

Олександр Ігорович Поліщук,

аспірант кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0002-1921-7117, Scopus Author ID: 57474695000, e-mail: alex1994pol@gmail.com

Назар Богданович Жигаль,

аспірант кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

e-mail: zhygalnazar@gmail.com

Галина Леонідівна Антоняк,

доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0002-1640-737X, Scopus Author ID: 6603150754, Researcher ID: I-6308-2015, e-mail: halyna.antonyak@lnu.edu.ua

ДИНАМІКА КОНЦЕНТРАЦІЇ ХЛОРОФІЛУ В ЛИСТКАХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА ЛЬВОВА

Анотація. Різні види транспорту спричиняють надходження в компоненти довкілля політантів, які шкідливо впливають на функціонування біоти в міських екосистемах. Однак метаболічні зміни в рослинах, які ростуть на території міст, з'ясовані недостатньо мірою. Метою роботи було з'ясувати динаміку концентрації хлорофілу в листках деревних рослин (*Acer platanoides* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Tilia cordata* Mill.), зібраних на ділянках з високим рівнем транспортного навантаження. Для досліджень вибрали чотири дослідні ділянки (Д1–Д4) з інтенсивним рухом автомобільного та залізничного транспорту на території міста Львова. Як контроль використовували рослинний матеріал, зібраний на території міських парків. Підготовку рослинного матеріалу до аналізу, дослідження загальної концентрації хлорофілу та хлорофілу *a*- і *b*-типу здійснювали загальноприйнятими методами. Отримані результати опрацьовували методами варіаційної статистики. У процесі досліджень встановлено, що в листках всіх трьох досліджуваних видів рослин, зібраних на ділянках Д1–Д4, відбувається вірогідне зменшення загальної концентрації хлорофілу і концентрації хлорофілу *a*-типу порівняно з цими показниками в рослинах, зібраних на території парків. Крім того, в листках *A. hippocastanum*, зібраних на двох із чотирьох дослідних ділянок, виявлено вірогідне зменшення концентрації хлорофілу *b*-типу порівняно з контролем. Отримані дані свідчать про пригнічення процесу фотосинтезу в клітинах рослин, які ростуть у районах із транспортним навантаженням, та неоднакову стійкість фотосинтетичного апарату різних видів деревних рослин до забруднення довкілля, спричиненого рухом автомобільного і залізничного транспорту. Водночас отримані результати вказують на перспективність використання рослин *A. platanoides*, *A. hippocastanum* і *T. cordata* в біомоніторингових дослідженнях з метою з'ясування екологічного стану міських територій.

Ключові слова: деревні рослини, фотосинтез, хлорофіл, міські екосистеми, транспортне навантаження, біомоніторинг, фітоіндикація

ВСТУП

На екологічний стан компонентів навколишнього середовища у містах впливають різноманітні антропогенні чинники, пов'язані з індустріальним розвитком та урбанізацією. Діяльність промислових підприємств і теплових електростанцій, різні види транспорту, невідповідне поводження з відходами спричиняють погіршення якості атмосферного повітря, хімічне забруднення ґрунту і водного середовища [1–4]. Важливе джерело забруднення довкілля – автомобільний транспорт, на який припадає основна частка забруднювальних речовин, які надходять в атмосферу сучасних міст [4]. До забрудників, які надходять в атмосферне повітря внаслідок діяльності автотранспорту, належать карбон оксиди (CO_2 , CO), нітроген оксиди (NO_2 , NO), сульфур діоксид (SO_2), поліциклічні ароматичні вуглеводні, важкі метали та інші речовини [4, 5–7]. Залізничний транспорт, який є важливим видом міжміського, міжрегіонального й міждержавного сполучення, також спричиняє забруднення довкілля на прилеглих територіях [8–10]. Більшість поллютантів, які надходять у навколишнє середовище через діяльність автомобільного та залізничного транспорту, виявляють шкідливий вплив на здоров'я міських жителів [11–13]. Тому важливе значення має моніторинг екологічного стану довкілля у містах та розробка заходів для зменшення впливу антропогенного навантаження на компоненти міських екосистем.

В системі екологічного моніторингу важливе значення має метод фітоіндикації з використанням рослин, які населяють міські екосистеми. Фітоіндикація передбачає дослідження змін у морфологічних ознаках, фізіологічних і біохімічних процесах під час взаємодії рослин з навколишнім середовищем [14, 15]. Вивчення метаболічних змін в клітинах рослин-фітоіндикаторів дає змогу з'ясувати рівень забруднення навколишнього середовища [16, 17].

До найважливіших метаболічних процесів у рослинах належить фотосинтез, в якому задіяні світлочутливі пігменти, насамперед зелений фотосинтетичний пігмент хлорофіл [18, 19]. Відомі декілька типів хлорофілу; у вищих рослинах синтезується хлорофіл *a*- і *b*-типу, які доповнюють один одного у поглинанні світла [20]. Процес фотосинтезу в рослинах чутливий до дії природних екологічних чинників (інтенсивність освітлення, температура, водний режим), складу атмосферного повітря і ґрунту [18, 21–23]. За інтенсивністю цього процесу та вмістом хлорофілу в листках рослин можна оцінити екологічний стан міських територій, зокрема, рівень забруднення навколишнього середовища антропогенними поллютантами. Однак вплив забруднення довкілля на вміст хлорофілу в рослинах, які ростуть у районах міст, що зазнають транспортного навантаження, з'ясований недостатньою мірою. Метою роботи було з'ясувати зміни концентрації хлорофілу в листках деревних рослин за умов росту на ділянках з високим рівнем транспортного навантаження на території міста Львова.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Територія досліджень. Дослідження проводили на території м. Львова, яке належить до найбільших промислових центрів у західній частині України. Місту властива наявність розвиненої транспортної інфраструктури, зокрема, автомобільних доріг і залізничних колій. Упродовж останніх років на території міста значно побільшала

кількість приватних автомобілів і засобів громадського транспорту, що призвело до збільшення обсягу викидів шкідливих речовин в атмосферу [7].

З метою відбирання проб рослинного матеріалу обрали чотири дослідні ділянки (Д1–Д4), для яких характерний високий рівень транспортного навантаження. Ділянка Д1, розміщена на території вул. Луганської, зазнає впливу автомобільного та залізничного транспорту; ділянки Д2 і Д3 (відповідно, на території вулиць Стрийської і Пасічної) зазнають автотранспортного навантаження; ділянка Д4, розміщена на території мікрорайону Левандівка, зазнає впливу залізничного транспорту. Інтенсивність руху автотранспорту на ділянках Д2 і Д3 становить 700–1200 транспортних засобів за 1 годину [2].

Як контроль (К) використовували рослинний матеріал, зібраний на ділянках трьох міських парків (Стрийський парк, Скнилівський парк і парк імені Івана Франка), які не зазнають впливу викидів автомобільного транспорту. З цією метою об'єднували і опрацьовували результати досліджень зразків, зібраних у кожному з парків.

Відбирання проб рослинного матеріалу та визначення вмісту хлорофілу. Дослідження проводили впродовж літнього періоду 2022 р. Проби рослинного матеріалу (листки) відбирали з трьох видів деревних рослин, розповсюджених на території міста, а саме: *Acer platanoides* L. (клен звичайний, або платаноподібний), *Aesculus hippocastanum* L. (гіркокаштан звичайний) і *Tilia cordata* Mill. (липа дрібнолиста, або серцелиста). Листки середнього розміру збирали з доступної частини крони; підготовку рослинного матеріалу до досліджень здійснювали в лабораторії згідно з загальноприйнятими методами. З центральних частин свіжих листових пластинок вирізали шматочки листя, подрібнювали та екстрагували 96 %-ним етанолом у темряві. Після фільтрування суміші визначали концентрацію хлорофілів *a* і *b* та загальний вміст хлорофілу методом Н. К. Lichtenthaler, А. R. Wellburn (1983) [24]. Оптичну густину розчинів пігментів вимірювали на спектрофотометрі ULAB-102 (Китай) при 649 і 665 нм. Концентрацію хлорофілу *a*- і *b*-типів розраховували за формулами 1 і 2 [24]:

$$C_{\text{Хл. } a} = 13.95A_{665} - 6.88A_{649} \quad (1),$$

$$C_{\text{Хл. } b} = 24.96A_{649} - 7.32A_{665} \quad (2),$$

де $C_{\text{Хл. } a}$ – концентрація хлорофілу *a*, $C_{\text{Хл. } b}$ – концентрація хлорофілу *b*, A_{649} і A_{665} – оптична густина розчинів пігментів, відповідно, при 649 і 665 нм.

Загальну концентрацію хлорофілу виражали як суму концентрацій хлорофілу *a* і хлорофілу *b*. Концентрацію пігментів перераховували на 1 г сирої маси тканини листка. Визначення проводили в 3–5 повторях. Результати опрацьовували методами варіаційної статистики [25].

РЕЗУЛЬТАТИ

Результати досліджень свідчать про значні відмінності в концентрації хлорофілу в листках деревних рослин, зібраних на різних ділянках м. Львова. Найбільша загальна концентрація хлорофілу та його фракцій (хлорофіл *a* і хлорофіл *b*) виявляється в листках дерев, що ростуть на території міських парків (рис. 1–3). Значення досліджуваних показників у листках рослин, відібраних на ділянках паркової зони, які не зазнають впливу транспортного руху, приймали за контроль. В листках дерев, що ростуть на ділянках Д1–Д4, які підлягають впливу автомобільного та залізничного транспорту, загальна концентрація хлорофілу переважно менша порівняно з контролем

(рис. 1). Такі результати є свідченням того, що забрудники, які надходять у довкілля внаслідок транспортного навантаження, пригнічують функції фотосинтетичного апарату в рослинних клітинах. Однак зміни загальної концентрації хлорофілу неоднакові в листках досліджуваних видів рослин. Найвиразніші зміни виявляються в листках *A. hippocastanum*, в яких значення цього показника менші від контрольних в 1,5–2,1 разу ($p < 0,05–0,001$) на всіх чотирьох дослідних ділянках. В листках рослин *T. cordata* загальна концентрація хлорофілу зменшується порівняно з контролем в 1,2–1,5 разу ($p < 0,05$) на ділянках Д1–Д3. Натомість, в листках рослин *A. platanoides* вірогідне зменшення загальної концентрації хлорофілу виявляється лише на ділянках Д1 і Д3. Такі результати вказують на більшу стійкість фотосинтетичного апарату рослин *A. platanoides* до змін екологічного стану довкілля, зумовлених транспортним навантаженням, порівняно з двома іншими досліджуваними видами деревних рослин.

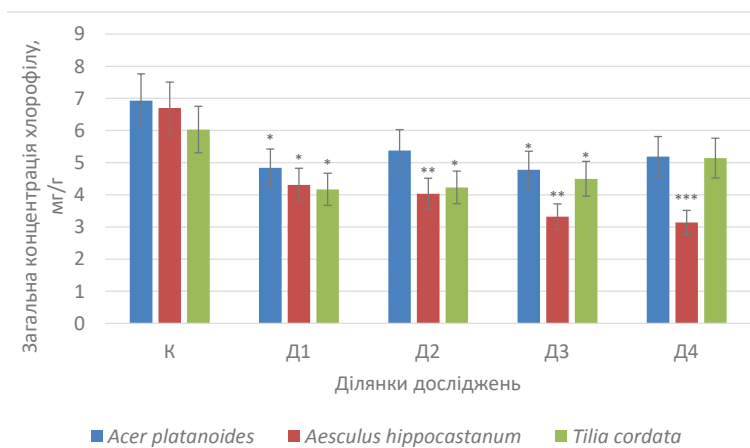


Рис. 1. Загальна концентрація хлорофілу в листках деревних рослин, зібраних на території м. Львова (на цьому та інших рисунках *, **, *** – вірогідність різниць у результатах досліджень рослинного матеріалу з дослідних ділянок порівняно з контролем: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$)

Загальна концентрація хлорофілу в листках рослин залежить від вмісту хлорофілу *a*- і *b*-типу – важливих компонентів фотосинтетичного апарату рослинних клітин [20]. Результати досліджень свідчать, що в листках рослин *A. hippocastanum*, які ростуть на ділянках з транспортним навантаженням Д1–Д4, концентрація хлорофілу *a*-типу менша в 1,6–2,25 разу ($p < 0,05–0,01$), ніж у листках рослин, які ростуть у парковій зоні (рис. 2). В листках *A. platanoides* концентрація хлорофілу *a* вірогідно менша від контролю на ділянках Д1 і Д3, що узгоджується з результатами щодо зменшення загальної концентрації хлорофілу в листках *A. platanoides*, зібраних на цих ділянках. В листках *T. cordata* вірогідне зменшення концентрації хлорофілу *a* порівняно з контролем виявлене на ділянках Д1 і Д2. Отримані результати свідчать про розвиток стресу в клітинах рослин, які ростуть на територіях із транспортним навантаженням, і узгоджуються з наявними в наукових джерелах даними про пригнічення синтезу хлорофілу в рослинах, які зазнають впливу інших стресогенних чинників [26, 27].

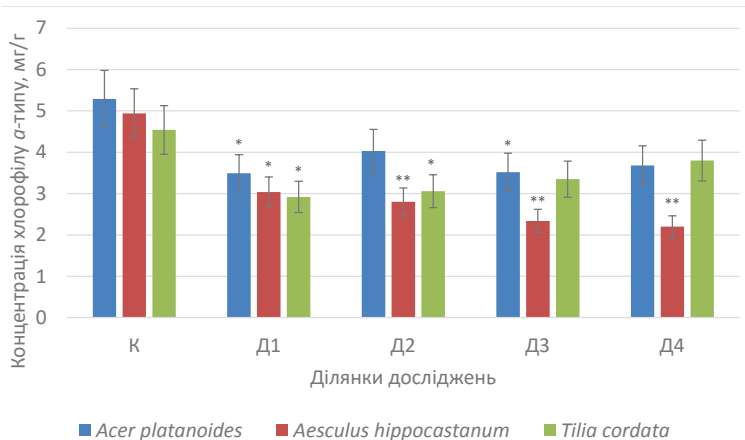


Рис. 2. Концентрація хлорофілу *a*-типу в листках деревних рослин, зібраних на території м. Львова

Результати досліджень концентрації хлорофілу *b*-типу свідчать, що цей показник загалом виявляє менш виразну динаміку до зменшення в листках рослин, які ростуть на дослідних ділянках, порівняно з контролем, ніж хлорофіл *a*-типу. Вірогідне зменшення вмісту хлорофілу *b* виявлене лише в листках рослин *A. hippocastanum*, зібраних на ділянках Д3 і Д4 (відповідно, в 1,8 і 1,9 разу, $p < 0,05$) (рис. 3). В листках двох інших видів деревних рослин (*A. platanoides* і *T. cordata*), попри тенденцію до зменшення концентрації хлорофілу *b* на ділянках Д1–Д4, вірогідних змін між зразками, відібраними на території парків і на дослідних ділянках, не виявлено.

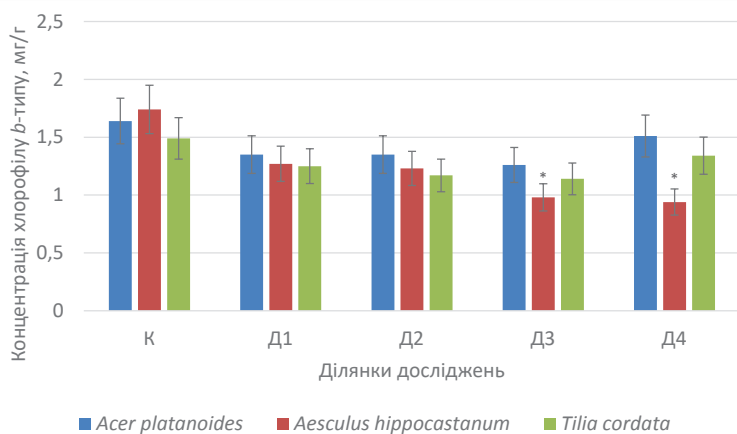


Рис. 3. Концентрація хлорофілу *b*-типу в листках деревних рослин, зібраних на території м. Львова

Аналіз співвідношення між концентрацією хлорофілу *a*- і *b*-типу в листках *A. hippocastanum* вказує на те, що цей показник значно нижчий в листках рослин, які

ростуть на ділянках із транспортним навантаженням (Д1–Д4), порівняно з рослинами, зібраними на території парків (рис. 4). Зокрема, показник співвідношення хлорофіл *a*/ хлорофіл *b* в листках *A. hippocastanum*, відібраних у парковій зоні, становив 2,8, а на ділянках Д1–Д4 цей показник становив 2,3–2,4. В листках рослин *A. platanoides* і *T. cordata*, зібраних на дослідних ділянках, зміни показника співвідношення хлорофіл *a*/ хлорофіл *b* були менш виразними, а саме: в листках *A. platanoides* цей показник зменшувався від 3,2 (контроль) до 2,4–3,0 (на ділянках Д1–Д4), а в листках *T. cordata* – від 3,0 (контроль) до 2,9–2,3 (на ділянках Д1–Д4).

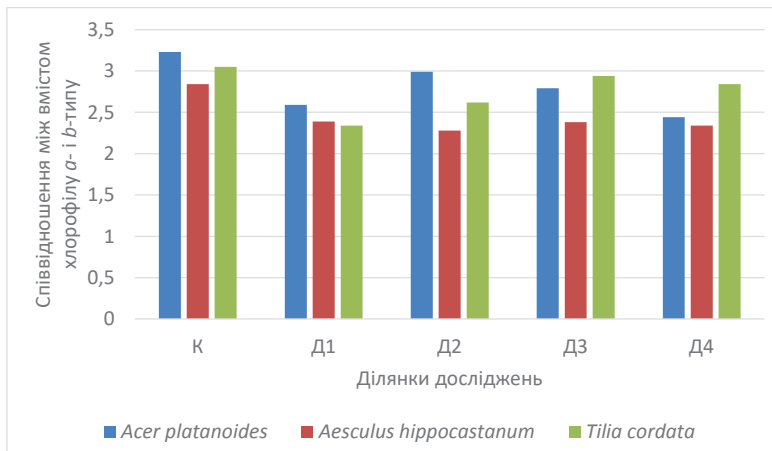


Рис. 4. Показник співвідношення між вмістом хлорофілу *a*- і *b*-типу в листках деревних рослин, зібраних на території м. Львова

Зменшення показника співвідношення між вмістом хлорофілу *a*- і *b*-типу вказує на більш виразне зменшення концентрації хлорофілу *a*, ніж хлорофілу *b*, а також на динаміку до підвищення вмісту хлорофілу *b* в листках рослин, які ростуть на територіях із транспортним навантаженням. Зокрема, в наукових джерелах наявні дані про те, що під час фізіологічної адаптації фотосинтетичного апарату рослин до несприятливих умов довкілля може відбуватися активація процесу утворення хлорофілу *b* [28, 29].

Загалом, отримані в наших дослідженнях результати щодо зменшення загальної концентрації хлорофілу та *a*- і *b*- фракцій пігменту в листках деревних рослин, зібраних на ділянках м. Львова з високим транспортним навантаженням, свідчать про пригнічення функцій фотосинтетичного апарату в рослинних клітинах під впливом полутантів, які надходять у довкілля внаслідок діяльності автомобільного та залізничного транспорту. Такий ефект може зумовлюватись розвитком стресу в клітинах рослин, спричиненого надходженням важких металів та інших токсичних речовин, вміст яких високий у компонентах довкілля в міських районах із техногенним навантаженням [11–13, 30].

ВИСНОВКИ

У процесі досліджень встановлено, що в листках деревних рослин *A. platanoides*, *A. hippocastanum* і *T. cordata*, зібраних в районах м. Львова з високою інтенсивністю руху автомобільного та залізничного транспорту, відбувається вірогідне зменшення

загальної концентрації хлорофілу і концентрації хлорофілу *a*-типу порівняно з цими показниками в рослинах, зібраних на території міських парків. Крім того, в листках *A. hippocastanum*, зібраних на двох із чотирьох дослідних ділянок, які зазнають транспортного навантаження, виявлено вірогідне зменшення концентрації хлорофілу *b*-типу порівняно з контролем. Отримані дані свідчать про пригнічення процесу фотосинтезу в клітинах рослин, які ростуть у районах із транспортним навантаженням, та неоднакову стійкість фотосинтетичного апарату різних видів деревних рослин до забруднення довкілля, спричиненого рухом автомобільного і залізничного транспорту. Разом з тим, отримані результати вказують на перспективність використання рослин *A. platanoides*, *A. hippocastanum* і *T. cordata* в біомоніторингових дослідженнях з метою з'ясування екологічного стану міських територій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Залеський І. Екологічні проблеми міст. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2015. № 1 (69). С. 71–79.
2. Поліщук О., Лесів М., Антоняк Г. Вплив транспортного навантаження на акумуляцію металів у рослинах на території м. Львова. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2020. Вип. 82. С. 101–109.
3. Поліщук О. І., Антоняк Г. Л. Вплив транспортного навантаження на елементний склад ґрунту у приміській зоні м. Львова. *Екологічні науки*. 2021. № 5 (38). С. 81–86.
4. Environmental impact of road transport / Antonyak H. et al. *Sustainable Development and Human Health* / Krynski A., Tebug G.K., & Voloshanska S. (eds.). Czestochowa: Publishing House of Polonia University “Educator”, 2020. P. 61–74.
5. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts / Adamiec E. et al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2016. Vol: 188. P. 369.
6. Emissions of organic pollutants from traffic and roads: Priority pollutants selection and substance flow analysis / Markiewicz A. et al. *Science of The Total Environment*. 2017. Vol: 580. P. 1162–1174.
7. Road transport in Ukraine: the impact of heavy traffic loads on the environment / Polishchuk A. et al. *Acta Carpathica*. 2019. Issue: 31–32. P. 16–24.
8. The environmental impacts of railway transportation in the Ukraine / Plakhotnik V.N. et al. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2005. Vol: 10. Issue: 3. P. 263–268.
9. Лоза В. Г., Кухлівський С. В., Косенко Б. Я., Підскребаєв О. М. Способи захисту навколишнього середовища на залізничному транспорті України. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна*. 2008. Вип. 25. С. 92–96.
10. Environmental performance analysis of railway infrastructure using life cycle assessment: Selecting pavement projects based on global warming potential impacts / Ribeiro F. B. et al. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol: 365. Article 132558.
11. Черниченко І. О., Литвиченко О. М., Соверткова Л. С., Цимбалюк С. М. Оцінка канцерогенного ризику для населення промислових міст України. *Довкілля та здоров'я*. 2017. №. 2. С. 17–22.
12. Effects of long-term exposure to air pollution on all-cause mortality and cause-specific mortality in seven major cities of South Korea: Korean national health and nutritional examination surveys with mortality follow-up / Kim H. et al. *Environmental Research*. 2021. Vol: 192. Article 110290.

13. Kim S., & Lee J.-T. Short-term exposure to PM10 and cardiovascular hospitalization in persons with and without disabilities: Invisible population in air pollution epidemiology. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 848, 157717.
14. Ольхович О. П., Мусієнко М. М. Фітоіндикація та фітомоніторинг. Київ : Фітосоціо-центр, 2005. 64 с.
15. Дідух Я. П. Основи біоіндикації. Київ : Наукова думка, 2012. 344 с.
16. Polishchuk A. I., & Antonyak H. L. Accumulation of heavy metals and antioxidant defense system in the gametophyte of *Didymodon rigidulus* Hedw. in areas with high traffic loads. *Biologichni Studii / Studia Biologica*. 2021. Vol: 15. Issue: 3. P. 51–60.
17. Polishchuk, A. I., & Antonyak, H. L. (). Dynamics of foliar concentrations of photosynthetic pigments in woody and herbaceous plant species in the territory of an industrial city. *Biologichni Studii / Studia Biologica*. 2022. Vol: 16. Issue: 2. P. 29–40.
18. Krause G. H., & Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual Review of Plant Physiology*. 1991. Vol: 42. P. 313–349.
19. Light signal transduction in higher plants / Chen M. et al. *Annual Review of Genetics*. 2004. Vol: 38. P. 87–117.
20. Biosynthesis of the modified tetrapyrroles – the pigments of life / Bryant D. A. et al. *Journal of Biological Chemistry*. 2020. Vol: 295. Issue: 20. P. 6888–6925.
21. Into the shadows and back into sunlight: photosynthesis in fluctuating light / Long S. P. et al. *Annual Review of Plant Biology*. 2022. Vol: 73. P. 617–648.
22. Are chlorophyll concentrations and nitrogen across the vertical canopy profile affected by elevated CO₂ in mature *Quercus trees*? / Gardner A. et al. *Trees*. 2022. Vol: 36. P. 1797–1809.
23. Effects of different soils on the biomass and photosynthesis of *Rumex nepalensis* in subalpine region of Southwestern China / He H. et al. *Forests*. 2022. Vol: 13. Issue: 1. P. 73.
24. Lichtenthaler H., & Wellburn A. R. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 1983. Vol: 603. P. 591–593.
25. Statistical Methods in Biology. Design and Analysis of Experiments and Regression / Welham S. J. et al. Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 568 p.
26. Alterations in photosynthetic pigments, protein, and carbohydrate metabolism in a wild plant *Coronopus didymus* L. (Brassicaceae) under lead stress / Sidhu G. P. S. et al. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2017. Vol: 39. Issue: 8. P. 1–9.
27. Responses of leaf gas exchange attributes, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in NaCl-stressed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings to exogenous glycine betaine and salicylic acid / Hamani A. K. M. et al. *BMC Plant Biology*. 2020. Vol: 20. Issue: 1. P. 1–14.
28. Salt-tolerance mechanisms induced in *Stevia rebaudiana* Bertoni: Effects on mineral nutrition, antioxidative metabolism and steviol glycoside content / Cantabella D. et al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017. Vol. 115. P. 484–496.
29. Analysis of biochemical parameters of *Persicaria bistorta* in different ecosystems / Hoivanovych N. et al. *Sustainable Development and Human Health*. Krynski A., Tebug G.K., Voloshanska S. (eds.). Czestochowa: Educator, 2020. P. 123–132.
30. Risk assessment for public health from air pollution in the industrial regions of Ukraine / Rybalova O. et al. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*. 2022. Issue: 56. P. 240–254.

REFERENCES

1. Zales'kyi, I. (2015) Ekolohichni problemy mist [Ecological problems of cities]. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya*. No 1 (69). P. 71–79. [in Ukrainian].

2. Polishchuk, O., Lesiv, M., & Antonyak, H. (2020) Vplyv transportnoho navantazhennya na nakopychennya metaliv u roslynakh na terytoriyi m. L'vova [The influence of transport load on the accumulation of metals in plants in the territory of Lviv]. *Visnyk L'vivs'koho universytetu. Seriya biolohichna – Visnyk of Lviv University. Biological series*. Issue: 82. P. 101–109. [in Ukrainian].
3. Polishchuk, O.I., & Antonyak, H.L. (2021) Vplyv transportnoho navantazhennya na elementnyy sklad obgruntovano u prymis'kiy zoni m. L'vova [The influence of transport load on the elemental composition of the soil in the suburban area of Lviv]. *Ekolohichni nauky – Environmental sciences*. No 5 (38). P. 81–86. [in Ukrainian].
4. Antonyak, H., Mamchur, Z., Polishchuk, A., Lesiv, M., & Hoivanovych, N. (2020) Environmental impact of road transport. *Sustainable Development and Human Health / Krynski, A., Tebug, G.K., & Voloshanska, S. (eds.)*. Czestochowa: Publishing House of Polonia University “Educator”, 61–74.
5. Adamiec, E., Jarosz-Krzemińska, E., & Wieszała, R. (2016) Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 369.
6. Markiewicz, A., Björklund, K., Eriksson, E., Kalmykova, Y., Strömvall, A.M., Siopi, A. (2017) Emissions of organic pollutants from traffic and roads: Priority pollutants selection and substance flow analysis. *Science of The Total Environment*, 580, 1162–1174.
7. Polishchuk, A., Lesiv, M., & Antonyak, H. (2019) Road transport in Ukraine: the impact of heavy traffic loads on the environment. *Acta Carpathica*, Issue: 31–32. P. 16–24.
8. Plakhotnik, V.N., Onyshchenko, Ju.V., & Yaryshkina, L.A. (2005) The environmental impacts of railway transportation in the Ukraine. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10, 3, 263–268.
9. Loza, V.H., Kukhlivs'kyi, S.V., Kosenko, B.Ya., & Pidskrebayev, O. M. (2008) Sposoby zakhystu navkolishn'oho seredovyshcha na zaliznychnomu transporti Ukrayiny [Ways of protecting the environment in railway transport of Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu im. akad. V. Lazaryana*. Issue: 25. P. 92–96. [in Ukrainian].
10. Ribeiro, F.B., do Nascimento, F.A.C., & da Silva, M.A.V. (2022) Environmental performance analysis of railway infrastructure using life cycle assessment: Selecting pavement projects based on global warming potential impacts. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132558.
11. Chernychenko, I.O., Lytvychenko, O.M., Sovertkova, L.S., & Tsymbalyuk, S.M. (2017) Otsinka kantserohennoho ryzyku dlya naseleння promyslovykh mist Ukrayiny. *Dovkillya ta zdorov'ya – Environment and health*. No 2. P. 17–22. [in Ukrainian].
12. Kim, H., Byun, G., Choi, Y., Kim, S., Kim, S.-Y., & Lee, J.-T. (2021) Effects of long-term exposure to air pollution on all-cause mortality and cause-specific mortality in seven major cities of South Korea: Korean national health and nutritional examination surveys with mortality follow-up. *Environmental Research*, 192, 110290.
13. Kim, S., & Lee, J.-T. (2022) Short-term exposure to PM10 and cardiovascular hospitalization in persons with and without disabilities: Invisible population in air pollution epidemiology. *Science of The Total Environment*, 2922. Vol. 848, 157717.
14. Ol'khovych, O.P., & Musiyenko, M.M. (2005) Fitoindykatsiya ta fitomonitorynh [Phytoindication and phytomonitoring]. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 64 p. [in Ukrainian].
15. Didukh, Ya.P. (2012) Osnovy bioindykatsiyi [Fundamentals of bioindication]. Kyiv : Naukova dumka, 344 p. [in Ukrainian].
16. Polishchuk, A.I., & Antonyak, H.L. (2021). Accumulation of heavy metals and antioxidant defense system in the gametophyte of *Didymodon rigidulus* Hedw. in areas with high traffic loads. *Biologichni Studii / Studia Biologica*, 15(3), 51–60.

17. Polishchuk, A. I., & Antonyak, H. L. (2022). Dynamics of foliar concentrations of photosynthetic pigments in woody and herbaceous plant species in the territory of an industrial city. *Biologichni Studii / Studia Biologica*, 16(2): 29–40.
18. Krause, G.H., & Weis, E. (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual Review of Plant Physiology*, 42, 313–349.
19. Chen, M., Chory, J., & Fankhauser, C. (2004) Light signal transduction in higher plants. *Annual Review of Genetics*, 38, 87–117.
20. Bryant, D.A., Hunter, C.N., & Warren M.J. (2020) Biosynthesis of the modified tetrapyrroles – the pigments of life. *Journal of Biological Chemistry*, 295, 20, 6888–6925.
21. Long, S.P., Taylor, S.H., Burgess, S.J., Carmo-Silva, E., Lawson, T., De Souza, A.P., Leonelli, L., & Wang, Y. (2022) Into the shadows and back into sunlight: photosynthesis in fluctuating light. *Annual Review of Plant Biology*, 73. 617–648.
22. Gardner, A., Ellsworth, D.S., Pritchard, J., & MacKenzie, A.R. (2022) Are chlorophyll concentrations and nitrogen across the vertical canopy profile affected by elevated CO₂ in mature *Quercus* trees? *Trees*, 36, 1797–1809.
23. He, H., Yu, L., Yang, X., Luo, L., Liu, J., Chen, J., Kou, Y., Zhao, W., & Liu, Q. (2022) Effects of different soils on the biomass and photosynthesis of *Rumex nepalensis* in subalpine region of Southwestern China. *Forests*, 13, 1, 73.
24. Lichtenthaler, H., & Wellburn, A.R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 603, 591–593.
25. Welham, S.J., Gezan, S.A., Clark, S.J., & Mead, A. (2015) *Statistical Methods in Biology. Design and Analysis of Experiments and Regression*. Taylor & Francis Group, LLC, 568 p. doi:10.1201/b17336
26. Sidhu, G.P.S., Singh, H.P., Batish, D.R., & Kohli, R.K. (2017) Alterations in photosynthetic pigments, protein, and carbohydrate metabolism in a wild plant *Coronopus didymus* L. (Brassicaceae) under lead stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39, 8, 1–9.
27. Hamani, A.K.M., Wang, G., Sothar, M.K., Shen, X., Gao, Y., Qiu, R., & Mehmood, F. (2020) Responses of leaf gas exchange attributes, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in NaCl-stressed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings to exogenous glycine betaine and salicylic acid. *BMC Plant Biology*, 20. 1, 1–14.
28. Cantabella, D., Piqueras, A., Acosta-Motos, J.R., Bernal-Vicente, A., Hernández, J.A., & Díaz-Vivancos, P. (2017) Salt-tolerance mechanisms induced in *Stevia rebaudiana* Bertoni: Effects on mineral nutrition, antioxidative metabolism and steviol glycoside content. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 484–496.
29. Hoivanovych, N., Antonyak, H., & Petriv, M. (2020) Analysis of biochemical parameters of *Persicaria bistorta* in different ecosystems. *Sustainable Development and Human Health / Krynski, A., Tebug, G.K., & Voloshanska, S. (Eds.)*. Czestochowa: Educator, P. 123–132.
30. Rybalova, O., Korobkova, H., Hudzevich, A., Artemiev, S., & Bondar, O. (2022). Risk assessment for public health from air pollution in the industrial regions of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 56, 240–254.

ABSTRACT

DYNAMICS OF CHLOROPHYLL CONCENTRATION IN THE LEAVES OF WOODY PLANTS IN THE TERRITORY OF THE CITY OF LVIV

Various modes of transport cause the release of pollutants into the environment, which adversely affects the biota in urban ecosystems. However, metabolic changes in plants that grow in urban areas have not been sufficiently studied. The aim of this work was to study the dynamics of chlorophyll concentration in the leaves of woody plants (*Acer platanoides* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Tilia cordata* Mill.) collected in areas with high traffic intensity. Four experimental sites (S1–S4) with heavy traffic of road and rail transport in the territory of Lviv were selected for research. Plant material collected in the territory of city parks was used as a control. Preparation of plant material for research and analysis of the total concentration of chlorophyll and chlorophyll *a*- and *b*-types were carried out by conventional methods. The results obtained were processed by the methods of variation statistics. The results of the study show a significant decrease in the total concentration of chlorophyll and the concentration of *a*-type chlorophyll in the leaves of all three studied plant species collected from sites S1–S4, compared with these indicators in plants collected in parks. In addition, the leaves of *A. hippocastanum* collected from two of the four experimental sites showed a significant decrease in the concentration of *b*-type chlorophyll compared to the control. These data indicate the inhibition of the photosynthesis process in plants growing in areas with traffic load, and the unequal resistance of the photosynthetic apparatus of woody plant species to environmental pollution caused by the activities of road and rail transport. At the same time, the obtained results indicate the usefulness of *A. platanoides*, *A. hippocastanum* and *T. cordata* plants in biomonitoring studies to determine the ecological state of urban areas.

Key words: woody plants, photosynthesis, chlorophyll, urban ecosystems, traffic load, biomonitoring, phytoindication.