

## ДИНАМІКА ВМІСТУ ФОТОСИНТЕЗУВАЛЬНИХ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН У ТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ ЗРОСТАННЯ

**Т. Юсипіва, В. Вегерич**

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ 49010, Україна  
e-mail: JusyryvaTatjana@i.ua*

Досліджено дію антропогенного навантаження на динаміку концентрації фотосинтезувальних пігментів у листках *Betula pendula* L., *Robinia pseudoacacia* L. та *Salix alba* L. в умовах степового Придніпров'я. Виявлено, що під дією промислового забруднення вміст суми хлорофілів ( $a+b$ ) нижчий у дослідних рослин порівняно з контрольними. Показано, що атмосферні забруднювачі зменшують концентрацію окремих форм зелених пігментів листка. За сукупністю вивчених характеристик досліджені види у порядку збільшення їх чутливості до антропогенного навантаження середовища можна розташувати таким чином: *B. pendula* > *R. pseudoacacia* > *S. alba*.

*Ключові слова:* фотосинтезувальні пігменти, хлорофіли  $a$  і  $b$ , токсичні гази, важкі метали, фітоіндикація.

Сучасна урбанізація є одним із найважливіших факторів техногенного тиску на природне середовище, які погіршують стан довкілля у містах і приміських зонах. Рослинність, особливо деревна, ефективно виконує функції зеленого фільтра в очищенні атмосферного повітря, ґрунту й води. Разом з тим, самі рослини зазнають негативного впливу антропогенного навантаження, що проявляється в уповільненні росту, темпів сезонного розвитку, зменшенні їх репродуктивного потенціалу [1, 2, 6, 7].

Фотосинтезувальні пігменти – ключові сполуки вуглецевого живлення рослин [8], тому зниження інтенсивності фотосинтезу, яке має місце в умовах забруднення середовища, може бути основною причиною зменшення продуктивності рослин і пригнічення швидкості накопичення їх біомаси. Крім того, продуктивність добре корелює з кількістю хлорофілу, яка припадає як на одиницю площі листка, так і на одиницю площі фітоценозу [1].

Оскільки доведено [2, 6], що забруднювачі атмосферного повітря впливають на рослинні організми як біохімічні агенти, здатні включатися в обмінні процеси та змінювати їх спрямованість, то вивчення концентрації та співвідношення різних форм хлорофілів у асиміляційних органах дає можливість аналізувати стан рослин у техногенних умовах зростання та прогнозувати можливі шляхи адаптації рослин за дії промислових емісій.

Зважаючи на вищевикладене, мета нашої роботи – дослідити вплив сумісної дії промислових емісій і викидів автотранспорту на динаміку вмісту фотосинтезувальних пігментів у листках деревних рослин в умовах степового Придніпров'я.

Збирання матеріалу проводили у червні – серпні 2012 р. на двох пробних ділянках: дослідній, розміщеній на території, прилеглої до траси з інтенсивним автомобільним рухом і ВАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод» м. Дніпропетровська, джерела токсичних газів ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ) і важких металів (залізо, манган, цинк, ртуть, хром) [14, 16], та контрольній зоні – території Ботанічного саду Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара, де, згідно з даними міської СЕС, концентрації забруднювачів не перевищують ГДК. Лісорослинні умови, характеристики деревостану, структура та склад насаджень у моніторинговій точці й у контрольній зоні були подібними.

Об'єктами дослідження були види деревних рослин, які широко використовуються для озеленення зон техногенного навантаження м. Дніпропетровськ [4]: інтродуцент робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L., родина *Fabaceae* Lindl.) і аборигенні види берега повисла (*Betula pendula* Roth., родина *Betulaceae* L.) і верба біла (*Salix alba* L., родина *Salicaceae* L.). Проби листків відбирали з модельних дерев одного вікового стану з гілок середнього ярусу південно-східного боку крони п'ятого порядку галузження. Концентрацію хлорофілу визначали в ацетоновій витяжці листків на спектрофотометрі СФ-46 при довжині хвиль 662 і 644 нм. Розрахунки проводили за формулою Веттштейна [3]. Повторність досліду була трикратною. Результати експерименту оброблені статистично [12].

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що антропогенне навантаження змінює вміст зелених пігментів у листках деревних порід протягом вегетаційного періоду.

Як видно з рис. 1, динаміка вмісту суми хлорофілів у асиміляційних органах *R. pseudoacacia* та *S. alba* в умовах чистої зони майже не відрізняється: у першого виду кількість зелених пігментів у листках практично не змінюється протягом періоду досліджень, у другого – дещо зростає у липні, залишаючись на тому ж рівні у серпні. У рослин *B. pendula*, які зростають на території Ботанічного саду ДНУ, вміст суми хлорофілів ( $a+b$ ) в листках у липні знижується порівняно з червнем на 8%, а потім зростає до 26,61 мг/г сирової ваги, що на 6,4% перевищує червневеве значення показника. Ймовірно, такі відмінності у кривих накопичення зелених пігментів у цієї деревної породи можна пояснити надзвичайним напруженням метеорологічних факторів, – протягом літа спостерігалися сильні посухи. Суттєве зниження опадів почалось у червні, досягло критичної точки саме в липні (65% від місячної норми), що не могло не позначитися на біохімічних показниках. У серпні кількість опадів збільшилася (88% від норми), що і нормалізувало, на нашу думку, інтенсивність метаболічних процесів у листках.

В умовах антропогенного навантаження на фітоценози крива динаміки кількості зелених пігментів у асиміляційних органах усіх досліджених нами видів деревних порід однакова: вміст хлорофілів зменшується у липні, а потім трохи збільшується у серпні. Ймовірно, комплексна дія промислових емісій і викидів автотранспорту посилила стресові посушливі умови, що й призвело до падіння значення досліджуваного показника саме в липні.

Однак антропогенні фактори не лише змінюють спрямованість накопичення суми хлорофілів ( $a+b$ ), але й суттєво знижують вміст цих сполук у листках деревних порід. Аналіз рис. 1 свідчить про зменшення значення цієї характеристики протягом вегетаційного періоду у всіх об'єктів дослідження. Серед вивчених нами видів рослин суттєво концентрація зелених пігментів знижується у *S. alba* – на 11,5% порівняно з контролем у червні, на 25,6% у липні та на 18,4% у серпні. Менш суттєво фітотоксиканти впливають на значення цього параметра у *B. pendula*.

Слід зазначити, що в літературі зустрічається низка робіт, які ілюструють різнобічну дію промислових викидів на вміст основних фотосинтезувальних пігментів у дерево-чагарникових порід [10, 13, 15]. Так, Т.І. Юсипівою, О.В. Самко (2009) виявлено суттєве зниження суми хлорофілів ( $a+b$ ) в асиміляційних органах самосіву *Acer negundo* L. і *Quercus robur* L. протягом вегетаційного періоду за дії сильного забруднення атмосфери токсичними газами  $SO_2$  та  $NO_2$ , та підвищення цього показника у виду *R. pseudoacacia* [15]. Показано [10], що у видів ялівцю (*Juniperus sabina* L., *J. virginiana* L. та *J. communis* L.) пігментний комплекс був найбільш чутливим до техногенного забруднення атмосфери на початку вегетації, причому цей показник найменш стійкий до забруднення поліюгантами у *J. sabina*. І.В. Сенчишиною (2005) зареєстровано зміни суми зелених пігментів у листках представників роду *Acer* L.: зменшення показника у *A. negundo*, *A. platanoides* L. і *A. pseudoplatanus* L. та збільшення цього параметра у *A. saccharinum* L. [13].

Як показали наші дослідження, негативного впливу промислового забруднення знає вміст обох форм зелених пігментів. Як видно з табл. 1, в умовах чистої зони динаміка концентрації основного пігменту фотосинтезу – хлорофілу *a* – протягом періоду вегетації у всіх досліджених видів рослин повторює динаміку вмісту суми хлорофілів (*a+b*): у *R. pseudoacacia* та *S. alba* одновіршинна крива з максимумом у липні, у *B. pendula* в цьому місяці, навпаки, даний показник мінімальний.

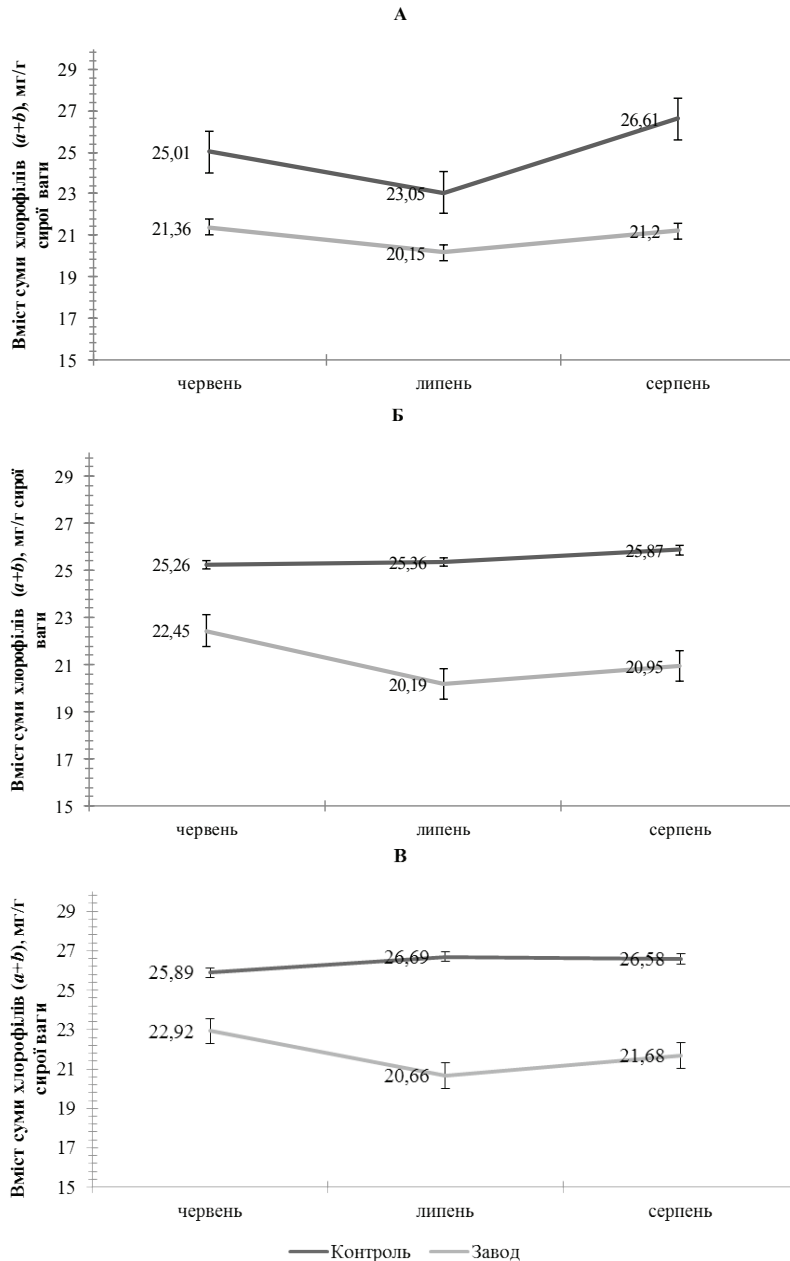


Рис. 1. Вплив антропогенного навантаження на динаміку вмісту суми хлорофілів (*a+b*) у листках *Betula pendula* (А), *Robinia pseudoacacia* (Б) та *Salix alba* (В), мг/г сирової ваги

Серед вивчених нами видів найбільше зниження цього показника має місце у *S. alba*, у якого вміст хлорофілу *a* зменшується на 11,6, 26,2 та 17,3% відповідно у червні, липні й серпні, порівняно з такими значеннями для рослин умовно чистої зони. Значення цього показника у *R. pseudoacacia* знижуються щодо контролю трохи менше: на 11,1, 22,1 та 18,4% залежно від дати відбору проб, а у *B. pendula* дорівнюють відповідно 16,7, 8,1 та 21,2%.

Таблиця 1

Вплив антропогенного навантаження на динаміку хлорофілу *a* в листках деревних рослин, мг/г сирої ваги

Місяць	Контроль	Моніторингова точка	<i>t</i>
<i>Betula pendula</i>			
Червень	16,08±0,02	13,40±0,03	46,30
Липень	14,75±0,01	13,56±0,05	49,10
Серпень	17,34±0,01	13,67±0,02	61,37
<i>Robinia pseudoacacia</i>			
Червень	16,52±0,03	14,69±0,01	36,91
Липень	18,03±0,01	14,05±0,05	29,60
Серпень	16,36±0,04	13,35±0,01	41,90
<i>Salix alba</i>			
Червень	17,01±0,01	15,04±0,04	36,90
Липень	18,29±0,01	13,50±0,02	42,93
Серпень	17,60±0,01	14,55±0,01	36,50

Примітка.  $t_{\text{табл.}} = 2,776$ .

Аналіз динаміки вмісту додаткового пігменту фотосинтезу – хлорофілу *b* – свідчить про поступове збільшення вмісту цього пігменту в листках досліджених видів деревних рослин протягом вегетаційного періоду (табл. 2), хоча цей показник дещо знижується в липні, особливо у *R. pseudoacacia*. Така ж крива концентрації даного пігменту спостерігається і в асиміляційних органах об'єктів дослідження за дії полікомпонентного забруднення довкілля токсичними газами та важкими металами.

Таблиця 2

Вплив антропогенного навантаження на динаміку хлорофілу *b* в листках деревних рослин, мг/г сирої ваги

Місяць	Контроль	Моніторингова точка	<i>t</i>
<i>Betula pendula</i>			
Червень	8,92±0,01	7,96±0,01	35,90
Липень	8,24±0,01	6,59±0,04	53,40
Серпень	9,26±0,01	7,53±0,01	37,96
<i>Robinia pseudoacacia</i>			
Червень	8,74±0,02	7,76±0,01	40,25
Липень	7,33±0,04	6,14±0,03	43,59
Серпень	9,51±0,02	7,60±0,02	49,63
<i>Salix alba</i>			
Червень	8,88±0,03	7,88±0,03	51,46
Липень	8,40±0,03	7,16±0,05	39,40
Серпень	8,98±0,01	7,13±0,02	32,90

Примітка.  $t_{\text{табл.}} = 2,776$ .

За дії антропогенного навантаження відбувається зменшення концентрації хлорофілу *b* в листках усіх деревних порід протягом усього літа. Серед вивчених нами видів найбільше зниження цього показника має місце у *B. pendula*, у якого кількість цієї форми хлорофілу падає на 10,8, 20,0 та 18,7% відповідно у червні, липні й серпні, порівняно з та-

кими значеннями рослин умовно чистої зони. Значення цього показника у *R. pseudoacacia* знижуються щодо контролю дещо менше: на 11,2, 16,2 та 20,1% залежно від дати відбору проб, а у *S. alba* дорівнюють відповідно 11,3, 14,8 та 20,6%.

З літературних джерел відомо, що співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* є одним із показників фотосинтетичної діяльності рослин, а в умовах дії фітотоксикантів – ознакою їх фізіологічного стану [1, 11, 15]. Аналіз табл. 3 свідчить про те, що у різних видів деревних рослин навіть в умовах чистої зони ця характеристика протягом періоду дослідження змінюється неоднозначно. Так, співвідношення хлорофілів *a:b* протягом періоду вегетації у *B. pendula* практично не змінюється. У *R. pseudoacacia* та *S. alba* цей показник зростає у липні порівняно з червневим значенням, а в серпні практично сягає початкового рівня.

У техногенних умовах зростання у рослин *R. pseudoacacia* спостерігається така ж динаміка співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b*, як і на контрольній ділянці. Під дією промислових емісій і викидів автотранспорту цей показник *B. pendula* у червні трохи зменшується порівняно з контролем, у липні істотно зростає, а в серпні наближається до значення даного параметра у рослин, які зростають в умовно чистій зоні. Що стосується виду *S. alba*, співвідношення хлорофілів *a:b* у листках контрольних і дослідних рослин на початку вегетаційного періоду практично однакові, а потім спостерігається протилежна динаміка показника. У рослин моніторингової точки у липні відбувається зниження параметра щодо контрольного значення, в серпні ж співвідношення окремих форм зелених пігментів зростає у бік підвищення частки хлорофілу *a*, незначно перебільшуючи цю величину в листках рослин умовно чистої зони.

Таблиця 3

Вплив антропогенного навантаження на динаміку співвідношення хлорофілів *a:b*

Місяць	Контроль	Моніторингова точка
	<i>Betula pendula</i>	
Червень	1,80	1,68
Липень	1,79	2,05
Серпень	1,87	1,82
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	
Червень	1,89	1,89
Липень	2,46	2,29
Серпень	1,72	1,76
	<i>Salix alba</i>	
Червень	1,92	1,91
Липень	2,18	1,89
Серпень	1,96	2,04

Аналіз літературних даних свідчить про зменшення співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* в асиміляційних органах рослин в умовах техногенезу [2, 5, 7, 9, 13]. Так, за даними Г. Г. Москалик (2007), співвідношення хлорофілів *a:b* у дослідних рослин із загазованих територій суттєво знижується. Отриманий результат, на думку автора, може свідчити, з одного боку, про зменшення синтезу пігментів, а з іншого – про прискорення їх розпаду за умов дії аеротоксичних речовин [7]. О.І. Оскольською (1991) встановлено, що вміст хлорофілу *b* у хвої *Pinus pallasiniana* Lamb. під дією викидів автотранспорту знижується меншою мірою, ніж хлорофілу *a* [9].

Н. В. Капелюш (2006) показала, що за дії промислових викидів у листках *Platanus acerifolia* Willd. і *P. orientalis* L. сумарний вміст зелених пігментів практично не змінюється протягом періоду вегетації, хоча має місце компенсаторний механізм: суттєве зниження хлорофілу *a* врівноважується підвищеною кількістю хлорофілу *b* [5]. В.П. Бессоновою та Т. І. Юсупівою (2001) виявлено, що у самосіву *Gleditsia tricanthos* L. під дією SO<sub>2</sub> та NO<sub>2</sub>

спостерігаються найменші зміни у співвідношенні хлорофілів  $a$  і  $b$ , а у *A. platanoides* – найбільш різке падіння значення цього показника на промислових ділянках порівняно з таким у чистій зоні [2]. І.В. Сенчишиною (2005) в умовах промислової зони показано зменшення частки хлорофілу  $a$  порівняно з умістом хлорофілу  $b$  у листках представників роду *Acer* L., що автор пов'язує з більшою стійкістю окисненої форми хлорофілу до газоподібних забруднювачів [13].

Таким чином, техногенне забруднення навколишнього середовища промисловими емісіями та викидами автотранспорту призводить до низки змін у динаміці фотосинтезувальних пігментів у листках деревних рослин. За сукупністю вивчених характеристик досліджені види в порядку збільшення їх чутливості до антропогенного навантаження середовища можна розташувати таким чином: *B. pendula* > *R. pseudoacacia* > *S. alba*.

Динаміка вмісту суми хлорофілів ( $a+b$ ) в асиміляційних органах деревних порід має однакову спрямованість як в умовах чистої зони, так і на промайданчику. Однак значення цього показника під дією промислового забруднення суттєво знижуються порівняно з контролем у всіх дослідних рослин, але більш значно у виду *Salix alba*.

Токсичні гази та важкі метали істотно зменшують концентрацію окремих форм зелених пігментів листка, причому вміст хлорофілу  $a$  більшою мірою знижується у рослин *Salix alba*, а хлорофілу  $b$  – у *Betula pendula*.

На основі отриманих результатів нами запропоновано використовувати *Salix alba* як інформативний тест-об'єкт для фітоіндикації забруднення навколишнього середовища і стану деревної рослинності у промисловій зоні міста (тест-параметри: вміст суми хлорофілів ( $a+b$ ) і концентрація хлорофілу  $a$ ).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бессонова В. П. Влияние тяжелых металлов на фотосинтез растений. Д.: ДДАУ, 2006. 208 с.
2. Бессонова В. П., Юсупова Т. И. Семенное возобновление древесных растений и промышленные поллютанты ( $SO_2$  и  $NO_2$ ). Запорожье: ЗДУ, 2001. 193 с.
3. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. М.: Колос, 1975. 392 с.
4. Зайцева І. О., Опанасенко В. Ф. Путівник по ботанічному саду ДНУ. Д.: РВВ ДНУ, 2008. 112 с.
5. Капелюш Н. В. Динаміка хлорофілу у листках *Platanus orientalis* L. та *P. acerifolia* Willd. за умов забруднення середовища // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. біол., екол. 2006. Вип. 14. Т. 1. С. 76–80.
6. Коршиков И. И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязнённой среды. К.: Наук. думка, 1996. 239 с.
7. Москалик Г. Г. Фітоіндикація стану повітря урбоєкосистеми // Фальцфейнівські читання. Херсон: ПП Вишемирський, 2007. С. 219–221.
8. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин. К.: Вища школа, 2005. 503 с.
9. Оскольская О. И. Некоторые морфологические и физиологические адаптации сосны крымской (*Pinus pallasiana* Lamb.) к условиям антропогенного воздействия // Кадастровые исследования степных биогеоценозов Присамарья Днепропетровского, их антропогенная динамика и охрана. Д.: Изд-во Днепропетр. ун-та, 1991. С. 176–181.
10. Приступа І. В., Шалімов І. В., Романчук Т. В. Динаміка вмісту фотосинтезуючих пігментів як фітоіндикаційний показник у представників р. *Juniperus*, що зростають в

- умовах промислового міста південного сходу України // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ, 2009. Вип. 14. № 1. С. 74–80.
11. Репин Е. Н. Состав пластидных пигментов, содержание воды и транспирации у *Pinus densiflora* и *Pinus x Funebris* // Ботан. журнал. 2003. Т. 88. № 3. С. 85–89.
  12. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк: ДДУ, 1999. 210 с.
  13. Сенчишина І. В. Вміст хлорофілу та міцність зв'язку хлорофілу з білком у деяких представників роду *Acer* L. в умовах Придніпров'я // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. біол., екол. 2005. Вип. 13. Т. 1. С. 245–249.
  14. Чернікова О. В. Еколого-біологічні показники стійкості рослин роду *Spiraea* L. в техногенних умовах степового Придніпров'я (в межах м. Дніпропетровська): автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Д., 2009. 20 с.
  15. Юсупіва Т. І., Самко О. В. Вплив SO<sub>2</sub> та NO<sub>2</sub> на динаміку хлорофілу в листках самосіву деревних рослин // Вісн. Миколаїв. ун-ту. Сер. біол. науки. 2009. Вип. 24. № 4 (1). С. 282–287.
  16. Регіональна доповідь “Про стан навколишнього природного середовища Дніпропетровської області в 2012 році” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.menr.gov.ua/docs/activity...u.../dniproperovska%202012.pdf](http://www.menr.gov.ua/docs/activity...u.../dniproperovska%202012.pdf).

Стаття: надійшла до редакції 26.06.13

доопрацьована 23.01.14

прийнята до друку 12.02.14

## DYNAMICS OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT IN WOODY PLANTS LEAVES UNDER TECHNOGENIC GROWTH CONDITIONS

T. Iusypiva, V. Vegerich

Oles Gonchar National University of Dnipropetrovsk  
72, Gagarin Ave., Dnipropetrovsk 49010, Ukraine  
e-mail: JusyypivaTatjana@i.ua

Anthropogenic influence on photosynthetic pigments concentration dynamics was studied in *Betula pendula* L., *Robinia pseudoacacia* L. та *Salix alba* L. leaves in conditions of Prydniprovyia steppes. The contents of the total (*a+b*) chlorophylls in all the examined species proved to decrease dramatically in industrially polluted areas. The research showed that atmospheric pollution diminish concentration of certain forms of green pigment in leaves. The species under study can be ranged *B. pendula* > *R. pseudoacacia* > *S. alba* as their sensitivity to anthropogenic influence grows, and the totality of the studied parameters is considered.

*Keywords:* photosynthetic pigments, *a* and *b* chlorophylls, toxic gases, hard metals, phytointication.

**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ПИГМЕНТОВ  
В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ  
ПРОИЗРАСТАНИЯ****Т. Юсипива, В. Вегерич**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара  
пр. Гагарина, 72, Днепропетровск 49010, Украина  
e-mail: JusypivaTatjana@i.ua*

Изучено влияние антропогенной нагрузки на динамику концентрации фотосинтезирующих пигментов в листьях *Betula pendula* L., *Robinia pseudoacacia* L. и *Salix alba* L. в условиях степного Приднепровья. Установлено, что под действием промышленного загрязнения содержание суммы хлорофиллов ( $a+b$ ) у опытных растений ниже по сравнению с контрольными. Показано, что атмосферные загрязнители уменьшают концентрацию отдельных форм зеленых пигментов. По совокупности изученных характеристик исследуемые виды в порядке увеличения их чувствительности к антропогенной нагрузке окружающей среды можно ранжировать таким образом: *B. pendula* > *R. pseudoacacia* > *S. alba*.

*Ключевые слова:* фотосинтезирующие пигменты, хлорофиллы *a* и *b*, токсические газы, тяжелые металлы, фитоиндикация.