

---

# ЕКОЛОГІЧНА БОТАНІКА

---

УДК 585.475:581.132

І. А. Чемерис

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ ФУНКЦІЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ (*PINUS SYLVESTRIS*) В УМОВАХ АЕРОТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ (на прикладі Черкаської промислової агломерації)**

*Черкаський державний технологічний університет*

Досліджено вміст фотосинтетичних пігментів та фотохімічну активність хлоропластів хвої сосни звичайної Черкаського та Притясминського борів, які знаходяться під впливом атмосферних викидів Черкаської промислової агломерації. Зроблено висновки про хронічне ушкодження Черкаського бору аерополітантами, ознаками чого є збільшення вмісту хлорофілів як адаптації до стресового впливу, зменшення співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* та зниження фотохімічної активності хлоропластів.

*Ключові слова: аерополітанти, фотосинтез, хвоя, фотосинтетичні пігменти, сосна звичайна.*

I. A. Chemerys

*Cherkassy State Technological University*

### **CHARACTERISTICS OF THE PHOTOSYNTHETIC FUNCTION OF THE *PINUS SYLVESTRIS* IN CASE OF THE AEROANTHROPOGENIC LOADS**

Contents of photosynthetic pigments and photochemical activity of chloroplasts of conifers pine-trees usual in Cherkassy and Prytyasmin forests were researched, which are under the influence atmospheric ejections of the Cherkassy industrial agglomeration. The received deductions about chemical damage to Cherkassy forest by aeropollutants, the sign of which is increase of chlorophylls contents, as adaptation to stress influence, decrease correspondence of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* and decrease of photochemical activities of chloroplasts.

*Keywords: aeropollutants, photosynthesis, conifers, photosynthetic pigments, pine-tree usual.*

Ліси виконують водоохоронні, ґрунтозахисні, гідрологічні, санітарно-гігієнічні, рекреаційні функції, використовуються в господарстві як джерело деревини та недревних ресурсів, а у зв'язку зі зростанням аеротехногенного забруднення збільшується небезпека їхньої деградації. Серед природних фітоценозів найбільш чутливими до атмосферного забруднення є хвойні ліси, де забруднювачі накопичуються в рослинах, у ґрунтах, поверхневих та підземних водах; у рослин спостерігаються морфолого-фізіологічні зміни, які ведуть до зміни різноманітності видів, заміни менш толерантних видів більш толерантними. Серед хвойних дерев одним з видів із найнижчою стійкістю до аерополітантів є сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) (Ількун, 1978), яка створює деревостани Черкаського та Притясминського борів (інша назва Притясминського бору – Чигиринський), розташованих навколо м. Черкаси. Ці лісові екосистеми знаходяться під хронічним впливом атмосферних забруднювачів, які містяться у викидах підприємств Черкаської промислової агломерації (далі – ЧПА). До складу ЧПА входять такі підприємства, як ВАТ «Азот», ВАТ «Хімволокно» та ДП «Черкаська ТЕЦ». Аналіз рівня забруднення атмосферного повітря в м. Черкаси (табл. 1) показує, що найбільше перевищення ГДК мають такі речовини, як діоксид азоту, аміак, формальдегід та сірковуглець.

---

© Чемерис І. А., 2007

Динаміка рівня атмосферного забруднення в м. Черкаси в 1999–2005 рр.

Інгредієнти	Рівень забруднення, одиниць ГДК													
	1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005	
	с.р	м.	с.р	м.	с.р	м.	с.р	м.	с.р	м.	с.р	м.	с.р	м.
Пил	0,7	1,4	0,7	1,0	0,7	1,2	0,7	0,8	0,7	1,6	0,7	2,2	0,7	0,8
Діоксид сірки	0,5	0,2	0,5	0,3	0,5	0,1	0,6	0,2	0,5	0,1	0,5	0,2	0,5	0,2
Діоксид азоту	0,5	3,4	0,8	4,0	1,0	3,4	0,5	2,2	0,5	3,5	0,8	2,9	1,0	2,7
Сірководень	–	0,9	–	0,9	–	1,0	–	1,5	–	1,4	–	1,6	–	1,0
Сірковуглець	–	2,1	–	1,8	3,0	2,9	–	–	–	2,3	3,2	2,5	2,4	2,0
Аміак	2,8	4,3	3,5	3,9	3,5	3,9	3,8	3,9	3,3	3,9	3,0	3,0	2,5	3,3
Формальдегід	4,0	2,5	4,0	1,5	4,0	1,2	3,7	1,1	3,7	1,0	3,3	1,2	3,3	1,2
Оксид вуглецю	0,3	2,0	0,3	2,0	0,7	1,4	0,7	1,8	0,3	2,4	0,3	2,2	0,3	1,6

Примітка. с. р – середньорічні концентрації; м. – максимальні концентрації; – – вимірювання не проводились.

Загальновідома класифікація пошкоджень фітостроми, яка відображає динаміку дії газів на рослини (Илькун, 1978; Гудериан, 1979; Николаевский, 1979; Влияние ..., 1981; Биоиндикация ..., 1988):

1. Невидимі пошкодження.
2. Хронічні пошкодження.
3. Гострі (катастрофічні) пошкодження.

Названі види пошкодження викликають порушення фотосинтезу, оскільки цей процес є найбільш чутливим до дії фітотоксикантів. Характер впливу кислих газів на процеси фотосинтезу вивчали Н. П. Красинський (1950), Г. М. Илькун (1971, 1978), В. С. Николаевський (1979), У. Х. Сміт (1985), С. С. Мальхотра, Г. Хальбваш, С. Хуттунен (1988), які вказували на те, що аеротоксикантами вражаються в першу чергу органи, пов'язані з фотосинтезом.

Кислі гази накопичуються в хлоропластах, що змінює їхню структуру (Илькун, 1971; Кислотные ..., 1983; Мальхотра, 1988; Биоиндикация ..., 1988; Сергейчик, 1990), що є одним з факторів пригнічення фотосинтезу (Красинский, 1950; Илькун, 1978; Николаевский, 1979; Биоиндикация ..., 1988; Сергейчик, 1990; Коршиков, 1996), хлорофіли перетворюються на феофітин, феофорбіди та повністю руйнуються (Николаевский, 1979; Кислотные ..., 1983; Коршиков, 1996). Зменшення кількості хлорофілів відбувається також за рахунок пригнічення їх синтезу, причому доведено, що більшу руйнівну дію мають кислі гази в порівнянні з аміаком (Илькун, 1978; Биоиндикация ..., 1988). Цьому сприяє також накопичення деяких катіонів з ґрунту (калію, кальцію, цинку, свинцю, міді) під впливом газів.

Більш чутливим до дії аеротоксикантів є хлорофіл *a*, каротини, менш чутливим є хлорофіл *b* (Илькун, 1978; Николаевский, 1979; Биоиндикация ..., 1988; Коршиков, 1996). Тому змінюється співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* у бік його пониження (Илькун, 1978; Биоиндикация ..., 1988; Коршиков, 1996). Це розглядається як типова реакція на хронічний вплив кислих газів, але, як відмічає І. І. Коршиков (1996), цей ефект простежується тоді, коли присутні високі пошкоджуючі концентрації кислих газів. Хлорофіл *a* є менш стійким, тому що він не тільки поглинає світлову енергію, але й приймає енергію від інших пігментів, а хлорофіл *b* є більш стійким, тому що його молекули більш гідратовані і мають більш міцні зв'язки з водою (Николаевский, 1979). Природні фактори також призводять до зменшення вмісту хлорофілу, але в зимовий період більше руйнується хлорофіл *b*, що веде до суттєвого підвищення відношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b*, зростає також кількість каротиноїдів (Правдин, 1964; Голомазова, 1987).

Таким чином, порушення фотосинтетичних процесів є однією з ознак невидимих пошкоджень рослин, які наступають внаслідок хронічної дії аерополутантів. Цю ознаку можна використовувати для ранньої діагностики стану лісових екосистем, які знаходяться в зоні аеротехногенного впливу, що ми й зробили в нашому дослідженні.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджувана територія відноситься до Черкасько-Чигиринського геоботанічного району дубово-соснових, соснових та грабово-дубових лісів і терасових варіантів лучних степів та евтрофних боліт. Черкасько-Чигиринський геоботанічний район займає правобережжя Дніпра на південь від Канівського району до пониззя р. Тясмину і є давньою долиною Дніпра, характерними ознаками якої є борова тераса, лесові рівнини, кряж та високі круті береги (Физико-географическое районирование ..., 1968).

Територією дослідження була Черкасько-Чигиринська терасова рівнина дубово-соснових та соснових лісів, до складу якої входять лісові масиви Черкаський та Притясминський бори. Ці лісові екосистеми вивчали Л. Яновський (1915), Д. К. Зеров (1924), В. К. Мякушко, Ф. В. Вольвач, П. Г. Плюта (1978), Н. Є. Антонюк (1982), Я. П. Дідух, Ф. Б. Вольвач, А. М. Темченко (1987), Г. І. Редько, В. П. Шлапак (1991, 1999), О. В. Випирайло, О. І. Протасов (1995), В. В. Лавров (1994, 1996).

Вважається, що Черкаський бір фактично був лівим берегом основного русла або рукава Дніпра. Розташований лісовий масив у межах другої піщаної (борової) тераси р. Дніпра, яка піднесена над лучною терасою на 8–10 м (Дідух, 1987; Редько, 1991).

Притясминський бір, на відміну від Черкаського, є бором штучного походження і створений за останні 50 років. Розташований бір на Притясминських пісках; з півдня прилягає до прируслової частини заплави Тясмину, а з північного сходу паралельно масиву бору на відстані 7–8 км проходить берегова лінія Кременчуцького водосховища (Шлапак, 1999).

Модельні майданчики, на яких проводилося дослідження, розташовані в різних напрямках за розою вітрів відносно ЧПА (рис. 1).

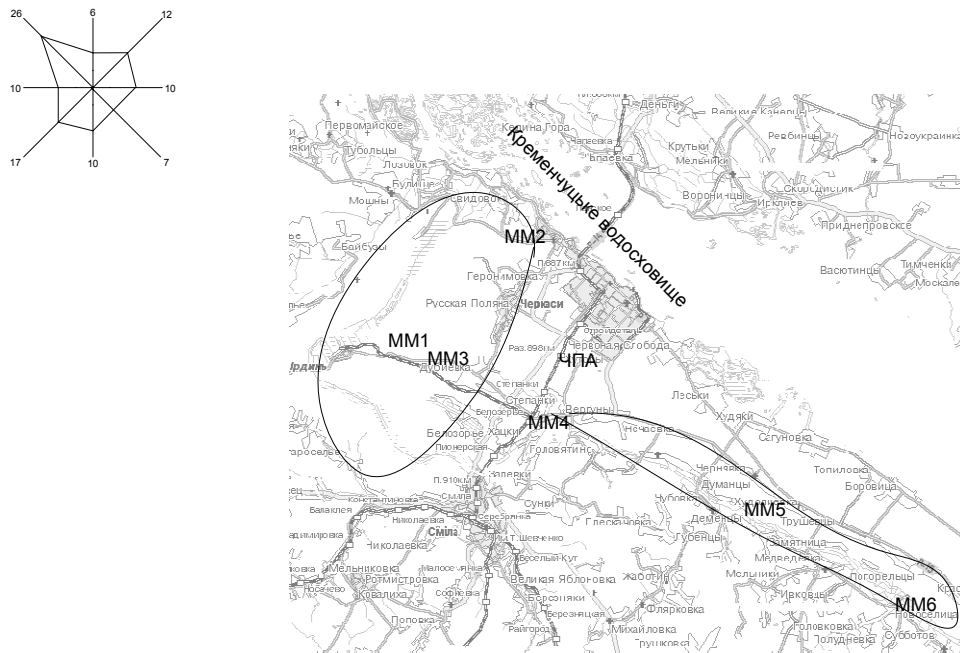


Рис. 1. Карта розташування модельних майданчиків (ММ) на території Черкаської області (ММ1 – ММ3 розташовані на території Черкаського бору; ММ4 – ММ6 – на території Притясминського бору)

Для аналізу вмісту фотосинтезуючих пігментів та активності реакції Хілла використовували хвою другого року життя, для чого з кожного модельного майданчика відбирали із середньої частини крони з боку, направленою в бік ЧПА, по 10 гілок з 10 дерев. Уміст фотосинтезуючих пігментів визначався в загальному екстракті за Хольм-Веттштейном, а активність реакції Хілла – за методикою, наведеною в роботі «Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин» (Мусієнко, 2001).

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз отриманих результатів (табл. 2, рис. 2) показав, що у хвої дерев Черкаського бору (ММ1 – ММ3) концентрація хлорофілу вища, ніж у дерев Притясминського бору, причому вміст хлорофілу *a*, хлорофілу *b* та каротиноїдів на ММ6 (найбільш віддаленому від ЧПА) нижчий, ніж на ММ4 (найбільш наближеному до ЧПА). Підвищений уміст фотосинтезуючих пігментів у дерев Черкаського бору та в районі ЧПА можна пояснити адаптацією до хронічної дії відносно невисоких концентрацій комплексу атмосферних забруднювачів, які можуть виступати як додаткове позакореневе живлення. Також в умовах ураження хлорозами та некрозами певної частини хвоїнок у здорових хвоїнках можливе посилення компенсаційних механізмів, направлених на відтворення фотосинтетичної функції, тобто розвивається адаптивна специфічна реакція на стрес. Аналогічні результати отримані І. І. Коршиковим (1996). На можливість такого варіанту вказують дослідження, коли скорочення площі листків картоплі на 10–50 % вело до посилення фотосинтезу на інших листках рослин (Мокроносів, 1971). Але на ММ4 атмосферне забруднення є більшим, ніж на модельних майданчиках Черкаського бору, тому й концентрації фотосинтезуючих пігментів є дещо нижчими. Порівняння концентрації пігментів дерев, розташованих на ММ5 та ММ6, які належать Притясминському бору, показує, що в дерев ММ5 уміст пігментів більший, ніж у дерев ММ6. Це можна пояснити адаптацією рослин до дернового слабкорозвиненого піщаного ґрунту, бідного елементами живлення.

Таблиця 2

Концентрація фотосинтетичних пігментів у хвої другого року життя дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris L.*)

Модельні майданчики	А хл <i>a</i>	А хл <i>b</i>	А хл <i>a+b</i>	А кар
ММ 1	$\frac{0,98 \pm 0,02}{4,79}$	$\frac{0,35 \pm 0,02}{15,01}$	$\frac{1,33 \pm 0,02}{4,98}$	$\frac{0,27 \pm 0,01}{17,03}$
ММ 2	$\frac{1,10 \pm 0,04}{12,28}$	$\frac{0,66 \pm 0,07}{32,45}$	$\frac{1,76 \pm 0,07}{13,11}$	$\frac{0,30 \pm 0,03}{27,16}$
ММ 3	$\frac{1,13 \pm 0,02}{4,15}$	$\frac{0,39 \pm 0,05}{38,94}$	$\frac{1,52 \pm 0,02}{5,10}$	$\frac{0,34 \pm 0,01}{12,30}$
ММ 4	$\frac{0,86 \pm 0,03}{11,91}$	$\frac{0,32 \pm 0,02}{19,96}$	$\frac{1,22 \pm 0,06}{16,89}$	$\frac{0,27 \pm 0,01}{12,35}$
ММ 5	$\frac{0,95 \pm 0,02}{9,64}$	$\frac{0,32 \pm 0,02}{15,69}$	$\frac{1,27 \pm 0,04}{9,66}$	$\frac{0,30 \pm 0,02}{20,76}$
ММ 6	$\frac{0,70 \pm 0,02}{10,81}$	$\frac{0,24 \pm 0,02}{8,93}$	$\frac{0,92 \pm 0,03}{8,93}$	$\frac{0,23 \pm 0,01}{21,47}$

Примітка. Над рискою –  $M \pm m$ , під рискою – CV, %.

Аналіз кореляції між концентрацією компонентів в атмосферних опадах і вмістом фотосинтетичних пігментів (табл. 3) показав наявність обернено пропорційного

зв'язку між вмістом пігментів та концентрацією сульфат-іонів, нітрат-іонів, іонів амонію і прямопропорційний зв'язок зі значеннями рН. У випадку із сульфатами для хлорофілів сила зв'язку є високою, а для каротиноїдів – середньою; з нітратами та значеннями рН – для хлорофілу *a* та каротиноїдів сила зв'язку є середньою, а для хлорофілу *b* – низькою; для іонів амонію сила зв'язку є низькою.

Таблиця 3

**Кореляція між деякими показниками хімічного складу атмосферних опадів та вмістом фотосинтетичних пігментів у хвої другого року життя дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.)**

Показники хімічного складу снігу, мг/л		г	t <sub>ф</sub>
Сульфат-іон SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	хлорофіл <i>a</i>	-0,875	5,11*
	хлорофіл <i>b</i>	-0,691	2,70*
	каротиноїди	-0,615	2,20
Нітрат-іон NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	хлорофіл <i>a</i>	-0,510	1,68
	хлорофіл <i>b</i>	-0,303	1,51
	каротиноїди	-0,341	1,03
Іон амонію NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	хлорофіл <i>a</i>	-0,248	0,72
	хлорофіл <i>b</i>	-0,097	0,27
	каротиноїди	-0,189	0,54
рН	хлорофіл <i>a</i>	0,563	1,93
	хлорофіл <i>b</i>	0,240	0,58
	каротиноїди	0,451	1,43

Примітка. t<sub>ф</sub> при t<sub>0,05</sub> = 2,26, n = 10; \* – значення коефіцієнта кореляції достовірні.

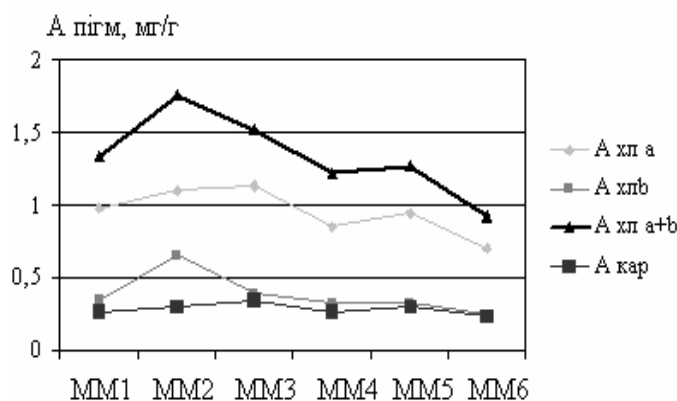


Рис. 2. Концентрація (А пігм) фотосинтезуючих пігментів у хвої другого року життя дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.).

Як було зазначено вище, при дії негативних факторів, у тому числі й аеротехногенному забрудненні, зменшується співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* і збільшується відносна кількість каротиноїдів щодо хлорофілу (Николаевский, 1979; Биоиндикация ..., 1988; Ольхович, 1995; Коршиков, 1996). Аналіз таких показників (табл. 4) показав, що найнижче співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* спостерігається на ММ2 та ММ4, які найближчі до ЧПІА, причому на ММ2 показник найнижчий. Більш високий показник співвідношення хлорофілів на ММ4 можна пояснити додатковим азотним живленням рослин, яке відбувається за рахунок азотовмісних атмосферних викидів промислових підприємств. В цілому у рослин Черкаського бору (ММ1, ММ3) співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* нижче, ніж у рослин Придніпровського бору, що свідчить про більший аеротехногенний тиск на ці екосистеми.

Співвідношення хлорофілів та каротиноїдів також є більшим у дерев Черкаського бору (ММ1 – ММ3).

Таблиця 4

Відносні показники фотосинтезуючих пігментів у хвої другого року життя дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris L.*)

Співвідношення пігментів	ММ1	ММ2	ММ3	ММ4	ММ5	ММ6
$\frac{Ахла}{Ахлb}$	2,80	1,67	2,90	2,70	2,97	2,92
$\frac{Ахла + b}{Акар}$	4,93	5,87	4,47	4,52	4,23	4,00

Для визначення фотохімічної активності хлоропластів провели дослідження реакції Хілла. Аналіз результатів показав (рис. 3), що пригнічення фотохімічної активності хлоропластів спостерігається у хвої дерев Черкаського бору (ММ1 – ММ3), а також у дерев ММ4 (найближчого до ЧПА). Фотохімічна активність хлоропластів хвої дерев ММ5 та ММ6 вища, ніж на інших майданчиках, що свідчить про більшу інтенсивність фотосинтезу на даних майданчиках.

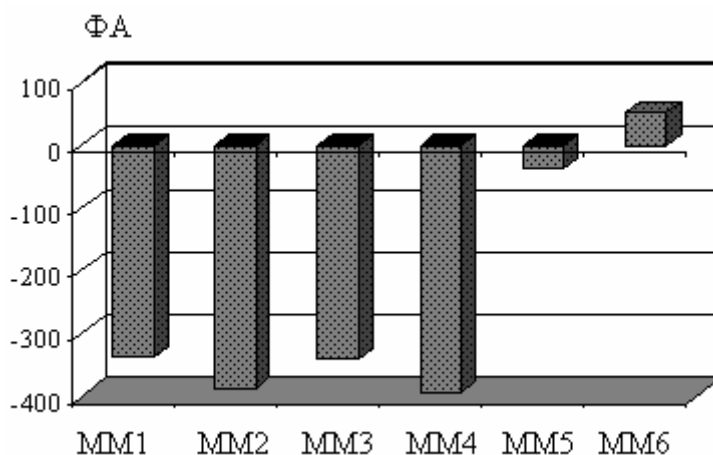


Рис. 3. Фотохімічна активність хлоропластів хвої другого року життя сосни звичайної (*Pinus sylvestris L.*) (ΦА), мкмоль  $K_3Fe(CN)_6$   $mg^{-1}$  хлорофілу  $\cdot год^{-1}$

## ВИСНОВКИ

Вивчення фотосинтетичної функції сосни звичайної (*Pinus sylvestris L.*), яка є однією з найбільш чутливих до атмосферних забруднювачів деревних порід і основною складовою Черкаського та Притясминського борів, показало, що досліджувані лісові екосистеми знаходяться в зоні хронічної дії аерополітантів. У районі Черкаського бору аеротехногенний тиск є більшим, ніж у районі Притясминського бору, свідченням чого є підвищення вмісту фотосинтетичних пігментів у хвої сосни звичайної (*Pinus sylvestris L.*) у районі Черкаського бору, що розглядається як адаптивна специфічна реакція на стрес, викликаний хронічною дією невисоких концентрацій комплексу атмосферних забруднювачів; зменшення співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* і збільшення вмісту каротиноїдів відносно хлорофілів, а також пригнічення фотосинтетичної активності хлоропластів у хвої дерев Черкаського бору.

Для підвищення газостійкості деревостанів необхідно підвищити ємність катіонно-аніонного обміну. Для цього необхідно застосовувати агротехнічні заходи: внесення органічних та мінеральних добрив та вапнування за існуючими в лісовому господарстві нормами. Такі заходи особливо важливі для лісового масиву Притясминського бору з його бідними на елементи мінерального живлення дерновими ґрунтами. Найбільший ефект при дії кислих аерополітантів мають потрійні дози сечовини. Також необхідне забезпечення рослин оптимальною кількістю води, що підвищує їхню стійкість до аерополітантів. Для цього можливе відведення очищених стічних вод з очисних споруд хімічних підприємств за допомогою дренажних систем, що одночасно сприятиме й внесенню біогенних домішок.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Антонюк Н. Є.** Ліси рівнинної частини України (Полісся та Лісостеп) // Рідкісні рослини флори України в культурі. – К.: Наук. думка, 1982. – С. 6-51.
- Биоиндикация** загрязненный наземных экосистем: Пер. с нем. / Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
- Випирайло О. В.** Морфолого-анатомічні зміни хвої *Pinus sylvestris* L. під впливом атмосферного промислового забруднення / О. В. Випирайло, О. І. Протасов // Ботан. журн. – 1995. – Т. 52, № 3. – С. 394-398.
- Влияние** загрязнения воздуха на растительность: Пер. с нем. / С. Бёртиц, Х. Эндерляйн, Ф. Энгманн и др.; Под ред. Х.-Г. Десслера. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 184 с.
- Гудериан Р.** Загрязнение воздушной среды: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 200 с.
- Голомазова Г. М.** Влияние внешних факторов на фотосинтез хвойных. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1987. – 117 с.
- Дідух Я. П.** Еколого-ценотична характеристика Черкаського бору / Я. П. Дідух, Ф. Б. Вольвач, А. М. Темченко // Укр. ботан. журн. – 1987. – 443, № 6. – С. 68-72.
- Зеров Д. К.** До флори Черкаської округи (кол. Черкаський та Чигиринський повіти) Київщини // Вісник Київ. ботан. саду. – 1924. – Вип. 1. – С. 1-22.
- Израэль Ю. А.** Кислотные дожди / Ю. А. Израэль, И. М. Назаров, А. Л. Прессман и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 206 с.
- Илькун Г. М.** Загрязнители атмосферы и растения. – К.: Наук. думка, 1978. – 246 с.
- Коршиков И. И.** Адаптация растений к условиям техногенно загрязнённой среды. – К.: Наук. думка, 1996. – 239 с.
- Красинский Н. П.** Теоретические основы построения ассортиментов газоустойчивых растений // Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сорта. – М.: Горький, 1950. – С. 9-109.
- Лавров А. В.** Повышение устойчивости лесных экосистем в условиях Черкасской промышленной агломерации: Дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. – Х., 1994. – 221 с.
- Лавров В. В.** Системний підхід як методологічна основа для оцінки і зменшення загроз біорізноманіттю (лісові екосистеми) // Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю. – К.: Хімджест, 2003. – С. 156-272.
- Мальхотра С. С.** Биохимическое и физиологическое действие приоритетных загрязняющих веществ // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 144-189.
- Мокронос А. Т.** Особенности фотосинтетической функции при частичной дефолиации / А. Т. Мокронос, Н. А. Иванова // Физиология растений. – 1971. – Т. 18, № 4. – С. 668-676.
- Мусієнко М. М.** Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин / М. М. Мусієнко, Т. В. Паршикова, П. С. Славний. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 200 с.
- Мякушко В. К.** Экология сосновых лесов / В. К. Мякушко, Ф. В. Вольвач, П. Г. Плюта. – К.: Урожай, 1989. – 248 с.
- Николаевский В. С.** Биологические основы газоустойчивости растений. – Новосибирск: Наука, 1979. – 280 с.
- Ольхович О. П.** Вміст пігментів у вищих водних рослин під впливом важких металів / О. П. Ольхович, Н. Н. Смирнова // Ботан. журн. – 1995. – Т. 52. – № 2. – С. 206-219.
- Правдин Л. Ф.** Сосна обыкновенная: изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. – М.: Наука, 1964. – 192 с.
- Редько Г. И.** Черкасский бор: история, лесонасаждения, использование / Г. И. Редько, В. П. Шлапак. – К.: Лыбидь, 1991. – 104 с.
- Сергейчик С. А.** Сера как элемент питания и загрязнитель // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – С. 24-38.

**Смит У. Х.** Лес и атмосфера: Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1985. – 430 с.

**Физико-географическое районирование** Украинской ССР / Под ред. В. П. Попова, А. М. Маринича, А. И. Ланько. – К.: Изд-во Киев. ун-та, 1968. – 682 с.

**Хальбваш Г.** Реакция организмов высших растений на загрязнение атмосферы двуокисью серы и фторидами // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 206-246.

**Хуттунен С.** Зависимость заболеваемости и других стрессовых факторов от загрязнения атмосферы // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 357-391.

**Шлапак В. П.** Чигиринський бір: Монографія / В. П. Шлапак, І. І. Логвиненко. – Л.: Престиж Інформ, 1999. – 88 с.

**Яновский Л.** Типологический очерк Черкасского бора // Лесной журнал. – Пг.: Лесное общество. – 1915. – Вып. 6-7. – С. 979-1007.

*Надійшла до редколегії 14.03.07*