

УДК 630\*18

***Н. М. Шебалова, Л. Г. Бабушкина***

Шебалова Надежда Михайловна родилась в 1948 г., окончила в 1973 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет около 55 печатных работ по вопросам влияния азротехногенного загрязнения на лесные экосистемы.



Бабушкина Люция Георгиевна родилась в 1934 г., окончила 1957 г. Уральский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, академик РАЕН и Нью-Йоркской АН, руководитель проблемной научно-исследовательской лаборатории Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет около 240 печатных работ в области изучения влияния азротехногенного загрязнения на лесные экосистемы.

**К МЕХАНИЗМАМ ПОВРЕЖДЕНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ЗОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Показано, что устойчивость сосны обыкновенной к токсикантам характеризуется комплексом физиолого-биохимических приспособлений, обеспечивающих ее функционирование в данных условиях.

В настоящее время большую остроту и актуальность приобрела проблема изучения устойчивости лесных экосистем, расположенных в техногенных зонах.

Наш выбор для исследования лесных территорий в зоне действия Полевского криолитового завода обоснован многолетним воздействием комплекса поллютантов с преобладанием фтористых соединений, особо токсичных как для растений, так и для животных и человека. Фтор по возможности отрицательному воздействию выделен в класс высокоопасных веществ, его токсичность в десятки раз выше токсичности оксидов азота и сернистого газа. Фториды не участвуют в обмене веществ растений и с большим трудом нейтрализуются.

Постоянные пробные площади (ППП) были заложены в условиях одного типа леса (сосняк разнотравный), одинаковых рельефа, экспозиции и почв, на расстоянии 30 ... 40 м от квартальных дорог, просек, границ безлесных территорий. Размер каждой площади обеспечивал достаточное чис-

ло деревьев для проведения 10-летних таксационных исследований по общепринятым методикам [1, 5].

Ферментативную активность в тканях хвои сосны обыкновенной определяли также по общепринятым методикам в пяти повторностях для каждого образца [2, 3]. Суммарную активность фермента выражали в единицах ферментативного действия как количественное изменение субстрата за определенный промежуток времени. Достоверность результатов и обоснованность выводов обеспечена длительными исследованиями, анализом большого по объему фактического материала, обработанного статистически на разных этапах работы, сопровождающейся выявлением степени изменчивости изучаемого признака и его определения.

В лесных сообществах выделяют несколько групп показателей состояния древостоя, которые могут быть использованы для обнаружения реакций на антропогенное воздействие, среди них таксационные и морфометрические. Таксационные исследования показали, что по характеру растительности районы исследования резко различаются. Древостой зоны сильного загрязнения характеризуется III классом бонитета с относительной полнотой 0,5, в зоне слабого эти показатели соответственно равны I и 0,9 ... 1,0. На всех исследуемых ППП отмечается наличие в основном двух категорий деревьев: нормально вегетирующих и угнетенных. Их количество в сформировавшемся древостое зависит от месторасположения лесных территорий относительно стационарного источника загрязнения. В зоне сильного загрязнения количество угнетенных деревьев достигает 38 ... 45 %. Диаметр их ствола меньше на 17 ... 18 %, высота дерева на 16 ... 17 %, высота кроны на 9 ... 10 % и ширина на 13 ... 14 % по сравнению с нормально вегетирующими (табл. 1). В зоне слабого загрязнения угнетенных деревьев 8 ... 12 %. По мере удаления от завода разрыв в показателях постепенно снижается.

Полученные показатели информативны, и по ним видны ярко выраженные нарушения древостоя, принимающего на себя техногенную нагрузку. Но эти нарушения проявляются уже после того, как накопленные в лесной экосистеме токсиканты преодолели ее сопротивление, нарушили деятельность буферных механизмов, отвечающих за сохранение состояния гомеостаза. Следствием этого, очевидно, может являться переход их на менее устойчивый уровень. Так что же обуславливает возникновение поражений ассимиляционных органов и низкий уровень таксационных показателей, особенно в зоне сильного загрязнения?

Согласно теории поражения и устойчивости, разработанной на клетках животных [4], одним из наиболее распространенных механизмов повреждения является процесс перекисного окисления, токсическое действие которого проявляется в образовании высокореагентных и высокотоксичных свободных радикалов. В живой растительной клетке перекисное окисление в тканях является нормальным метаболическим процессом, если он регулируется рядом ферментативных систем и природных антиоксидантов. И только при разбалансировании антиокислительной и антиоксидантной

Таблица 1

Показатели	Значения показателей в зонах загрязнения			
	сильного		слабого	
	Нормально вегетирующие древостои	Угнетенные древостои	Нормально вегетирующие древостои	Угнетенные древостои
Высота дерева, м	9,9	8,2	13,9	13,3
Диаметр ствола, см	20,3	18,1	22,9	22,3
Высота кроны, м	8,3	7,1	12,1	11,6
Ширина кроны, м	5,8	5,0	6,5	6,0
Высота до первого живого сучка, м	1,4	1,1	1,8	1,7
Продолжительность жизни хвои, лет	2,0...2,5	2,0...2,5	3,0...3,5	3,0...3,5
Длина хвои, см	<u>5,7</u>	<u>5,2</u>	<u>5,8</u>	<u>5,4</u>
	5,7	5,2	5,8	5,4
Степень поражения хвои по длине, %	<u>2,7</u>	<u>3,5</u>	<u>0,4</u>	<u>1,2</u>
	7,9	14,2	0,9	1,7
Концентрация фтор-иона, мкг/г углерода	<u>130,3</u>	<u>145,2</u>	<u>10,1</u>	<u>15,7</u>
	156,6	188,5	17,9	24,8
Концентрация сульфат-иона, мг экв/г углерода	<u>46,1</u>	<u>53,5</u>	<u>55,5</u>	<u>60,3</u>
	73,7	80,1	87,4	92,2
Коэффициент наличия перекисных соединений	<u>14,9</u>	<u>16,6</u>	<u>8,9</u>	<u>8,5</u>
	20,2	21,9	9,5	10,6
Пероксидаза, у.е./г углерода	<u>607,4</u>	<u>700,1</u>	<u>436,3</u>	<u>462,5</u>
	883,7	939,4	609,9	630,1
Полифенолы, мг/г сухого вещества	<u>29,4</u>	<u>32,7</u>	<u>28,5</u>	<u>28,6</u>
	36,3	37,5	31,2	32,9
Каталаза, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /г углерода	<u>40,7</u>	<u>42,1</u>	<u>50,0</u>	<u>56,0</u>
	43,7	44,1	64,0	59,0
Малоновый диальдегид, у.е./г углерода	<u>1,4</u>	<u>1,5</u>	<u>1,6</u>	<u>1,7</u>
	2,8	3,1	3,0	3,3
Протеаза, мг тирозина/ г углерода	<u>6,0</u>	<u>6,3</u>	<u>5,0</u>	<u>5,2</u>
	10,2	11,4	7,6	8,3

Примечание. В числителе дробей данные для хвои первого года жизни; в знаменателе – второго.

систем процесс перекисного окисления становится неуправляемым и образуются свободные радикалы, вызывающие разрушение клеточной мембраны и в конечном счете ведущие к гибели клетки. Наличие стационарного источника загрязнения постоянно усиливает существование техногенных аномалий, опасность которых может проявляться в кумулятивном характере их воздействия на древостои. Поэтому даже незначительные загрязнения лесных экосистем в течение длительного времени могут нарушить не только жизненные функции растений, но и изменить генетический код.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что в тканях хвои сосны обыкновенной находится достаточно большое количество перекисных

соединений. Это подтверждается довольно высоким уровнем суммарной активности пероксидазы, каталитические свойства которой строго специфичны к перекисям водорода, и коэффициентом наличия перекисных соединений, выраженным отношением уровней активности пероксидазы и каталазы. Наличие перекисных соединений может быть связано с содержанием в них фтор-иона, способного в силу своей окислительной способности инициировать накопление перекисей, а также образованием их в результате биохимических реакций.

Анализ данных табл. 1 и 2 показал, что увеличение суммарной активности протеаз свидетельствует о довольно глубоких изменениях белкового метаболизма, разбалансировке биосинтетических и катаболических процессов. Происходящая интенсификация процесса протеолиза приводит к возрастанию содержания аминокислот. Так, в хвое второго года жизни сосны обыкновенной, произрастающей в зоне сильного загрязнения ПКЗ, содержание аминокислот увеличивается на 28 ... 40, слабого – на 5,6 ... 17,4 %.

О дестабилизации структуры клеток, нарушениях важнейших физиологических процессов и сдвигов в окислительно-восстановительных реакциях свидетельствует и рост суммарной активности пероксидаз, полифенолоксидаз и дегидрогеназ.

Стремительное повышение уровня активности пероксидазы, особенно в хвое сосны угнетенного роста зоны сильного загрязнения, способствует не только реализации защитно-приспособительных реакций растений в экстремальных условиях. Оно может привести и к образованию супероксидных радикалов и окисленных форм фенольных соединений, снижающих жизнеспособность клетки, нарушающих энергетический обмен и в конечном

Таблица 2

Аминокислота	Аминокислотный состав хвои второго года жизни, мг/100 г сухой ткани, в зонах загрязнения	
	сильного	слабого
Аспарагиновая	747 ± 72	626 ± 20
Треонин	338 ± 26	284 ± 12
Серин	314 ± 27	262 ± 10
Глутаминовая	1061 ± 109	881 ± 55
Пролин	373 ± 19	350 ± 44
Глицин	464 ± 35	395 ± 12
Аланин	444 ± 33	376 ± 38
Валин	490 ± 45	428 ± 16
Изолейцин	351 ± 27	308 ± 6
Лейцин	577 ± 39	514 ± 9
Тирозин	220 ± 24	188 ± 6
Фенилаланин	418 ± 9	378 ± 12
Гистидин	224 ± 36	225 ± 39
Лизин	432 ± 22	380 ± 11
Аргинин	407 ± 28	366 ± 5

итоге активизирующих процессы старения и отмирания ассимиляционных органов, сокращая продолжительность их жизни. Это и наблюдается в исследуемых нами лесных биогеоценозах, особенно в зонах сильного загрязнения.

Неспецифический характер некоторых реакций клеток тканей хвои сосны на накопление в них токсикантов позволяет мобилизовать резервные защитные возможности организма для общего и быстрого ответа на их воздействие. Например, для уменьшения количества перекисных соединений и поддержания жизнеспособности в тканях хвои сосны обыкновенной интенсифицируется процесс разложения перекисных соединений в клетке, о чем свидетельствует повышение активности каталазы. Усиление активности ферментов, способствующих снижению содержания в хвое значительных количеств перекисных соединений, подтверждается увеличением содержания малонового диальдегида, одного из конечных продуктов их расщепления.

В клетках ассимиляционных органов накапливаются полифенолы, также выполняющие защитную функцию, выражающуюся в способности связывать ионы тяжелых металлов в устойчивые комплексы, лишая тем самым их каталитического действия. Эти же соединения служат акцепторами образующихся свободных радикалов и поэтому способны гасить цепные свободнорадикальные процессы. Содержание их в тканях в среднем увеличивается в зависимости от места расположения лесных территорий относительно источника загрязнения: в зоне слабого загрязнения на 33,1 ... 48,2, сильного – на 52,1 ... 61,4 %.

Активизация обменных процессов в ассимиляционных органах, способствующая накоплению в них метаболического топлива в виде АТФ для поддержания жизнедеятельности сосны обыкновенной в зонах техногенного загрязнения, вызывает и увеличение активности дегидрогеназ, особенно у древостоя угнетенного роста.

Таким образом, устойчивость к токсикантам сосны обыкновенной, произрастающей в разных зонах промышленного загрязнения, характеризуется целым комплексом физиолого-биохимических приспособлений, обеспечивающих функционирование обмена веществ в тканях хвои, длительную стабильность окислительно-восстановительного равновесия, способность к синтезу некоторых белков-ферментов, играющих адаптивную роль.

На различных уровнях биологической организации приспособление растений к экстремальным условиям осуществляется по-разному. Чем выше ее уровень (клетка, организм, популяция), тем большее число механизмов одновременно участвует в адаптации растений к стрессовым воздействиям.

На уровне организма механизмы адаптации, свойственные клетке, дополняются новыми, отражающими взаимодействие органов в целом растении. Прежде всего это конкуренция отдельных органов за физиологически активные вещества и трофические факторы.

Следовательно, в экстремальных условиях произрастания формируется лишь такой уровень таксационных показателей древостоя, который