

**Цандекова О.Л., Колмогорова Е.Ю.**Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты Сибирского отделения  
Российской академии наук «Институт экологии человека», г. Кемерово  
E-mail: zandekova@bk.ru ; kolmogorova\_elena@bk.ru**ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИОННЫХ ПЕРЕСТРОЕК ХВОИ  
PINUS SYLVESTRIS L. В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА  
УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА «КЕДРОВСКИЙ»**

В Кузбассе *Pinus sylvestris* L. является одним из пригодных видов для произрастания на отвалах угольной промышленности, однако выявление соответствия условий произрастания ее биологическим требованиям на породных отвалах до настоящего времени изучено недостаточно. Проведен комплекс различных методов диагностики хвои сосны обыкновенной на территории породного отвала угольного разреза «Кедровский». Определение параметров водного режима листьев (водного дефицита, суточных потерь, водоудержания) проводили методом повторных взвешиваний, активности пероксидазы – методом А.Н. Бояркина, содержание аскорбиновой кислоты – титриметрическим методом с применением 2,6 – дихлорфенолиндофенола натрия, содержание дубильных веществ – по методу Левентала-Нейбауера в модификации А.Л. Курсанова. Выявлены некоторые особенности адаптационных перестроек у *P. sylvestris* L. на спланированном породном отвале. У исследуемых растений выявлено увеличение площади проводящих пучков и смоляных ходов. Установлены изменения водного режима хвои сосны в сторону повышения водоудерживающей способности и снижения суточных потерь. Отмечено увеличение активности пероксидазы и дубильных веществ, снижение активности аскорбиновой кислоты. Выявленные анатомо-морфологические, физиолого-биохимические перестройки в хвое *P. sylvestris* L. можно рассматривать как приспособительные реакции, направленные на выживание растений в экологических условиях породного отвала. Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния древесных растений и в качестве информативного параметра в биоиндикации окружающей среды.

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L., хвоя, водный режим, анатомо-морфологические показатели, активность пероксидазы, аскорбиновая кислота, дубильные вещества, породный отвал.

В результате добычи каменного угля в Кузбассе нарушено около 100 тыс. га земель, из них большую площадь занимают отвалы вскрышных пород. Отвалы являются классическим объектом для изучения механизмов адаптации, поселяющихся на них растительных организмов. Специфика отвалов состоит в том, что экологические условия формирующихся на них эмбриоземов существенно отличаются от зональных в сторону олиготрофности. Из древесных пород к олиготрофным растениям относится *Pinus sylvestris* L., которая малотребовательна к плодородию почвы. Она является одной из главных лесообразующих пород, используемой в биологической рекультивации на породных отвалах угольных разрезов Кемеровской области.

Адаптация представляет собой сложную совокупность многих перестроек в растительном организме, поэтому наиболее точную оценку можно получить при использовании комплекса различных методов диагностики [1]–[3]. Одним из критериев оценки устойчивости растений к неблагоприятным экологическим условиям

окружающей среды является стабильность показателей водного режима. Недостаток воды в почве и воздухе нарушает водообмен у растений. Снижение оводненности тканей изменяет состояние биокolloидов клетки, что приводит к повреждению тонкой структуры протопласта, существенным сдвигам в состоянии и деятельности всех ферментных систем и, как следствие, к нарушению обмена веществ и многих ростовых процессов у растительных организмов [4].

Важнейшим механизмом устойчивости является активизация многоуровневой биохимической системы антиоксидантной защиты, в которую входит большое число компонентов. Среди них особое место занимают низкомолекулярные метаболиты и антиоксидантные ферменты (аскорбиновая кислота, фенольные соединения, пероксидаза). В последнее десятилетие в научных журналах активизирована публикация работ, связанных с изучением содержания антиоксидантов в растениях, произрастающих в условиях промышленного загрязнения [5], [6]. При этом до сих пор многие

особенности функционирования антиоксидантной системы растений в техногенных условиях остаются неясными. В связи с этим, выявление соответствия условий произрастания *P. sylvestris* L. ее биологическим требованиям на породных отвалах весьма актуально.

Цель – изучение адаптационных перестроек хвои *P. sylvestris* L. в условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский».

### **Объекты и методы исследований**

Объектом исследований служила *P. sylvestris* L. Эксперимент проведен на двух площадках наблюдений: №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).

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 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).

Измерения анатомо-морфологических признаков хвои проводили с помощью микроскопа Аксиоскоп-2+, модель ZEISS NBO103 and N XBO75 (Германия) с программным обеспечением. Для определения площадей анатомических показателей использовали программу Image Tools.

Определение параметров водного режима листьев (водного дефицита, суточных потерь, водоудержания) проводили методом повторных взвешиваний [7]; активности пероксидазы – методом А.Н. Бояркина; содержание аскорбиновой кислоты – титриметрическим методом с применением 2,6 – дихлорфенолиндофенола натрия [8]; содержание дубильных веществ – по методу Левенталья-Нейбауера в модификации А.Л. Курсанова [9].

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 стандартных компьютерных программ.

### **Результаты и их обсуждение**

Микроскопирование препаратов срезов хвои показало, что у *P. sylvestris* L. на породном отвале (ПН №1) отмечались некоторые изменения анатомических показателей тканей адаптационного характера. Отмечено, что самым стабильным признаком являлся показатель отношения площади центрального цилиндра к площади поперечного среза, который варьировал в пределах от 0,29 до 0,30. Это свидетельствует об оптимальном соотношении между проводящей системой хвоинки сосны и остальными ее тканями. Суммарное число смоляных ходов *P. sylvestris* L. за годы исследований на контрольных и опытных площадках наблюдений составило в среднем 5–8 штук.

Нашими исследованиями выявлено увеличение длины хвои, особенно на ПН №2. При этом увеличивалась доля проводящей ткани, в частности суммарная площадь проводящих пучков. Отмечены некоторые отличия анатомических показателей хвои у *P. sylvestris* L. на площадках наблюдений. Хвоя сосны обыкновенной на ПН №2 отличалась более крупными размерами и характеризовалась большими значениями анатомических показателей по сравнению с хвоей на ПН №1. Наибольшие отличия отмечены по длине хвои, по количеству и площади смоляных ходов. На уровне анатомической структуры увеличивалась площадь проводящих пучков и смоляных ходов.

На спланированном отвале (ПН №1) отмечалось повышение водоудерживающей способности хвои и снижение суточных потерь. Максимальное повышение водоудерживающей способности *P. sylvestris* L. отмечено в августе (на 22% выше контрольных значений). В июле и августе выявлены наибольшие значения водного дефицита у хвойных образцов (18,4–40,3%). Установлено, что у сосны обыкновенной на ПН №2 водный дефицит в 1,2–2,2 раза меньше, чем на ПН №1. Минимальные суточные потери воды у *P. sylvestris* L. отмечались в июле – 13,35 и 17,67% в опыте и контроле со-

ответственно, в июне и августе – повышались на 13–18% (рис. 1).

На устойчивость растений влияют компоненты антиоксидантной системы, куда входят такие низкомолекулярные вещества, как пероксидаза, аскорбиновая кислота, фенольные соединения и др.

Экспериментально установлено, что в условиях спланированного породного отвала в хвое *P. sylvestris* адапционные перестройки направлены на повышение эффективности работы антиоксидантной системы и деятельности фотосинтетического аппарата. Так, в хвое *P. sylvestris* L. на площадке наблюдений №1 увеличивалось содержание пероксидазы, дубильных веществ и снижалось содержание аскорбиновой кислоты, в сравнении с ПН №2 (табл. 1).

Наибольшие отличия накопления фермента и дубильных веществ у образцов отмечены в августе и превысили контроль на 26% и 14% соответственно, аскорбиновой кислоты – в июне (на 23%).

Наши исследования согласуются с работами отечественных и зарубежных авторов. Различные адапционные перестройки в ассимиляционном аппарате хвойных растений, в том числе и у *P. sylvestris* L., были выявлены в различных экологических условиях [10]–[13].

О.М. Соболевой [14] выявлено увеличение смоляных каналов на поперечном срезе хвои сосны обыкновенной, снижение размеров хвои и отношения площади центрального цилиндра к площади поперечного сечения в условиях г. Новокузнецка.

Н.Н. Егоровой и А.А. Кулагиним [15] изучены анатомические и морфологические особенности сосны обыкновенной в разных типах экстремальных лесорастительных условий Республики Башкортостан. Показана сезонная динамика изменчивости ассимиляционного аппарата и проводящих корней *P. sylvestris* L. Выявлено, что древостои на Уфимском плато, увалах Учалинского горно-обогатительного комбината, отвалах

Таблица 1. Компоненты антиоксидантной системы *P. sylvestris* L., произрастающей в условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский» (средние данные 2013–2014 г.)

Сроки наблюдений	Активность пероксидазы, ед. активности		Содержание аскорбиновой кислоты, мг/100г		Содержание дубильных веществ, %	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
июнь	20,38±1,97	25,00±1,71	61,330,80	37,29±1,41	3,50±0,12	3,83±0,10*
июль	13,98±1,14	17,19±1,17	104,36±0,73	80,84±0,92*	4,85±0,13	5,58±0,13*
август	22,98±1,78	28,95±1,80*	22,18±0,62	16,18±0,34*	6,54±0,12	7,46±0,10*

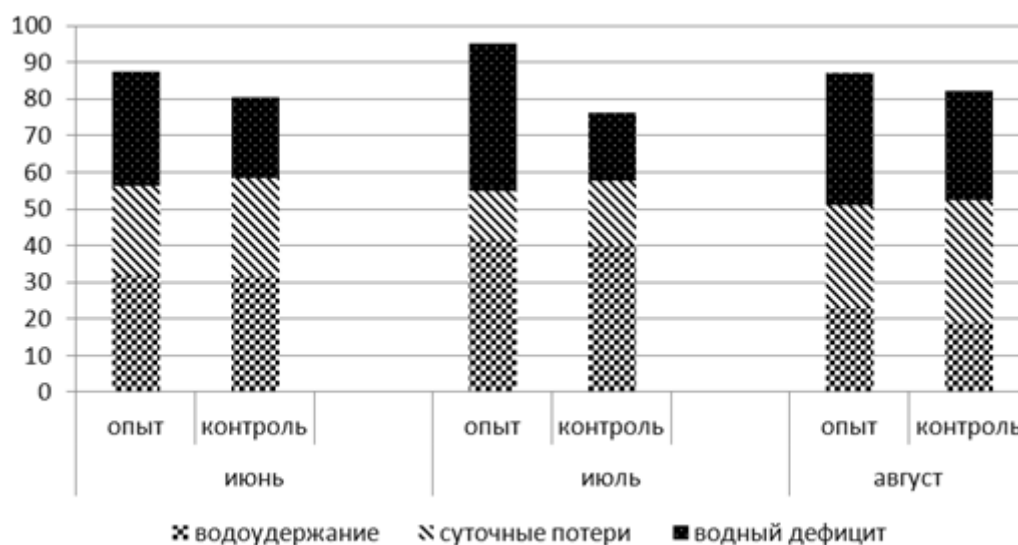


Рисунок 1. Водный режим *Pinus sylvestris* L., произрастающей в условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский» (средние данные 2013–2014 г.)

Кумертауского бурогольного разреза, отвалах Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината относятся к категории ослабленных, сосновые насаждения в Стерлитамакском промышленном центре отнесены к категории сильно ослабленных. Установлено, что в экстремальных лесорастительных условиях у сосны обыкновенной происходит изменение анатомо-морфологических признаков: увеличение тканей первого, второго и третьего года в течение вегетационного периода и утолщение хвои вследствие развития мезофилла.

Во многих работах [16]–[20] отмечено увеличение активности антиоксидантных ферментов, в том числе пероксидазы. По сведениям С.А. Войцекской с соавторами [21] в хвое *P. sylvestris* L., произрастающей в условиях г. Томска выявлено повышение содержания аскорбиновой кислоты.

### Выводы

У *Pinus sylvestris* L., произрастающей на спланированном породном отвале угольного разреза «Кедровский» выявлены некоторые особенности адаптационных перестроек. Установлены изменения водного режима растений в сторону повышения водоудерживающей способности хвои и снижения суточных потерь.

В хвое *P. sylvestris* L. выявлено увеличение активности пероксидазы и дубильных веществ, снижение активности аскорбиновой кислоты.

У исследуемых растений отмечены адаптационные перестройки анатомических показателей, заключающиеся в увеличении площади проводящих пучков и смоляных ходов.

Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния древесных растений и в качестве информативного параметра в биоиндикации окружающей среды.

15.06.2016

### Список литературы:

1. Chaves M.M., Oliveira M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture // *Journal of Experimental Botany*. – 2004. – V. 55. – P. 2365-2384.
2. Бикмуллин Р.Х., Ямалеев Р.Х., Кулагин А.А. Оценка состояния древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в пределах Казанского промышленного центра // *Известия Самарского научного центра РАН*, 2011. – Том 13, №1 (4). – С. 964-970.
3. 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. – Т. 8, №3. – С. 415-419.
4. Rossi S., Desclausers A., Anfodillo T., Morin H., Savacino A. et al. Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length // *New Phytologist*, 2006. – V. 170. – P. 301 – 310.
5. Голдобин Е.А., Трофимцов П.А., Иваченко Л.Е. Активность пероксидаз хвои сосны обыкновенной // *Проблемы экологии Верхнего Приамурья*. – 2014. – Т. 16. – С. 64-67.
6. Сергейчик С.А. Эколого-физиологический мониторинг устойчивости сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в техногенной среде // *Биосфера*. – 2015. – Т. 7, №4. – С. 384-391.
7. Малый практикум по физиологии растений / Под ред. А.Т. Мокроносова. – М.: МГУ, 1994. – 184 с.
8. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – С. 41-43.
9. Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие антраценпроизводные, простые фенолы, лигнаны, дубильные вещества. – Воронеж, 2007. – С. 50-51.
10. Цандекова О.Л. Анатомо-морфологические особенности хвои *Pinus sylvestris* L. в условиях Кедровского угольного разреза // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – №3. – С. 326. URL: [www.science-education.ru/109-9202](http://www.science-education.ru/109-9202).
11. Nuhoglu Y. The harmful effects of air pollutants around the Yenikoy thermal power plant on architecture of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) needles // *J Environ Biol*. – 2005. V. 26. – P. 315-322.
12. Baena G.E., Rolland F., Thevelein J.M., Sheen J. A central integrator of transcription network in plant stress and energy signaling. – 2007. – P. 938-942.
13. Tuteja N., Sopory S.K. Chemical signaling under abiotic stress environment in plants // *Plant Signaling & Behavior*. – 2008. – V. 3(8). – P. 525-536.
14. Соболева О.М. Эколого-физиологическая адаптация сосны обыкновенной на урбанизированных территориях Кемеровской области: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Кемерово, 2009. – 17 с.
15. 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.
16. Романова И.М., Живетьев М.А., Пензина Т.А., Граскова И.А. Динамика активности пероксидазы хвои сосны обыкновенной в Предбайкалье // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. – 2013. – Т. 6, № 3. – С. 9-12.
17. Воскресенская О.Л., Сарбаева Е.В., Старикова Е.А. Изменение активности антиоксидантных ферментов у интродуцированных хвойных растений в условиях городской среды // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2015. – № 2 (30). – С. 56-59.
18. Sudachkova N.E., Milyutina I.L., Romanova L.I., Astrakhantseva N.V. Effect of defoliation on the growth and metabolism of Scots pine // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2015. – Т. 8, №1. – С. 21-27.

19. Markkola A.M., Tarvainen O., Ahonen-Jonnarth U., Strummer R. Urban polluted forest soils induce elevated root peroxidase activity in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings // *Environmental Pollution*. – 2002. – V. 116 (2). – P. 273-278.
20. 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. – Т. 6, № 2. – С. 149-155.
21. Войцекковская С.А., Юмагулова Э.Р., Сурнина Е.Н., Астафурова Т. п. Исследование физиолого-биохимических показателей хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) болотных и лесных популяций // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. – 2013. – №3 (23). – С. 111-119.

Сведения об авторах:

**Цандекова Оксана Леонидовна**, научный сотрудник лаборатории экологического биомониторинга  
Федерального исследовательского центра угля и углекислоты Сибирского отделения Российской академии наук  
«Институт экологии человека»

650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, д. 10, ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН «ИЭЧ»,  
тел.: (83842) 575079, e-mail: zandekova@bk.ru

**Колмогорова Елена Юрьевна**, научный сотрудник лаборатории экологического биомониторинга  
Федерального исследовательского центра угля и углекислоты Сибирского отделения Российской академии наук  
«Институт экологии человека»,

650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, д. 10, ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН «ИЭЧ»,  
тел.: (83842) 575079, e-mail: kolmogorova\_elena@bk.ru