

## РОЛЬ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В УСТОЙЧИВОСТИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО УГОЛЬНОГО ОТВАЛА

© 2013 О.Л. Цандекова, О.А. Неверова, Е.Ю. Колмогорова

Институт экологии человека СО РАН

Поступила 14.02.2013

Проведены исследования по изучению устойчивости сосновых насаждений, произрастающих в различных эдафических условиях породного отвала угольного разреза по показателям антиоксидантной системы и жизненному состоянию растений. Выявлено, что, несмотря на самые неблагоприятные эдафические условия, максимальная устойчивость сосновых насаждений отмечена на спланированном отвале без нанесения потенциально плодородного слоя почвы. Это обусловлено более эффективной работой антиоксидантной системы хвои, проявляющейся в увеличении содержания аскорбиновой кислоты и суммы каротиноидов.

**Ключевые слова:** Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), породный отвал, агрохимический состав, жизненное состояние, аскорбиновая кислота, каротиноиды.

В Кузбассе нарушено около 100 тыс. га земель, из них большую площадь занимают отвалы вскрышных пород. В результате угледобычи происходит изменение рельефа местности, полное или частичное нарушение почвенного покрова, водного, воздушного и пищевого режима почв, что ведет к изменению биогеоценоза в целом. В связи с этим, экологическая реабилитация техногенных земель становится актуальной и социально важной проблемой.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является одной из основных лесообразующих пород, широко используемой в биологической рекультивации породных отвалов угольных месторождений Кузбасса [1]. Она превосходит многие лесообразующие породы по нетребовательности к почвенному плодородию [2, 3, 4]. Однако остается неясным вопрос о механизмах ее устойчивости в экстремальных условиях среды.

Из литературных источников известно, что важнейшим механизмом устойчивости в неблагоприятных экологических условиях является активизация многоуровневой биохимической системы антиоксидантной защиты, в которую входит большое число компонентов. Среди них особое место занимают низкомолекулярные метаболиты, проявляющие антиоксидантные свойства, в частности аскорбиновая кислота и каротиноиды [5, 6, 7]. В последнее десятилетие в научных журналах активизирована публикация работ, связанных с изучением содержания антиоксидантов в растениях, произрастающих в условиях техногенного

загрязнения [8, 9, 10, 11, 15]. В связи с чем, актуальными являются исследования о роли антиоксидантной системы в устойчивости древесных насаждений на техногенно нарушенных землях Кузбасса.

Цель работы – изучение роли антиоксидантной системы в устойчивости сосновых насаждений, произрастающих в различных эдафических условиях породного отвала Кедровского угольного разреза. В задачу исследований входило изучение компонентов антиоксидантной системы – содержания аскорбиновой кислоты и суммы каротиноидов в хвое сосны обыкновенной, а также оценка жизненного состояния – как интегрально-го показателя устойчивости растений.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в летний период 2010-2011 гг. В качестве объектов исследований выбраны насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) 10-15-летнего возраста. На территории породного отвала выбраны три площадки наблюдений (ПН): ПН 1 – спланированный отвал с нанесением потенциально плодородного слоя (ППС), ПН 2 – межотвальная впадина без нанесения ППС, ПН 3 – спланированный отвал без нанесения ППС. С каждой ПН исследовали по пять модельных деревьев.

Для биохимических анализов у деревьев отбирали хвою второго года без видимых признаков повреждений, собранную с нижней трети кроны с южной стороны с помощью секатора. Определение содержания аскорбиновой кислоты в хвое проводили титрометрическим методом с применением индофенолового реактива [12], содержание суммы каротиноидов – спектрофотометрическим методом [13]. Исследовано 540 растительных образцов.

Для оценки жизненного состояния (ЖС) применяли визуальный метод, в основу которого положено определение степени нарушения ассими-

Цандекова Оксана Леонидовна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории экологического биомониторинга ИЭЧ СО РАН, biomonitoring@bk.ru; Неверова Ольга Александровна, доктор биологических наук, профессор, зав. той же лабораторией, Nev11@yandex.ru; Колмогорова Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории, biomonitoring@bk.ru

ляционного аппарата и крон. В этом случае оценивался: 1 – процент живых ( $P_1$ ) ветвей в кронах деревьев (10 % = 1 балл); 2 – степень охвоенности крон ( $P_2$ ) (10 % = 1 балл); 3 – процент живой (без некрозов) хвои ( $P_3$ ) (10 % = 1 балл); 4 – средний процент ( $P_4$ ) живой площади хвои (10 % = 1 балл). Суммарная оценка состояния насаждений сосны ( $C_v$ ) проводилась по формуле:  $C_v = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ . Максимальная величина состояния сосны в нормальных насаждениях составляет по этому методу 39-40 баллов, а в ослабленных и усыхающих – менее 39 [14]. Повторность биохимических опытов – трехкратная, морфометрических – десятикратная.

Анализ эмбриоземов проведен в аккредитованном испытательном центре агрохимической службы ФГУ ЦАС «Кемеровский». Статистический анализ данных выполнен с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1 и Microsoft Office Excel 2007 (лицензионное соглашение 74017-640-0000106-57177). Критическое значение уровня статистической значимости принималось равным 0,05. Описание количественных признаков в исследованных площадках наблюдений производилось с использованием средних арифметических и среднеквадратических (стандартных) ошибок среднего ( $M \pm m$ , где  $M$  – сред-

нее, а  $m$  – ошибка среднего), среднеквадратических (стандартных) отклонений ( $y_x$ ) и коэффициента вариации ( $v$ , %) (таблица 2).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты агрохимических анализов показали, что эмбриоземы исследуемых площадок наблюдений характеризовались нейтральной и слабощелочной реакцией солевой вытяжки (рН 6,7-7,5), данные пределы рН, как известно, являются оптимальными для формирования высокого потенциала плодородия (табл. 1). На всех площадках наблюдений отмечена высокая обеспеченность обменным калием (100...170 мг/кг) и низкая обеспеченность подвижным фосфором (10...20 мг/кг). На ПН1 и ПН2 выявлена средняя обеспеченность нитратным азотом (5,1...7,0 мг/кг). Эмбриоземы ПН3 характеризовались самыми низкими значениями обменного фосфора и нитратного азота (10 и 3,6 мг/кг соответственно). Таким образом, эмбриоземы на ПН3 (спланированный отвал без нанесения ППС) характеризовались самыми низкими значениями агрохимических показателей в сравнении с ПН1 и ПН2.

**Таблица 1.** Агрохимический состав эмбриоземов исследуемых площадок наблюдений

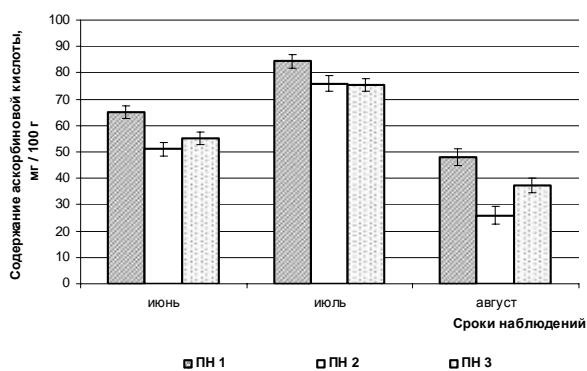
Исследуемые площадки наблюдений	Наименование показателя				
	рН солевая	Фосфор подвижный, мг/кг	Калий обменный, мг/кг	Азот нитратный, г/кг	Органическое вещество, %
ПН1	7,5±0,31	20±0,11	100±3,1	3,8±0,016	7,0±0,30
ПН2	7,2±0,29	10±0,07	170±5,3	9,5±0,041	6,3±0,26
ПН3	7,3±0,11	10±0,09	140±4,2	3,6±0,021	5,1±0,31

Примечание (здесь и далее): ПН1 – спланированный отвал с нанесением потенциально плодородного слоя (ППС) с сосновыми насаждениями 10-15 летнего возраста; ПН2 – межотвальная впадина без нанесения ППС; ПН3 – спланированный отвал без нанесения ППС.

Анализ полученных результатов показал, что содержание аскорбиновой кислоты в хвое сосны обыкновенной тесно связано с условиями произрастания и менялось в зависимости от года исследования. На всех ПН максимальное содержание данного метаболита отмечалось в июле (80,68...83,34 мг/100 г), минимальное – в августе (до 40,12 мг/100 г), что, очевидно, зависит от физиологической активности хвои. Наиболее высокие значения содержания аскорбата в хвое сосны выявлены в 2010 году (75,98...86,36 мг /100 г), наиболее низкие – в 2011 году (32,56...48,08 мг /100 г).

Сравнительная характеристика содержания аскорбиновой кислоты в хвое сосны на различных ПН позволила выявить, что максимальное накопление данного метаболита отмечено у деревьев, произрастающих в наиболее неблагоприятных эдафических условиях (ПН3), с наиболее значимым отличием в ее содержании от других ПН в августе (61,28 мг/100 г) – выше на 26 и 35 % в

сравнении с ПН1 и ПН2. Хотя в начале летнего периода – в июне, содержание аскорбата в хвое сосны на ПН3 было ниже на 4% в сравнении с ПН1 (рис. 1, табл. 2).



**Рисунок 1.** Содержание аскорбиновой кислоты в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в условиях Кедровского угольного разреза (средние данные за 2010-2011 гг.)

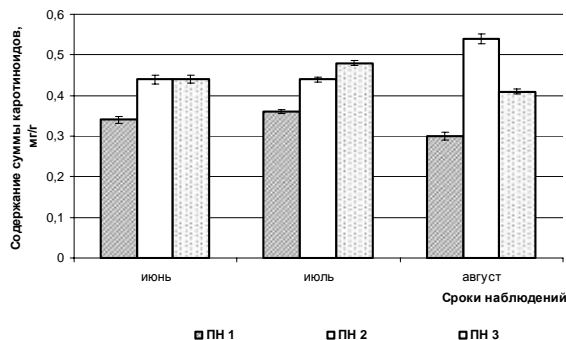
Изучение динамики содержания каротиноидов показало, что у сосны в условиях породного отвала максимальная концентрация данного мета-

болита выявлена в июле, с варьированием значений от 0,33 до 0,47 мг/г (таблица 2).

**Таблица 2.** Средние статистические показатели сосны обыкновенной на исследуемых площадках наблюдений Кедровского угольного разреза (2010-2011 гг.)

Площадки наблюдений	Аскорбиновая кислота (мг/100г)			Сумма каротиноидов (мг/г)		
	M±m	у <sub>x</sub>	v, %	M±m	у <sub>x</sub>	v, %
ПН1	65,78±2,80	26,59	32,6	0,33±0,008	0,08	23,41
ПН2	50,94±2,98	28,25	41,3	0,47±0,010	0,09	19,50
ПН3	55,99±2,52	23,89	28,8	0,44±0,007	0,07	15,94

Оценка степени изменения в содержании компонентов антиоксидантной системы у сосны в условиях отвала показала, что на спланированном отвале без нанесения ППС концентрация каротиноидов стабильно выше во все сроки наблюдений. Сравнительный анализ периода исследований данного метаболита в хвое сосны в зависимости от условий произрастания показал, что прослеживаются более высокие значения в содержании данного пигмента на ПН3 – выше на 30% и 6% в сравнении с ПН1 и ПН2 (рис. 2).



**Рисунок 2.** Содержание суммы каротиноидов в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в условиях Кедровского угольного разреза (средние данные за 2010-2011 гг.)

Таким образом, в хвое сосны обыкновенной, произрастающей на спланированном отвале без нанесения ППС, происходит накопление аскорбиновой кислоты и каротиноидов, что усиливает эффективность антиоксидантной системы и способствует повышению устойчивости сосновых насаждений в неблагоприятных условиях произрастания. По данным корреляционного анализа установлена положительная взаимосвязь между аскорбиновой кислотой и суммой каротиноидов у сосны обыкновенной на исследуемых площадках наблюдений угольного породного отвала ( $r=0,64$ , при  $p<0,05$ ,  $n=540$ ).

Анализ результатов по изучению жизненного состояния деревьев показал, что на ПН3 у сосны отмечен максимальный балл ЖС (39,64) – выше на 2 и 4% в сравнении с ПН1 и ПН2. На ПН1, несмотря на то, что данная площадка наблюдений характеризовалась наиболее благоприятными эдафическими условиями для роста и развития

растений, балл ЖС минимален и соответствовал 36,6. Снижение ЖС происходило за счет уменьшения живых ветвей в кроне, снижения облиственности крон, увеличения поврежденных некрозами листьев и снижения живой площади листа.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученными результатами установлено, что максимальная устойчивость сосновых насаждений отмечена на спланированном отвале без нанесения ППС (ПН3), несмотря на самые неблагоприятные эдафические условия. На ПН3 выявлено увеличение содержания аскорбиновой кислоты и суммы каротиноидов, что связано с более эффективной работой антиоксидантной системы хвои. Экспериментальные данные позволяют сделать вывод о возможности исключения из технологического этапа рекультивации операции по нанесению потенциально плодородного слоя почвы, как неэффективную, в случае использования посадок сосны обыкновенной.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранник Л.П., Николайченко В.П. Лесная фитомелиорация техногенных земель в Кузбассе // Вестник Кузбасского технического университета. 2007. № 5. С.101-102.
2. Кузьмина Г.М. Культуры сосны в техногенных условиях КАТЭКА // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы международного совещания. 1997. С. 60-75.
3. Рева М.Л., Бакланов В.И., Бувеский Н.М. Временные рекомендации по озеленению породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик Донбасса // Проблемы фитогигиены и охрана окружающей среды; под ред. Э.И. Слепяна. Зоологический институт АН СССР, 1981. 7 с.
4. Жиров В.К., Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаев А.Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере [Отв. редактор Е.Е. Кислых]. М., 2007. С. 10-12.
5. Кирпичникова Т.В., Шавнин С.А., Кривошеева А.А. Состояние фотосинтетического аппарата хвои сосны и ели в зонах промышленного загрязнения при различных микроклиматических условиях // Физиология растений. 1995. Т. 42. № 1. С. 107-113.
6. Siess H., Stahl W. Antioxidant Functions of Vitamins Vitamin E and Vitamin C, 3-Carotene, and Other Carotenoids and Intercellular Communication via Gap Junctions // Int. J. Vitamin Nutr. Res. 1997. V. 67. P. 364-367.

7. Smirnoff N. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-faceted molecule // Current Opinion in Plant Biology. 2000. V. 3. P. 229-235.
8. Черенькова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. С. 8-20.
9. Терёбова Е.Н., Галибина Н.А., Сазонова Т.А. Индивидуальная изменчивость метаболических показателей ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Лесоведение. 2003. № 1. С. 3-76.
10. Гарифзянов А.Р., Иванцев В.В. Антиоксидантная система как основа устойчивости растений. Lap Lambert Academic Publishing., 2012. 200 с.
11. Schutzendiihel A., Polle A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization // J. Exp. Bot. 2002. V. 53. P. 1351-1365.
12. 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.
13. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М., 2003. 256 с.
14. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М., 1999. 193 с.
15. Пахарькова Н.В., Калякина О.П., Шубин А.А., Григорьев Ю.С., Пахарьков С.В., Сорокина Г.А. Различия в акклимационных стратегиях сосны обыкновенной и ели сибирской на загрязнение воздушной среды // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII. № 3-4. С. 232-237.

## THE ROLE OF THE ANTIOXIDANT SYSTEM IN THE SUSTAINABILITY OF PINE PLANTATIONS IN THE CONDITIONS OF A COAL DUMP

© 2013 O.L. Tsandenkova, O.A. Neverova, E.Yu. Kolmogorova

Institute of human ecology of the SB RAS

The sustainability of pine stands growing in different edaphic conditions of the rock dump of the coal mine on indicators of the antioxidant system and the life of plants was studied. It was revealed that, despite the most adverse edaphic conditions, the maximum stability of pine plantations was marked on the planned dumping site without causing potentially fertile soil layer. This is probably due to more efficient work of the antioxidant system of the needles, which manifests itself in the increase of the content of ascorbic acid and amounts of carotenoids.

**Key words:** ordinary Pine (*Pinus silvestris* L.), the heap, agrochemical composition, a vital condition of, ascorbic acid, carotenoids.

---

*Tsandenkova Oksana Leonidovna*, the candidate of agricultural Sciences, scientific employee of laboratory of ecological biomonitoring, Institute of human ecology of the SB RAS, biomonitoring@bk.ru; *Neverova Olga Aleksandrovna*, doctor of biological Sciences, Professor, head of laboratory of ecological biomonitoring, Institute of human ecology of the SB RAS, Nev11@yandex.ru; *Kolmogorova Elena Yurievna*, candidate of biological Sciences, a researcher at the laboratory of ecological biomonitoring, Institute of human ecology of the SB RAS, biomonitoring@bk.ru