отвалах требует дополнительного изучения.

В связи с этим, целью данного исследования явилось изучение структурных перестроек ли-

стового аппарата *Betula pendula* Roth на отвалах угледобывающей промышленности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследований служила *B. pendula*, произрастающая на территории породного отвала «Южный» угольного разреза «Кедровский», который расположен на правом берегу реки Томи в 30 км от города Кемерово. Отвал 35-летнего возраста представлен равнинно-наклонным рельефом с высотой 58 м и площадью 599,3 га. Горные породы отвала состоят из песчаников (60 %), алевролитов (20 %), аргиллитов (15 %), суглинков и глины (5 %). Доминирующей фракцией являются крупные агрегаты (от 3 до 10 и более мм), содержание мелких частиц снижено. Возраст насаждений березы повислой составлял 25–30 лет, II класса бонитета с полнотой 0,3–0,5. Живой напочвенный покров образован разнотравно-злаковым сообществом с общим проективным покрытием от 40 % до 60 %.

Эксперимент проведен на двух площадках наблюдений (ПН):

1) контрольная площадка – участок, расположенный в 5 км от породного отвала со сходным по составу фитоценозом. Почвы участка представлены черноземно-луговым среднемошным тяжелым суглинком с высокой обеспеченностью гумусом (9,65 %), сравнительно высоким содержанием фосфора (83,0 мг/кг) и калия (171,0 мг/кг), слабокислой реакцией почвенного раствора (рН 6,1...6,3) и хорошим запасом продуктивной влаги (50–60 мм в 0...20 см слое);

Легощина Ольга Михайловна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории рекультивации и биомониторинга.

E-mail: legoshchina@mail.ru

Цандекова Оксана Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории рекультивации и биомониторинга.

E-mail: zandekova@bk.ru

Колмогорова Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории рекультивации и биомониторинга. E-mail: kolmogorova_elena@bk.ru

2) опытная площадка – спланированный породный отвал со сформированным фитоценозом естественного происхождения. Субстрат отвалов характеризовался щелочной реакцией (рН водной вытяжки 7,1–7,7), средней обеспеченностью гумусом (3,5 %), низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора (10–50 мг/кг) и азота (3,6–6,0 мг/кг), высокой обеспеченностью калием (100–140 мг/кг), недостатком продуктивной влаги (19–22 мм в 0...20 см слое).

Сбор растительного материала проводили троекратно: в середине июня, июля и августа 2016 года. Для экспериментальных исследований, с десяти модельных деревьев, из средней части кроны срезали по десять годичных вегетативных побегов с неповрежденными листьями. Для проведения анатомических исследований собранные годичные побеги фиксировали в 60 % растворе этилового спирта. Для получения микропрепаратов, из средней части листовой пластинки березы повислой, бритвой вручную делали поперечные срезы, исключая среднюю жилку. Измерение анатомических признаков проводили с помощью окуляр-микрометра на микроскопе Аксиоскоп-2+, модель ZEISS NBO103 and N XBO75 (Германия) с программным обеспечением. Количество листьев на годичном побеге, массу сырых и сухих листьев, площадь листьев измеряли однократно, в конце августа. Для вычисления площади листа использовали программу *Image Tools*, массу сухих и сырых листьев определяли весовым методом. Обработка статистических данных выполнена с по-

мощью стандартного пакета программ StatSoft STATISTICA 8.1 с использованием t-критерия Стьюдента и коэффициента корреляции Пирсона, при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенных исследований выявлены некоторые морфометрические изменения листового аппарата растений березы повислой, произрастающих в неблагоприятных условиях породного отвала «Кедровский». Установлено, что в условиях опыта размерные показатели листовой пластинки снижались, в сравнении с контрольной площадкой (рис. 1). Так, длина и ширина листа березы, на опытном участке снижались в среднем на 9–33 % и 18–19 % соответственно в сравнении с контролем, при этом, в большей степени уменьшалась длина листа.

Выявлено достоверное снижение массы сухих и сырых листьев у опытных образцов – на 10 и 16 % соответственно, при этом первый показатель снижался с меньшей интенсивностью, чем второй (табл. 1). Анализируя разницу между массой сырых и сухих листьев можно сделать вывод, что содержание воды в листьях березы опытной площадке было значительно ниже (на 41 %), чем у растений контрольного участка.

Площадь поверхности листа является важным показателем состояния дерева, так как отражает активную ассимилирующую поверхность. Установлено достоверное снижение площади листьев (на 6 % в сравнении с контролем)

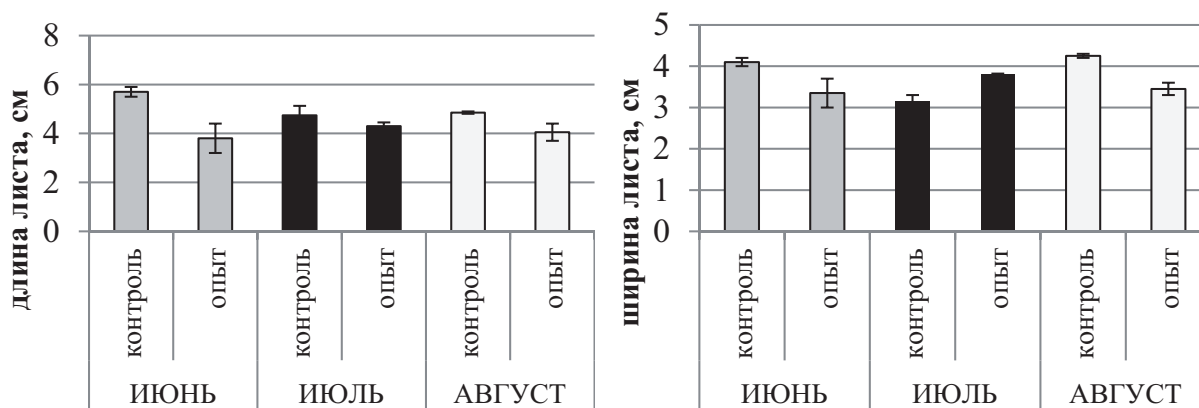


Рис 1. Морфометрические характеристики строения листа *B. pendula* в условиях породного отвала «Кедровский»

Таблица 1. Морфометрические характеристики ассимиляционного аппарата *B. pendula* в условиях породного отвала «Кедровский»

Площадки наблюдения	Количество листьев на побеге, шт.	Сырая масса листьев, г.	Сухая масса листьев, г.	Площадь листьев, см ²
К	5,71±0,10	0,85±0,18	0,68±0,02	52,18±1,25
ОП	4,73±0,09*	0,71±0,10*	0,61±0,02*	49,27±1,38*

Примечание (здесь и далее): К – контроль, ОП – опыт; * – достоверное отличие от контроля рассчитано согласно t-критерию Стьюдента, при $p < 0,05$

и количества листьев (на 17 % в сравнении с контролем) на годичном побеге в условиях отвала.

Наши данные согласуются с результатами многих авторов [4,5,6] о том, что техногенное загрязнение может отрицательно сказываться на размерах листового аппарата растений.

По-видимому, уменьшение поверхности листового аппарата березы повислой можно рассматривать как адаптивную реакцию, направленную прежде всего на сокращение площади транспирации, в условиях дефицита влаги.

Анализ анатомической структуры листьев *B. pendula* показал, что в течение вегетации наблюдались некоторые отличия на исследуемых площадках. Общая тенденция проявлялась и в уменьшении размеров ассимиляционной ткани (мезофилла) внутри листовой пластинки (табл. 2).

При этом максимальное снижение исследуемых показателей приходилось на июнь. Так, толщина листовой пластинки уменьшалась в среднем на 10–25 %, толщины всего мезофилла на 4–30 %, столчатого мезофилла на 11–32 %, губчатого мезофилла на 14–29 % в сравнении с контрольным участком. Изменение мощности мезофилла у древесных растений, произрастающих в экстремальных экологических условиях, описано в работах других исследователей [4–7].

Таким образом, возникшие структурные перестройки листового аппарата березы повислой в условиях породного отвала заключающиеся

в уменьшении размеров листовой пластинки (длины, ширины, толщины и площади), снижении сухой и сырой массы листа указывают на подавление процессов роста и развития вследствие водного дефицита.

Важную роль в защите растений от неблагоприятных условий окружающей среды играют покровные ткани. Исследование покровных тканей листа березы повислой показало, что в условиях отвала высота верхней эпидермы снижалась в среднем на 12–36 %. Толщина кутикулы на опытном участке была ниже контрольных значений в среднем на 12–24 %, в течение всего вегетационного периода (табл. 3).

При этом в условиях опыта происходило увеличение высоты нижней эпидермы в среднем на 2–18 %, что можно рассматривать как приспособительную реакцию, обеспечивающую защиту листьев березы от избыточной транспирации в условиях недостаточного увлажнения субстрата.

Таким образом, в условиях породного отвала складываются неблагоприятные экологические условия, отражающиеся на анатомо-морфологической структуре листа березы повислой. Эти условия приводят к формированию структурных перестроек на органном и клеточном уровне.

На основании результатов корреляционного анализа был выявлен ряд закономерностей, происходящих в ассимиляционном аппарате *B. pendula* в экстремальных условиях отвала. Воз-

Таблица 2. Анатомические показатели поперечного среза листа *B. pendula* в условиях породного отвала «Кедровский»

Месяц	Толщина листовой пластинки, мкм		Толщина столчатого мезофилла, мкм		Толщина губчатого мезофилла, мкм		Толщина мезофилла, мкм	
	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
	К	ОП	К	ОП	К	ОП	К	ОП
июнь	17,3± 0,85	13,1± 0,62*	5,5± 0,21	3,8± 0,16*	8,6± 0,35	6,1± 0,21*	14,1± 0,69	9,8± 0,35*
июль	16,5± 0,81	14,8± 0,73	4,8± 0,18	5,3± 0,23	7,6± 0,33	6,6± 0,32	12,4± 0,58	11,8± 0,51
август	16,44± 0,81	13,2± 0,53*	5,5± 0,21	4,6± 0,21	6,8± 0,31	5,8± 0,19*	12,0± 0,48	10,4± 0,36*

Таблица 3. Анатомические показатели покровной ткани листа *B. pendula* в условиях породного отвала «Кедровский»

Месяц	Высота верхней эпидермы, мкм		Высота нижней эпидермы, мкм		Толщина кутикулы, мкм	
	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
	К	ОП	К	ОП	К	ОП
июнь	2,45±0,08	2,39±0,09	1,01±0,05	1,22±0,05	0,58±0,02	0,46±0,02
июль	2,94±0,09	1,89±0,07*	1,16±0,05	1,19±0,04	0,51±0,02	0,39±0,01*
август	2,61±0,09	2,30±0,09	1,26±0,06	1,03±0,04	0,59±0,02	0,53±0,02

Таблица 4. Корреляции между анатомическими показателями листьев *B. pendula* в условиях породного отвала «Кедровский»

Исследуемые признаки	корреляции (r), n=150, p<0,05	
	контроль	опыт
Толщина листа – толщина мезофилла	0,53	0,77
Толщина листа – толщина столбчатого мезофилла	0,33	0,67
Толщина листа – толщина губчатого мезофилла	0,64	0,41
Толщина мезофилла – толщина столбчатого мезофилла	0,53	0,76
Толщина мезофилла – толщина губчатого мезофилла	0,46	0,65
Толщина столбчатого мезофилла – высота клеток верхней эпидермы	-0,28	-0,41
Высота клеток верхней эпидермы – высота клеток нижней эпидермы	0,01	0,63
Высота кутикулы – высота клеток верхней эпидермы	-0,21	0,50
Длина листа – ширина листа	0,96	0,65
Толщина листа – толщина клетки верхней эпидермы	-0,47	-0,26

Примечание: жирным шрифтом выделены достоверные коэффициенты корреляции между признаками

растало количество достоверных корреляционных связей между анатомо-морфологическими показателями листьев березы повислой (табл. 4).

Установлена прямая достоверная зависимость между толщиной листа и толщиной мезофилла; толщиной листа и толщиной столбчатого мезофилла; толщиной листа и толщиной губчатого мезофилла; толщиной мезофилла и толщиной губчатого мезофилла; толщиной мезофилла и толщиной столбчатого мезофилла; высотой клеток верхней эпидермы и высотой клеток нижней эпидермы; высотой кутикулы и высотой клеток верхней эпидермы; длиной листа и шириной листа. У березы повислой произрастающей в условиях отвала выявлена достоверная отрицательная корреляция между толщиной столбчатого мезофилла и высотой клетки верхней эпидермы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский» выявлены приспособительные изменения листового аппарата *B. pendula* связанные с уменьшением массы листьев (сырой и сухой), размеров ассимиляционной поверхности (длины и ширины листа, площади, толщины листовой пластинки), толщины мезофилла (столбчатого и губчатого). Выявленные структурные изменения листа березы повислой в

экстремальных условиях отвалов являются адаптивными и направлены на противостояние к неблагоприятному режиму увлажнения субстрата.

Установлено, что наибольшее количество достоверных корреляционных связей между анатомо-морфологическими показателями березы повислой образуется в условиях породного отвала. Предположительно, данные взаимосвязи усиливаются в экстремальных условиях среды и помогают растениям выживать в неблагоприятных экологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Лазарев К.С. Натурализация древесных растений на отвалах горных по род Кузбасса // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 9. С. 130-133.
2. 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.
3. Tuteja N., Sopory S.K. Chemical signaling under abiotic stress environment in plants // Plant Signaling & Behavior. 2008. Vol. 3, № 8. P. 525-536.
4. Рамазанова З.Р., Асадулаев З.М. Морфолого-анатомические показатели побеговых систем *Celtis caucasica* Willd. в условиях города Махачкалы // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы IX Всероссийской научной конференции с международным участии-

- ем. Екатеринбург: Издательство Уральского университета. 2012. С. 209-214.
5. Завьялов К.Е. Морфология и химический состав листьев опытных культур березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 3 (41). Ч. 2. С. 230-232.
 6. Neverova O.A., Legoshchina O.M., Bykov A.A. Anatomy of leaves of *Betula pendula* (Roth.) affected by air emissions in industrial area of Kemerovo city // Middle East Journal of Scientific Research. 2013. Т. 17, № 3. С. 354-358.
 7. Гнатів П.С. Гіркокаштан звичайний у Львові й питання його екологічної стійкості в міських насадженнях. Наук. зап. Держ. природознав. музею. 2007. Вип. 23. С. 75-84.
 8. Кулагин А.А., Егорова Н.Н., Бакиев И.Ф. Анатомические особенности листового аппарата древесных лесобразующих видов в экстремальных лесорастительных условиях на территории республики Башкортостан // Известия Уфимского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 10-14.
 9. Хикматуллина Г.Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбано-среды // Вестник Удмурского университета. 2013. Вып. 2. С. 48-56.
 10. 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.

STRUCTURAL RESTRUCTING OF THE SHEET APPARATUS *BETULA PENDULA* ROTH ON THE DUMPS OF THE COAL MINING INDUSTRY

© 2019 O.M. Legoshchina, O.L.Tsandekova, E.Yu.Kolmogorova

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

Provides information about the anatomical and morphological rearrangements of the leaf apparatus of birch in the conditions of the waste dump of the Kedrovsky open-pit mine of the Kemerovo region. The reorganization of the morphological structure of the leaf consisted in reducing the size of the assimilation surface of hanging birch. Anatomical rearrangements of the lamina were manifested in a decrease in the power of photosynthetic tissues (mesophyll) and the upper epidermis, and an increase in the height of the cells of the lower epidermis. The results of the correlation analysis showed that under the conditions of the waste dump, there was a greater number of reliable correlations between the anatomical and morphological indicators of the structure of the birch leaf, and this was due to the formation of positive correlations.

Keywords: *Betula pendula*, morphology and anatomy, leaf blades, rock dumps

Olga Logoshchina, Candidate of Biological Science, Junior Researcher, Laboratory of Recultivation and Biomonitoring. E-mail: legoshchina@mail.ru

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

Elena Kolmogorova, Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Laboratory for Recultivation and Biomonitoring. E-mail: kolmogorova_elena@bk.ru