

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS L.) В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В данной статье исследованы физиологические и морфологические параметры хвои сосны обыкновенной в условиях аэротехногенного загрязнения выбросами ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» – филиала Минусинской ТЭЦ.

Ключевые слова: хвоя, загрязнение, водный дефицит, фотосинтез, дыхание, теплоэнергетика.

A.V. Grigorenko

PHYSIOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL INDICATORS OF THE SCOTCH PINE (PINUS SYLVESTRIS L.) IN THE CONDITIONS OF AERO-ANTHROPOGENIC POLLUTION

The physiological and morphological parameters of Scotch pine needles in the conditions of the aero-anthropogenic pollution by the emissions of PJSC «Yenisei Territorial generating company (TGC-13)» branch of Minusinskheat electropower station are researched in the article.

Key words: needles, pollution, water deficit, photosynthesis, breathing, heat and power engineering.

Введение. В последние годы остро стоит вопрос о состоянии лесных экосистем, находящихся в зоне аэротехногенного воздействия промышленных предприятий.

Леса, подверженные механическому и химическому воздействию выбросов, в свою очередь, являются природными очистителями атмосферы, способствуя сохранению качества воздуха. Поэтому исследование состояния лесных экосистем, подверженных негативному воздействию промышленных предприятий, в настоящее время актуально.

В Минусинском районе Красноярского края природным стабилизатором состояния окружающей среды является Минусинский ленточный бор, относящийся к категории защитных лесов. Негативное воздействие на него определяется главным образом выбросами предприятия по выработке электроэнергии и тепла – ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» – филиала «Минусинская ТЭЦ». В течение 17 лет в атмосферу от организованных источников ТЭЦ поступают взвешенные вещества, двуокись серы, угарный газ, оксиды азота, бенз(а)пирен.

Выбросы предприятий энергетики являются одной из основных причин нарушения устойчивого функционирования лесных экосистем, приводящей к их деградации [1].

Основным загрязняющим веществом, поступающим в атмосферный воздух от Минусинской ТЭЦ, является пыль неорганическая (содержащая 70–20% двуокиси кремния). Ежегодно в результате работы ТЭЦ в атмосферу поступает более 24125 тонн неорганической пыли [2].

Загрязнение атмосферного воздуха взвешенными веществами может привести к нарушению температурного и водного режима растений, негативно отразиться на процессах поглощения световой энергии и газообмена, привести к забиванию устьиц [3].

Деструктивный характер воздействия пыли на лесные экосистемы связан с прямым контактом живых тканей с механическими ингредиентами [4].

Из параметров лесной экосистемы наиболее важными считаются параметры древостоя, который принимает на себя основную нагрузку и определяет последующую циркуляцию химических веществ в экосистеме [5].

Для понимания реакции древесного организма на промышленное загрязнение необходим учет физиологических особенностей.

Универсальными показателями, по которым можно судить о влиянии техногенных источников на растительные организмы, являются интенсивность фотосинтеза и дыхания.

Нарушение процессов фотосинтеза и дыхания растений в результате воздействия промышленных выбросов выявлено многими учеными. Установлено, что при воздействии невысоких концентраций загрязняющих веществ на сосняки происходит активация процессов синтеза [6, 7]. Влияние высоких доз промышленных выбросов, напротив, приводит к деградации фотосинтетических пигментов [8, 9] и снижению интенсивности фотосинтеза [10].

Ещё одним параметром, по которому можно судить о воздействии выбросов загрязняющих веществ на лесные экосистемы, является величина водного дефицита [11].

Атмосферное загрязнение способствует повышению водного дефицита и может привести к увеличению скорости водоотдачи и снижению вододерживающей способности хвои сосны [12].

В природных условиях полное насыщение листьев и хвои водой практически не наблюдается. Водный дефицит, не превышающий 10 %, не причиняет растению вреда, а значение водного дефицита, достигающее 25 % и более, приводит к снижению интенсивности роста и фотосинтеза, закрыванию устьиц и, как следствие, к завяданию [13].

Водный дефицит является ценным физиологическим показателем степени зависимости интенсивности фотосинтеза и дыхания от обеспеченности влагой.

Изменения физиологических особенностей способны приводить к видимым повреждениям: хлорозам, некрозам, уменьшению размеров и снижению продолжительности жизни хвои.

Хвоя деревьев, произрастающих в загрязненных районах, отличается малой продолжительностью жизни, и чем больше район подвержен действию токсикантов, тем короче жизнь хвои. Наряду с уменьшением продолжительности жизни хвои у деревьев в условиях атмосферного загрязнения наблюдается уменьшение ее длины и ширины. Изменение размеров хвои – ответная реакция растения на ухудшение качественных условий окружающей среды [14].

Информативными показателями состояния окружающей среды служат: изменение окраски хвои, наличие некротических поражений. Хлорозы и некрозы являются одним из механизмов дезактивации токсичных соединений в растениях [15].

Благодаря учету физиологических и морфологических особенностей хвои возможно судить о качестве окружающей среды и о степени воздействия антропогенных источников на лесные экосистемы.

Цель исследования. Изучение состояния Минусинского ленточного бора в условиях загрязнения выбросами предприятия ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» – филиала «Минусинская ТЭЦ».

Методы исследования. Для выявления воздействия выбросов загрязняющих веществ, отходящих от Минусинской ТЭЦ, вдоль преобладающего горизонтального вектора движения воздуха на территории Минусинского бора были заложены пробные площадки (ПП) на расстоянии 5, 10, 15 км от ТЭЦ. В качестве фоновой использовали пробную площадку, расположенную на расстоянии 7 км к западу от ТЭЦ (направление наименьшей повторяемости ветра).

Обследование лесов осуществлялось с использованием инструкций и методик, утвержденных органами лесного хозяйства [16, 17].

Для каждой из пробных площадей определены основные лесотаксационные характеристики (табл. 1).

Таблица 1

Краткая характеристика пробных площадей

Пробная площадь	Расстояние от ТЭЦ, км	Состав	Класс возраста	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Класс бонитета	Полнота		Запас, м ³ /га
							абсолютная, м ²	относительная	
Фон	7	10С(78)	IV	18,0	24,3	III	29,0	0,77	257
1	5	10С(77)едБ, Ос	IV	22,0	24,8	II	30,7	0,80	310
2	10	10С(87)	IV	22,8	24,8	II	31,0	0,90	304
3	15	10С(75)едБ	IV	20,0	24,1	III	32,9	0,80	275

На каждой ПП для определения интенсивности фотосинтеза, дыхания, водного дефицита было отобрано по 5 модельных деревьев приблизительно одного возраста и габитуса.

Образцы хвои второго года жизни отбирали из средней части кроны во второй половине вегетационного периода (начало августа). Эти же деревья служили модельными для исследования морфологических параметров хвои.

Определение интенсивности фотосинтеза осуществляли методом ассимиляционной колбы (по Иванову Л.А. и Коссович Н.Л.). Определение интенсивности дыхания – по количеству выделенного диоксида углерода (по Бойсен-Иенсену).

Водный дефицит определяли как разность между наибольшим содержанием воды в состоянии насыщения и содержанием воды в момент анализа по общепринятой методике [18]. Все опыты проводили в трехкратной повторности.

Классы опада хвои определяли по следующей классификации: 1 – вся хвоя держится на побеге; 2 – осыпалось менее половины хвои; 3 – осыпалось около половины хвои; 4 – остались единичные хвоинки; 5 – осыпалась вся хвоя [19].

Классы повреждения и усыхания оценивали по шкалам, предложенным Jäger [20]. Классы повреждения: 1 – хвоинки без пятен; 2 – с небольшим числом мелких пятнышек; 3 – с большим числом черных пятен. Классы усыхания: 1 – нет сухих участков; 2 – усох кончик длиной 2–5 мм; 3 – усохла треть хвоинки; 4 – более половины или вся хвоинка желтая.

Состояние хвои изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа HITACHI TM-1000 при увеличении $\times 1000$.

Результаты исследования. Значения водного дефицита, интенсивности дыхания и фотосинтеза, полученные в результате лабораторных исследований, занесены в таблицу 2.

Таблица 2

Значения физиологических параметров хвои *Pinus sylvestris* L. второго года жизни

Пробная площадь	Расстояние от ТЭЦ, км	Водный дефицит, % (P=0,95)	Интенсивность дыхания, мг/г·ч (P=0,95)	Интенсивность фотосинтеза, мг/дм ² ·ч (P=0,95)
Фон	7	4,98±0,04	0,635±0,011	6,72±0,09
1	5	9,94±0,07	0,572±0,002	5,54±0,12
2	10	13,35±0,03	0,493±0,002	4,23±0,11
3	15	8,74±0,05	0,596±0,002	5,82±0,03

Как видно из таблицы 2, значение водного дефицита в фоновой точке составило 4,98±0,04%, что не превышает 10 %, следовательно, не наносит вреда растительному организму. Водный дефицит на расстоянии 5 и 15 км от ТЭЦ больше фонового значения, но также не превышает 10 %. Значение интенсивности фотосинтеза хвои на расстоянии 5 км от ТЭЦ по сравнению с фоном снижено на 9,92 %, дыхания – на 17,56 %. А на расстоянии 15 км от ТЭЦ выявлено снижение данных параметров по сравнению с фоном на 6,14 и 13,39 % соответственно. Наибольшее значение водного дефицита выявлено на расстоянии 10 км от ТЭЦ (13,35%±0,03), это в 2,7 раза превысило водный дефицит фоновой точки. Здесь же наблюдаются наименьшие значения интенсивности фотосинтеза и дыхания, разница с фоновыми показателями составляет 22,36 и 37,05 %.

Недостаток влаги влияет на все процессы жизнедеятельности. С усилением водного дефицита интенсивность фотосинтеза и дыхания снижается.

Выявлены сильные отрицательные корреляции между значениями водного дефицита и интенсивностью фотосинтеза (-0,98), а также между водным дефицитом и интенсивностью дыхания (-0,97.)

Результаты исследования продолжительности жизни, длины и ширины хвои, классов опада, повреждения и усыхания хвои занесены в таблицу 3.

Таблица 3

Морфологические параметры хвои *Pinus sylvestris* L. второго года жизни на различном расстоянии от ТЭЦ

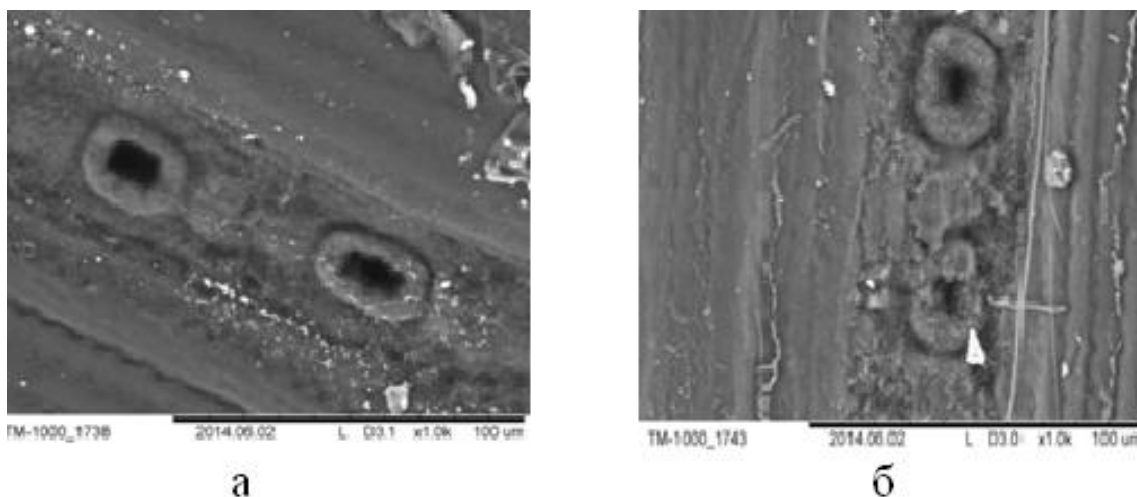
Пробная площадь	Расстояние от ТЭЦ, км	Продолжительность жизни хвои (лет), $\frac{max - min}{средняя}$	Длина хвои, см (P =0,95)	Ширина хвои, мм (P =0,95)	Класс опада хвои	Класс повреждения хвои	Класс усыхания хвои
Фон	7	$\frac{5 - 2}{3,63}$	5,63±0,004	1,61±0,001	1	1	1
1	5	$\frac{4 - 2}{2,65}$	4,48±0,004	1,11±0,006	2	2	1
2	10	$\frac{4 - 1,5}{2,5}$	4,29±0,002	1,01±0,001	3	2	2
3	15	$\frac{4 - 2}{2,6}$	4,74±0,003	1,19±0,001	2	2	2

Наибольшие значения параметров длины и ширины хвои ($5,63 \pm 0,004$ и $1,61 \pm 0,001$ см) наблюдаются в фоновой точке, также здесь выявлена максимальная продолжительность жизни хвои – 5 лет. На всех остальных участках наблюдается уменьшение длины и ширины хвои и снижение продолжительности жизни. На расстоянии 5 км от ТЭЦ значения длины и ширины хвои уменьшились относительно фонового на 20,43 и 31,06 %, на расстоянии 15 км длина меньше фонового участка на 15,81 %, ширина – на 26,09 %. Наименьшие значения исследуемых показателей выявлены на расстоянии 10 км от ТЭЦ. Длина хвои относительного фонового участка уменьшилась на 23,8 %, ширина – на 37,27 %.

Сопоставив полученные данные, можно сделать вывод, что изменение физиологических показателей хвои оказывает влияние на ее морфометрические особенности. Выявлена сильная корреляционная связь между изменением параметра водного дефицита и длиной и шириной хвои (-0,94 и -0,95), между значениями интенсивности фотосинтеза и значениями длины и ширины хвои (0,89 и 0,88). Также наблюдается положительная корреляция между значениями дыхания и длиной и шириной хвои (0,86 и 0,85 соответственно).

На фоновом участке вся хвоя держится на побегах, хвоинки без пятен и практически отсутствуют сухие участки. Хвоя на остальных участках с небольшим числом мелких пятнышек. На расстоянии 10 км от ТЭЦ выявлено осыпание хвои около 50 %. На расстоянии 10 и 15 км у отобранных образцов хвои наблюдалось усыхание кончика длиной 2–5 мм, на расстоянии 5 км от ТЭЦ на хвое сухих участков не выявлено.

С помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-1000 рассмотрели образцы хвои при тысячекратном увеличении (рис.).



Образцы хвои при $\times 1000$ увеличении: с фонового участка (а), с участка на расстоянии 10 км от ТЭЦ (б)

Установили, что устьица на хвое с фонового участка чистые. Образцы хвои с участка на расстоянии 10 км от ТЭЦ покрыты налетом, устьица забиты.

Выводы. В процессе исследований выявлено, что выбросы предприятия ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)» – филиала «Минусинская ТЭЦ» – оказывают негативное воздействие на состояние Минусинского ленточного бора, что выражается в угнетении физиологических и морфологических параметров хвои *Pinus sylvestris* L. второго года жизни.

Наиболее подвержен негативному воздействию от ТЭЦ участок, расположенный на расстоянии 10 км от предприятия. На данной пробной площади выявлены минимальные значения показателей интенсивности фотосинтеза и дыхания хвои, наибольшее значение водного дефицита, наименьшая продолжительность жизни хвои, наименьшие значения длины и ширины хвои.

Литература

1. Элементный состав хвои и морфометрические параметры сосны обыкновенной в условиях атмосферного промышленного загрязнения в Западном Забайкалье / Л.В. Афанасьева, В.К. Кашин, А.С. Плешанов [и др.] // Хвойные бореальной зоны. – 2004. – № 1–2. – С.112–119.

2. Григоренко А.В. Минусинский ленточный бор в условиях загрязнения неорганической пылью // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2014. – № 1–3. – Т.16. – С. 861–865.
3. Кравкина И.М. Влияние атмосферных загрязнений на структуру листа // Ботан. журн. – 1991. – № 1. – Т.76. – С. 3–9.
4. Собчак Р.О. Диагностика состояния видов хвойных в зонах техногенного загрязнения Республики Алтай // Вестник Том. гос. ун-та. – 2009. – № 325. – С. 185–190.
5. Грибов А.И. Средообразующая роль лесных экосистем юга Средней Сибири. – Абакан: Изд-во ХГУ им. Н.Ф. Катанова, 1997. – 160 с.
6. Гирс Г.И. Физиология ослабленного дерева. – Новосибирск: Наука, 1982. – 255 с.
7. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев: Наук. думка, 1996. – 238 с.
8. 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.
9. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO₂ – fumigated leaves of spinach / K. Shimazaki, T. Sakaki, N. Kondo [et al.] // Plant & Cell Physiology. – 1980. – Vol. 21. – № 7. – P. 1193–1204.
10. Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Влияние атмосферного загрязнения на фотосинтезирующий аппарат *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) karst в северной тайге бассейна Северной Двины // Лесной журнал. – 2014. – № 1(337). – С. 20–26.
11. Алешин Е.П., Пономарев А.А. Физиология растений. – М.: Агропромиздат, 1985. – 255 с.
12. Прожерина Н.А. Состояние эпикутикулярного воска хвои сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения // Реакция растений на глобальные региональные изменения природной среды: тез. докл. Всерос. совещ. – Иркутск, 2000. – С. 77.
13. Еремеева В.Г., Денисова Е.С. Водный режим растений в техногенной среде завода технического углерода // Экология России: на пути к инновациям: межвуз. сб. науч. тр. – Астрахань, 2008. – С. 75–80.
14. Колясникова Н.Л., Карнажицкая Т.Д., Паршакова К.А. Влияние аэротехногенного загрязнения на морфологические и эмбриологические признаки сосны обыкновенной // Вестник Удмурт. ун-та. – 2011. – № 6-2. – С. 31–35.
15. Биоиндикация атмосферного загрязнения с использованием флуоресцентного метода / Г.А. Сорокина, К.В. Фидельская, А.Ю. Даниленко [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 10. – С. 121–126.
16. Инструкция по экспедиционному лесопатологическому обследованию лесов СССР. – М.: Гослесхоз СССР, 1983. – 234 с.
17. Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов СССР. – М.; Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 1987. – 45 с.
18. Мокронос А.Т. Малый практикум по физиологии растений. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 184 с.
19. Ковригина Л.Н., Петункина Л.О. Хвойные породы в городской среде // Вестн. Иркут. гос. с.-х. академии. – 2011. – № 44. – С. 73–80.
20. Meusel H., Jäger E., Weinert E. Vergleichende Chorologie der zentaleuropäischen Flora. Text, Karten. Bd.1. – Jena, 1965. – 583 s.

