

УДК 630*425:582.475.4-113.21

В. В. ТУЖИЛКИНА
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН



Тужилкина Валентина Васильевна родилась в 1949 г., окончила в 1973 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 43 печатные работы в области экологической физиологии древесных растений: фотосинтетической деятельности и минерального питания хвойных на Севере.

ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКС ХВОИ СОСНЫ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены результаты изучения пигментного фонда хвои сосны в зоне действия СЛПК. Показан характер изменения пигментного комплекса хвои в сосновых древостоях под влиянием промышленных выбросов.

The results of investigation into pigment pine needles stock in the area of Syktyvkar timber integrated enterprises have been considered. The character of the needles pigment complex change in pine forests affected by industrial discharges has been revealed.

Атмосферное загрязнение является наиболее значительным антропогенным стрессом. Для Республики Коми эта проблема чрезвычайно актуальна в связи с деятельностью целлюлозно-бумажных, нефтеперерабатывающих и газодобывающих производств. Особенно возрастает влияние промышленных выбросов на лесные экосистемы. В целях их сохранения и защиты возникает необходимость в изучении влияния загрязнения воздуха на хвойные, являющиеся главными лесообразующими породами региона и отличающиеся высокой чувствительностью к загрязнению окружающей среды.

Известно, что одним из показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является содержание хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки. Наиболь-

шего внимания заслуживают хлорофиллы, содержание которых является критерием оценки взаимосвязи растений со средой и фотосинтетической продуктивности растений [1–3, 5].

Поэтому для выяснения влияния аэротехногенных загрязнений на ассимиляционный аппарат сосны нами был исследован пигментный комплекс хвои в различных типах хвойных фитоценозов, расположенных в зоне действия Сыктывкарского лесопромышленного комплекса (СЛПК). Основными компонентами выбросов комбината являются оксиды азота, серы и углерода, сернистый ангидрид и неорганическая пыль.

Исследования проводили в 1993–1995 гг. на экспериментальных участках, расположенных на разных расстояниях от СЛПК по вектору господствующих ветров летом (С–В), а также в восточном направлении (табл. 1). Контрольные участки находятся в 50 км к северу от СЛПК на территории Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Образцы двухлетней хвои сосны брали с южной стороны трех-четырёх опытных и контрольных деревьев из средней части кроны. Количественный анализ хлорофиллов и каротиноидов проводили спектрофотометрически на СФ-16 в ацетоновой вытяжке при длинах волн 662, 644, 440,5 нм [7]. Количество хлорофилла в светособирающем комплексе (ССК) оценивали по содержанию хлорофилла *b*, поскольку он входит только в ССК. Большая часть хлорофилла *b* входит в состав ССК фотосистемы 2 (ФСII) в соотношении с хлорофиллом *a* примерно 1:1 [9]. Поэтому количество хлорофилла *a* в хлорофилло-белковых комплексах ФС I и ФС II оценивали по разности в содержании хлорофилла *a* и *b* [2].

Аэротехногенное загрязнение среды оказывает влияние на формирование пластидного аппарата и накопление пигментов. Установлено, что в хвое сосен, произрастающих в зоне действия СЛПК, на участках, расположенных по направлению господствующих ветров,

Таблица 1

**Характеристика экспериментальных участков
в лесах зоны влияния Сыктывкарского ЛПК**

№ участка	Удаление от СЛПК, км	Направление	Состав древостоя	Тип леса	Возраст, лет	Класс бонитета
6*	7	С–В	10С	Лишайниковый	25	Культуры
12	7	С–В	6С4Б	Черничный	60	III
13	5,6	С–В	10С	Лишайниковый	150	V
14	10	В	9С1Б	Черничный	70...160	III
17	10	В	10С	Лишайниковый	70...160	IV

* Исследованиями охвачены единичные деревья 50-летнего возраста, сохранившиеся после рубки.

Таблица 2

**Содержание фотосинтетических пигментов
в хвое сосны, мг на 1 г свежей массы**

Изучаемый показатель	Экспериментальные участки					
	12	Контроль	13	Контроль	6	Контроль
Хлорофилл:						
<i>a</i>	0,648	0,907	0,473	0,637	0,363	0,433
<i>b</i>	0,223	0,283	0,154	0,236	0,092	0,148
<i>a + b</i>	0,871	1,190	0,627	0,873	0,455	0,581
<i>a - b</i>	0,425	0,624	0,319	0,401	0,271	0,285
<i>a / b</i>	2,91	3,20	3,07	2,69	3,90	2,93
Сумма каротиноидов	0,263	0,336	0,209	0,282	0,154	0,174

наблюдается уменьшение содержания хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с фоновыми условиями (табл. 2).

Известно, что непосредственное участие в фотохимических реакциях преобразования энергии в фотосинтезе принимает только 1 % хлорофилла, а остальная масса пигментов входит в состав «антенн» – светособирающей и фокусирующих, т.е. служит для поглощения энергии и передачи ее к соответствующим реакционным центрам (РЦ). Согласно существующим представлениям, весь хлорофилл тилакоидов локализован в трех типах мембранных комплексов: ФС II и ССК, располагающихся в основном в зоне стекинга гранальных тилакоидов, а также ФС I, находящемся в стромальных мембранах и концевых участках гран [8]. В построении РЦ обеих фотосистем участвует главным образом хлорофилл *a*, хлорофилл *b* в основном входит в состав ССК, функционально сопряженного с ФС II.

Согласно нашим данным, хвоя опытных и контрольных деревьев различается не только по суммарному содержанию зеленых и желтых пигментов. Изменения в пигментном комплексе под влиянием загрязнения происходят главным образом за счет снижения содержания хлорофилла *b*. Так, в хвое опытных деревьев в лишайниковых типах леса (экспериментальные участки 6 и 13) концентрация хлорофилла *a* уменьшается на 16 и 31, хлорофилла *b* – на 38 и 35 % по сравнению с контролем. О преобладающем разрушении хлорофилла *b* под влиянием загрязнения свидетельствует и соотношение компонентов зеленых пигментов, которое увеличилось до 3,90. Это, в свою очередь, показывает, что в хлоропластах хвои уменьшается светособирающий комплекс, который согласно исследованиям Х. Зубера [10], С.А. Гостимского и др. [6] играет важную роль в образовании гран. Для подтверждения нашего предположения, касающегося уменьшения ССК в пластидах хвои сосны под влиянием поллютантов, необходимы результаты электронно-микроскопической структуры клеток мезофилла.

В сосняке-черничнике (участок 12), наряду со снижением общего фонда зеленых пигментов, количество хлорофилла *a* уменьшается на 28, хлорофилла *b* – на 22 % по сравнению с контролем.

Таблица 3

Содержание хлорофилла в двухлетней хвое древостоев сосны (июль 1995 г.)

Тип леса	Вариант	Хлорофилл, мг на 1 г свежей массы		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>
Черничный	Опыт	0,693 ± 0,013	0,286 ± 0,003	0,979 ± 0,013
	Контроль	0,546 ± 0,012	0,194 ± 0,006	0,740 ± 0,017
Лишайниковый	Опыт	0,573 ± 0,015	0,218 ± 0,015	0,791 ± 0,029
	Контроль	0,523 ± 0,009	0,198 ± 0,008	0,721 ± 0,011

Таким образом, ухудшение состояния сосновых древостоев в зоне действия ЛПК сопровождалось снижением количества пигментов.

У деревьев, произрастающих в зоне промышленных выбросов в непосредственной близости от ЛПК, происходит изменение хлорофилла в хлорофилл-белковых комплексах ФС I и ФС II (*a - b*), которое отличается от изменений содержания хлорофилла в ССК (табл. 2). На участках 12 и 13 содержание хлорофилла в комплексах ФС I и ФС II снижается соответственно на 32 и 20 % по сравнению с контролем. На участке 6 в отличие от контроля содержание хлорофилла в ССК также уменьшается, а разность *a - b* практически не изменяется.

Хроническое загрязнение атмосферы газообразными токсикантами в промышленных зонах по-разному влияет на содержание пигментов в ассимиляционных органах древесных растений. Так, у деревьев, произрастающих в черничном и лишайниковом типах леса в восточном направлении от источника эмиссий, наблюдается некоторое усиление процессов пигментообразования, о чем свидетельствует повышенное содержание хлорофиллов (табл. 3). Концентрация зеленых пигментов в черничном типе леса в 1,3, а в лишайниковом в 1,1 раза выше по сравнению с контролем. Это может быть связано с накоплением продуктов окисления углеводов органических кислот цикла Кребса, продуктов гидролиза белков, необходимых для синтеза пигментов [3].

Итак, характер изменения пигментных комплексов, вызываемых промышленными выбросами, не специфичен. Он сходен с изменениями, обнаруженными ранее Г.И. Гирс [4] и Н.В. Гетко [3] при других стрессовых воздействиях на древесные растения, когда при слабом неповреждающем влиянии наблюдается новообразование хлорофиллов, при сильном – торможение и разрушение пигментов.

В заключение следует отметить, что реакция ассимиляционного аппарата сосны на хроническое загрязнение воздуха промышленными эмиссиями СЛПК неоднозначна. Чем ближе источник загрязнения, тем выше чувствительность пигментной системы сосны к промышленным токсикантам, что выражается в снижении общего количества пигментов (хлорофилла *b* в большей степени, чем хлорофилла *a*).

С увеличением расстояния от лесопромышленного комплекса поллютанты начинают оказывать стимулирующее влияние на образование хлорофилла в хвое. Пластидный аппарат сосны приспосабливается к условиям среды, изменяется соотношение компонентов