

## ЛИТЕРАТУРА

Виноградов Б.В., Орлов В.П., Снакин В.В., Биологические критерии выделения зон экологического бедствия России// Изв. РАН. Сер. геогр. 1993. N 5. С. 77-89.

Морозов А.Е., Состояние кедровых лесов в условиях воздействия нефтегазодобычи в Ханты-Мансийском автономном округе: Дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 1999. 379 с.

Преображенский В.С., Экологические карты (содержание, требования)// Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1990. N 6. С. 119-125.

УДК 630.18 + 504.33

Н. М. Шебалова

(Уральский государственный лесотехнический университет)

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА АКТИВНОСТЬ ПЕРОКСИДАЗЫ АССИМИЛЯЦИОННЫХ ОРГАНОВ СОСНЫ

*Установлено, что активность пероксидаз в тканях хвои сосны обыкновенной зависит как от уровня аккумулированных токсических веществ и их химической природы, так и от состояния самого древостоя.*

Резкое ухудшение экологической обстановки в Уральском регионе привело к биологической депрессии значительных территорий популяций сосны обыкновенной. Наиболее чувствительными к действию атмосферных техногенных выбросов оказались ассимиляционные органы хвойных, не обладающие специальной приспособленностью к воздействию токсикантов. Известно, что в зависимости от устойчивости растений к токсикантам, уровня аккумуляции токсикантов в ассимиляционных органах, длительности их действия на растения в тканях хвои могут происходить довольно глубокие изменения, приводящие в конечном счете к органическим и структурным изменениям в клетках вплоть до разрушения их структур и гибели.

Интерес к изучению активности пероксидазы возник в связи с тем, что данный фермент согласно общепринятому представлению выполняет одну из своих основных функций - защиту клеточных мембран от токсического действия перекисных соединений (Аксенова и др., 1971; Андреева, 1988). О важной физиологической роли этого фермента в клетках растений еще в 1947 г. писал Д. М. Михлин. В настоящее время установлено, что пероксидаза (КФ 1.11.1.17) является одним из весьма распространенных ферментных белков, связана с целым рядом метаболических превращений, происходящих в клетке, обладает широким спектром действия в пределах рН от 3 до 14. Фермент является индуцибельным, реагирует на самые разнообразные воздействия, либо изменяя набор своих изоэнзимов, либо повышая активность уже присутствующих.

Таблица 1

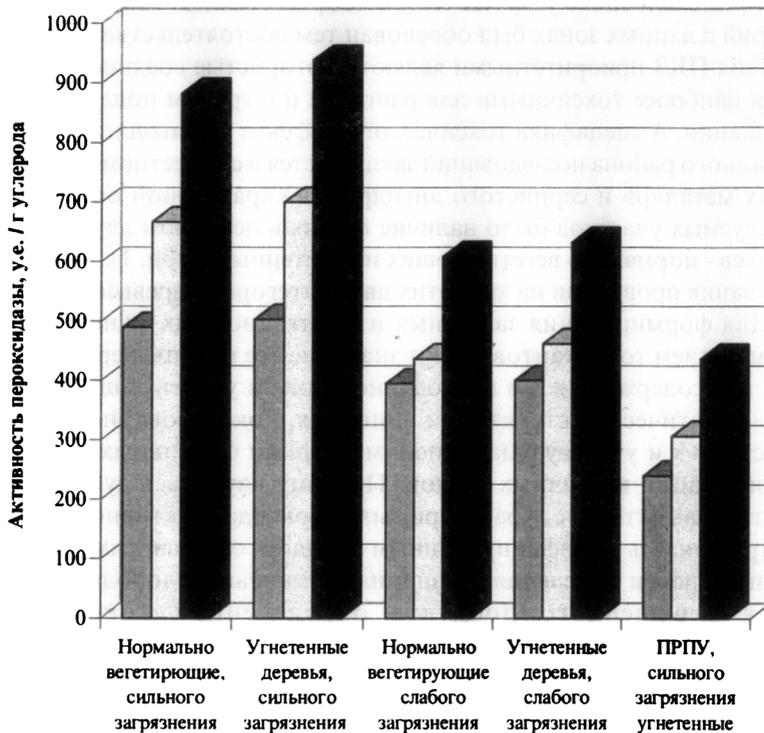
**Таксационные и морфометрические показатели сосны обыкновенной, произрастающей в разных зонах загрязнения**

Признаки	ПКЗ, зона сильного загрязнения		ПКЗ, зона слабого загрязнения		ПРПУ, импактная зона
	Нормально вегетирующие деревья	Угнетенные деревья	Нормально вегетирующие деревья	Угнетенные деревья	Угнетенные деревья
Высота дерева, м	9,8 ± 0,7	8,2 ± 0,4	13,9 ± 0,4	13,3 ± 0,6	6,4 ± 0,7
Высота кроны, м	8,3 ± 0,5	7,1 ± 0,5	12,1 ± 0,3	11,6 ± 0,9	6,0 ± 0,9
Высота до первого живого сучка, м	1,4 ± 0,2	1,1 ± 0,3	1,8 ± 0,2	1,7 ± 0,1	0,4 ± 0,09
Ширина кроны, м	5,8 ± 0,6	5,0 ± 0,4	6,5 ± 0,8	6, ± 0,7	4,9 ± 0,6
Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	20,3 ± 0,5	18,1 ± 0,7	22,9 ± 1,1	22,3 ± 1,8	6,9 ± 0,8
Длина молодой хвои, см	5,2 ± 0,1	5,1 ± 0,1	5,1 ± 0,1	5,0 ± 0,1	3,3 ± 0,1
Длина хвои второго года жизни, см	5,7 ± 0,1	5,2 ± 0,1	6,2 ± 0,1	5,8 ± 0,1	3,4 ± 0,1
Степень поражения хвои 1 года жизни по длине, %	2,7	3,5	0,4	1,2	0,3
Степень поражения хвои 2 года жизни по длине, %	7,9	14,2	0,9	1,7	1,4

В качестве объектов исследования были выбраны сосновые насаждения, расположенные в зоне действия Полевского криолитового завода (ПКЗ), и лесные территории импактной зоны Первоуральско - Ревдинского промышленного узла (ПРПУ). Выбор для исследования лесных территорий в данных зонах был обоснован тем обстоятельством, что в зоне действия ПКЗ приоритетными являются фтористые соединения, являющиеся наиболее токсичными для растений и с трудом поддающиеся детоксикации. А специфика токсического эффекта промышленных выбросов данного района исследований заключается в совместном действии тяжелых металлов и сернистого ангидрида. Характерной особенностью исследуемых участков было наличие на них в основном двух категорий деревьев - нормально вегетирующих и угнетенных (табл. 1). Поэтому исследования проводили на хвое этих двух категорий деревьев.

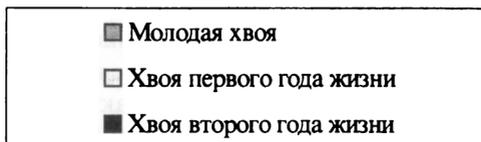
Для формирования защитных и адаптационных функций клетки под влиянием токсикантов имеют значение все группы пероксидаз: катионная, содержащаяся в вакуолярном соке и участвующая в окислении ароматических структур, и анионная, локализованная в клеточных стенках и участвующая в полимеризации фенольных соединений лигнификации клеточных стенок. Поэтому изучалась суммарная относительная активность растворимых пероксидаз. Активность фермента определялась модифицированным методом, основанным на установлении скорости окисления бензидаина перекисью водорода до образования окрашенного продукта определенной концентрации, устанавливаемой фотометрически.

Проведенные исследования показали, что наименьший уровень активности пероксидазы характерен для молодой, только что сформировавшейся в конце июля текущего года хвои (рисунок). В сформировавшихся ассимиляционных органах нормально вегетирующего древостоя зоны сильного загрязнения ПКЗ уровень фермента колеблется в пределах от 490 до 492 у.е., у сосен угнетенного роста - 507 – 512 у.е. С увеличением продолжительности жизни вегетационных органов сосны уровень активности энзима возрастает и уже в хвое первого года жизни нормально вегетирующих деревьев активность энзима достигает 667 – 675 у.е., у угнетенных - 685 – 701 у.е., что соответствует повышению активности пероксидазы по сравнению с таковой в молодой хвое на 36,1 – 37,1% и на 35,4 – 36,9%. Максимальный уровень пероксидазной активности, обнаруженный в ассимиляционных органах второго года жизни, составляет в хвое нормально вегетирующей сосны 880 – 900 у.е., т. е. возрастает в течение года на 31,9 – 33,4% и 950 – 970 у.е. (выше на 38,6 – 39,3% ) - у угнетенного древостоя.



**Зоны загрязнения. Состояние древостоев**

**Активность пероксидазы в разновозрастной хвое сосны обыкновенной, произрастающей в разных зонах загрязнения ПКЗ и зоне сильного загрязнения ПРПУ**



Уровень активности пероксидазы в хвое первого года жизни у нормально вегетирующей сосны зоны среднего загрязнения ПКЗ возрастает на 30,7 – 31,2%, у деревьев угнетенного роста - на 32,5 – 33,1% по сравнению с уровнем активности фермента в молодой хвое; в течение второго года жизни уровень пероксидазной активности увеличивается уже на 42,3 – 42,8% у нормально вегетирующих и на 52,2 – 52,9% у угнетенных сосен и составляет в тканях хвои второго года жизни соответственно 785 – 796 и 820 – 827 у.е.

В зоне слабого загрязнения ПКЗ уровень активности пероксидазы в течение первого года жизни хвои возрастает всего лишь на 15,5% у нормально вегетирующего древостоя и 18,6% у угнетенного; в течение второго года жизни ассимиляционных органов эти показатели соответственно равны 47,6% и 50,7% и достигают значений 640 – 645 у.е. и 690 – 699 у.е. Более высокие темпы изменения уровня активности фермента в хвое второго года жизни в зонах среднего и слабого загрязнения ПКЗ по сравнению с зоной сильного загрязнения связаны, вероятно, не только с накоплением в ней фтор- иона, способного в силу своей окислительной способности инициировать в хвое накопление значительных количеств перекисных соединений, являющихся необходимыми для каталитического акта пероксидазы, но и с его мутагенным воздействием, проявляющимся в изменении активности существующих энзимов с целью повышения защитных клеточных мембран от токсического действия перекисных соединений.

В импактной зоне ПРПУ уровень активности пероксидазы в течение первого года жизни повышается на 30,9 – 32,1%, второго года - на 35,6 – 36,4%. Выявлено также, что уровень активности пероксидазы в ассимиляционных органах сосны обыкновенной, произрастающей в импактной зоне ПРПУ, значительно ниже, чем в аналогичной зоне ПКЗ: в молодой хвое в 2 – 2,5 раза, в тканях хвои первого года жизни - в 1,5 – 1,8 раза, второго года жизни - в 1,2 – 1,6 раза.

Уровень активности пероксидазы в хвое нормально вегетирующих деревьев отличается от уровня активности фермента в ассимиляционных органах угнетенного древостоя в сторону его уменьшения. В молодой хвое первого года жизни сосны, произрастающей в зонах сильного и среднего загрязнения ПКЗ, различие в уровнях активности фермента составляет всего лишь 2 – 3%, в более зрелых вегетационных органах разница возрастает до 7,7 – 9,2%, в зоне слабого загрязнения эти показатели значительно ниже и составляют 0,8 – 1,1% и 2,2 – 2,6%.

Регуляция активности фермента может также осуществляться и торможением реакции ее конечными продуктами, т.е. репрессией по типу

обратной связи и уменьшением количества субстрата. Наиболее распространенными субстратами, на которые действует пероксидаза в тканях растений, являются полифенолы, находящиеся как в свободном состоянии, так и в форме разнообразных соединений, поскольку пероксидазы отвечают за начальные этапы расщепления фенольных соединений у высших растений. Кроме того, фенолы могут также ковалентно связываться с молекулой пероксидазы и менять ее каталитическое действие (Андреева, 1988). Поскольку метаболизм пероксидазы и фенольных соединений тесно взаимосвязан, следовательно, изменение уровня активности фермента должно отражать и изменения в содержании субстратов - соединений фенольной природы. Определение концентрации фенольных соединений проводилось в тех же образцах.

Анализируя данные исследований, представленных в табл.2, следует отметить, что в ассимиляционных органах сосны обыкновенной, произрастающей в зонах техногенного загрязнения, во все сроки исследований всегда находится достаточно высокое количество фенольных соединений. То есть в хвое всегда присутствуют соединения, играющие определенную роль в выполнении структурной, опорной и защитной функций.

Содержание водорастворимых фенольных соединений в молодой, только что сформировавшейся хвое всех исследуемых деревьев практически одно и то же. Динамика же накопления их в вегетационных органах зависит как от состояния древостоя и возраста исследуемой хвои, а следовательно, и уровня накопления в ней загрязняющих веществ, так и от времени года. С повышением возраста хвои происходит увеличение количества водорастворимых фенолов в ассимиляционных органах нормально вегетирующих сосен зоны сильного загрязнения ПКЗ на 61,4%, зонах среднего и слабого загрязнения - на 79,1% и 47,9%; в хвое древостоя угнетенного роста эти показатели соответственно равны 69,7; 85,5; 48,2%, т. е. по мере удаления лесных территорий от источника загрязнения наблюдается снижение концентрации фенольных соединений в ассимиляционных органах. Повышенное количество фенолов в хвое зоны среднего загрязнения ПКЗ, очевидно, связано с месторасположением исследуемого участка, поскольку неподалеку от него расположен завод, промышленные выбросы которого содержат вещества фенольной природы. Наиболее высокие темпы накопления в хвое водорастворимых фенольных соединений на всех исследуемых нами лесных территориях характерны для сосны с угнетенным ростом. Содержание фенолов в хвое сосны, произрастающей в зоне сильного загрязнения ПРПУ, возрастает всего лишь на 34,9%. Отчетливо прослеживается и зависимость содержания фенолов в хвое от времени года.

Таблица 2

Содержание водорастворимых фенольных соединений в хвое сосны, произрастающей в разных зонах загрязнения, мг/г абсолютно сухого вещества

Время отбора хвои, месяц	ПКЗ, зона сильного загрязнения		ПКЗ, зона слабого загрязнения		ПРПУ, зона сильного загрязнения
	Нормально вегетирующие деревья	Угнетенные деревья	Нормально вегетирующие деревья	Угнетенные деревья	Угнетенные деревья
У11	22,5 ± 0,9	22,1 ± 0,9	21,7 ± 0,9	22,9 ± 0,8	21,5 ± 0,8
У111	23,4 ± 0,8	23,2 ± 1,3	23,6 ± 0,9	24,9 ± 1,4	21,7 ± 0,8
1X	27,3 ± 0,8	28,9 ± 0,8	26,7 ± 1,2	27,9 ± 1,4	28,5 ± 1,2
X1	29,4 ± 0,9	32,7 ± 0,8	28,5 ± 1,2	28,6 ± 1,0	21,9 ± 0,9
111	20,6 ± 0,7	20,8 ± 0,8	21,4 ± 0,8	22,4 ± 0,8	16,3 ± 0,6
У	21,0 ± 0,8	20,9 ± 0,7	20,9 ± 0,8	21,6 ± 0,8	18,8 ± 0,7
У1	25,4 ± 0,8	28,4 ± 1,0	26,2 ± 0,9	22,8 ± 0,8	21,2 ± 0,7
У11	29,3 ± 0,9	31,2 ± 1,2	31,3 ± 1,3	29,1 ± 1,1	24,6 ± 0,8
У111	33,4 ± 0,9	34,1 ± 1,3	31,9 ± 1,3	31,3 ± 1,2	28,5 ± 0,9
1X	34,7 ± 1,1	37,7 ± 1,2	32,3 ± 1,2	32,1 ± 1,3	29,0 ± 1,0
X1	36,4 ± 1,0	37,5 ± 0,9	32,1 ± 0,9	32,9 ± 1,1	26,2 ± 1,1
111	33,8 ± 0,7	34,2 ± 0,9	30,3 ± 0,9	27,4 ± 0,7	22,1 ± 1,1

Сравнивая результаты исследований по определению уровня активности пероксидазы со степенью аккумуляции хвоей поллютантов и количеством водорастворимых фенолов, можно отметить, что характер изменения уровня фермента зависит как от природы и концентрации поллютантов, так и количества фенолов в вегетационных органах.

Таким образом, результаты наших исследований показали, что сложный комплекс загрязнителей, присутствующий в атмосфере, усиливает у произрастающих в этих условиях сосновых насаждений уровень активности гемопротеида пероксидазы. Минимальный уровень активности пероксидазы характерен для молодой, только что сформировавшейся хвои. Этот уровень возрастает по мере увеличения продолжительности ее жизни. Уровень активности пероксидазы в хвое нормально вегетирующих деревьев значительно ниже уровня ее активности в ассимиляционных органах угнетенного древостоя.

Однако возросший уровень активности фермента может свидетельствовать не только об активизации приспособительных свойств клетки хвои сосны, но и об ускорении процессов старения при длительном воздействии поллютантов. Подтверждением последнего служат результаты наших исследований о сокращении продолжительности жизни хвои до 1,5 – 3 лет.

#### ЛИТЕРАТУРА

Аксенова В.А., Кожанова О.Н., Рубин Б.А. О некоторых свойствах пероксидазы инфицированных тканей растений // Физиология растений. 1971. Т.18. Вып.2. С. 387 - 391.

Андреева В.А. Фермент пероксидаза. М.: Наука, 1988. 128 с.

Андреева В.А. Роль пероксидазы в защитном механизме растений, пораженных вирусами. Plant virology. Brno, 1981. P. 21-24.

УДК. 630.161.02

Д.Ю. Голиков., С.А. Шавнин

(Уральский государственный лесотехнический университет)

И.С.Овчинников

(Новоуральский лесхоз)

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА СТВОЛА

*Работа посвящена комплексной оценке состояния и экологическому мониторингу лесов при помощи лесоводственно-таксационных и физиологических методов. Рассмотрены границы применимости метода оценки системы водно-минерального транспорта ствола путем измерения электрического импеданса прикамбиального комплекса. Приведены данные о сезонно-возрастной динамике этой физиологической характеристики и по годам. Установлено, что оптимальными сроками проведения измерений для целей экологического мониторинга являются конец августа - сентябрь. Конк-*