

Полтавський національний педагогічний університет
імені В.Г. Короленка

БІОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ

Науковий журнал

Заснований у 2015 році

Виходить двічі на рік

**Том 11
№ 2 • 2025**

Полтава • 2025

Poltava V.G. Korolenko National Pedagogical University

BIOLOGY
&
ECOLOGY

Scientific journal

Founded in 2015

Issued twice a year

Volume 11

№ 2 • 2025

БІОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ

Науковий журнал

Засновано 2015 року

Засновник та видавець:

Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації –

серія КВ № 21850-11750 Р від 21 грудня 2015 року

Включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»),
публікації яких зараховуються до результатів дисертаційних робіт з біологічних наук
(Наказ МОН України №886 від 02.07.2020 року)

*Журнал «Біологія та екологія» публікує оригінальні матеріали
(експериментальні, теоретичні статті, а також короткі повідомлення, огляди і рецензії)
за результатами досліджень у різних галузях біології та екології*

Редакційна колегія:

Головний редактор: Л. П. Харченко, д.б.н., проф., Полтава, Україна

Члени редакційної колегії:

В. В. Буджак, д.б.н., проф., Київ, Україна
Л. М. Гомля, к.б.н., доц., Полтава, Україна
Р. С. Гриньов, к. ф.-м. н., Аріель, Ізраїль
С. Я. Кондратюк, д.б.н., проф., Київ, Україна
О. В. Лукаш, д.б.н., проф., Чернігів, Україна
В. В. Никифоров, д.б.н., проф., Кременчук, Україна
В. М. Писаренко, д.с.-г.н., проф., Полтава, Україна
О. В. Севериновська, д.б.н., проф., Дніпро, Україна
Л. М. Фельбаба-Клушина, д.б.н., проф., Ужгород, Україна
Л. М. Черчата, к.п.н., доц., Полтава, Україна
Т. В. Шкура, к.б.н., доц., Полтава, Україна

Відповідальний секретар: В. Р. Сагайдак, асист., Полтава, Україна

Адреса редакції:

Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка,
вул. Остроградського, 2, Полтава, 36003, Україна
e-mail: biozbirnyk@gmail.com

*Друкується за рішенням ученої ради Полтавського національного педагогічного університету
імені В.Г. Короленка (протокол № 7 від 28.01.2026 р.)*

BIOLOGY & ECOLOGY

Scientific Journal

Founded in 2015

Founder and publisher:

Poltava V.G. Korolenko National Pedagogical University

Certificate about the state registration of print media
KV series number 21850-11750 P from December 21, 2015

Included in the List of scientific professional editions of Ukraine (category "B"),
whose publications are credited to the results of dissertations on biological sciences
(the Order of MES of Ukraine №886 issued on 02.07.2020)

*The journal «Biology and Ecology» publishes original materials
(experimental, theoretical and short reports, reviews and book reviews)
according to the results of research in various fields of biology and ecology*

Editorial board:

Editor-in-Chief: L. P. Kharchenko, Doctor of Biology (Poltava, Ukraine)

Members of the Editorial Board:

V. V. Budzhak, Doctor of Biology (Kyiv, Ukraine)
L. M. Homlya, PhD. in Biology (Poltava, Ukraine)
R. S. Grynyov, Doctor of Physical and Mathematical sciences (Ariel, Israel)
S. Ya. Kondratyuk, Doctor of Biology (Kyiv, Ukraine)
O. V. Lukash, Doctor of Biology (Chernihiv, Ukraine)
V. V. Nykyforov, Doctor of Biology (Kremenchuk, Ukraine)
V. M. Pysarenko, Doctor of Agricultural Science (Poltava, Ukraine)
O. V. Severynovs'ka, Doctor of Biology (Dnipro, Ukraine)
L. M. Felbaba-Klushina, Doctor of Biology (Uzhhorod, Ukraine)
L. M. Cherchata, PhD. in Pedagogy (Poltava, Ukraine)
T. V. Shkura, PhD. in Biology (Poltava, Ukraine)

Executive Secretary: V. R. Sahaidak, Assistant (Poltava, Ukraine)

Editorial address:

Poltava V. G. Korolenko National Pedagogical University
Ostrohradskyi Street, 2, Poltava, 36003, Ukraine
e-mail: biozbirnyk@gmail.com

*Printed according to the decision of Academic Council of Poltava V.G. Korolenko National Pedagogical University
(protocol № 7 of 28.01.2026)*

ЗМІСТ

ВІД РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ.....	7
------------------------------	---

БОТАНІКА

<i>Власов І. Г.</i> ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИЛКУ <i>ECHINOPS EXALTATUS</i> SCHRAD. НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ	8
<i>Черняк В. М., Михалюк І. М., Галаган О. К., Цицюра Н. І., Літвінова Б. В.</i> АНАЛІЗ РІДКІСНИХ І ЗНИКАЮЧИХ ВИДІВ ФЛОРИ ГОРИ БОЖА (НПП «КРЕМЕНЕЦЬКІ ГОРИ»).....	17

ЕКОЛОГІЯ

<i>Kolozsvári I., Sztankovics A., Korpor Z., Illár L., Hadnagy I.</i> THE EFFECTS OF METEOROLOGICAL FACTORS ON URBAN BUTTERFLY FAUNA: INSIGHTS FROM A LIGHT TRAP STUDY.....	24
<i>Темнохуд Г. Ю., Дерев'янка Т. В.</i> ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДЕРЕВНОЇ РОСЛИННОСТІ ТЕРИТОРІЙ ОБМЕЖЕНОГО КОРИСТУВАННЯ М. ПОЛТАВИ ЗА ДОПОМОГОЮ I-TREE ECO	32

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

<i>Сагайдак В. Р., Гомля Л. М., Перерва В. М., Кононенко Д. А., Герус О. О.</i> ВПЛИВ ЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ РІЗНОЇ ЧАСТОТИ НА РАННІ ЕТАПИ ОНТОГЕНЕЗУ КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН.....	41
<i>Тимчук Д. С., Тимчук Н. Ф., Харченко Л. Я.</i> ВМІСТ ГЛІЦЕРИДІВ ЛІНОЛЕВОЇ КИСЛОТИ В ОЛІЯХ ЕНДОСПЕРМОВИХ МУТАНТІВ КУКУРУДЗИ ПРИ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПОВІТРЯ В ПЕРІОД ДОСТИГАННЯ.....	49
<i>Ткачук О. О., Шевчук О. А., Поливаний С. В., Ходаницька О. О., Матвійчук О. А.</i> ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ТА МОРФОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОСЛИН <i>CICER ARIETINUM</i> L. ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІСТРЕГУЛЮЮЧИХ ПРЕПАРАТІВ.....	57

ЗООЛОГІЯ

<i>Кравцова А. Ю.</i> ПОКАЗНИКИ ЛЕЙКОЦИТАРНОЇ ФОРМУЛИ КРОВІ ТА ГЕТЕРОФІЛ-ЛІМФОЦИТАРНОГО ІНДЕКСУ ПРЕДСТАВНИКІВ РЯДУ <i>PASSERIFORMES</i>	64
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ІНФОРМАЦІЯ. ДИСКУСІЇ	72
-----------------------------------	----

До наукової дискусії щодо публікації у журналі «Біологія та екологія»	72
------------------------------------------------------------------------------------	----

ДАНІ ПРО АВТОРІВ	75
-------------------------------	----

ВИМОГИ ДО АВТОРІВ	77
--------------------------------	----

CONTENTS

FROM EDITORIAL BOARD.....7

BOTANY

Vlasov I. ASSESSMENT OF THE QUALITY OF *ECHINOPS EXALTATUS* SCHRAD. POLLEN IN THE TERRITORY OF WESTERN PODILLIA8

Chernyak V., Mykhalyuk I., Galagan O., Tsitsyura N., Litvinova B. ANALYSIS OF RARE AND ENDANGERED FLORA SPECIES OF MOUNT BOZHA (KREMENETS MOUNTAINS NATIONAL PARK)..... 17

ECOLOGY

Kolozsvári I., Sztankovics A., Kopor Z., Illár L., Hadnagy I. THE EFFECTS OF METEOROLOGICAL FACTORS ON URBAN BUTTERFLY FAUNA: INSIGHTS FROM A LIGHT TRAP STUDY..... 24

Temnokhud H., Derevianko T. ECOSYSTEM SERVICES OF WOODY VEGETATION IN RESTRICTED-USE AREAS OF POLTAVA ASSESSED WITH I-TREE ECO..... 32

PLANT PHYSIOLOGY

Sahaidak V., Homlia L., Pererva V., Kononenko D. Herus O. THE EFFECT OF SOUND VIBRATIONS OF DIFFERENT FREQUENCIES ON THE EARLY STAGES OF CULTIVATED PLANT ONTOGENESIS..... 41

Tymchuk D., Tymchuk N., Kharchenko L. LINOLEIC ACID GLYCERIDE CONTENT IN OILS OF ENDOSPERM MUTANTS OF CORN AT DIFFERENT AIR TEMPERATURES DURING THE MATURATION PERIOD..... 49

Tkachuk O., Shevchuk O., Polyvanyi S., Khodanitska O., Matviichuk O. SEED QUALITY AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *CICER ARIETINUM* L. PLANTS USING GROWTH REGULATORS..... 57

ZOOLOGY

Kravtsova A. INDICATORS OF THE LEUKOCYTE FORMULA OF BLOOD AND THE HETEROPHIL-LYMPHOCYTE INDEX OF REPRESENTATIVES OF THE ORDER *PASSERIFORMES*..... 64

INFORMATION. DISCUSSIONS 72

TO THE SCIENTIFIC DISCUSSION REGARDING PUBLICATION IN THE JOURNAL «BIOLOGY AND ECOLOGY» 72

DATA ABOUT THE AUTHORS 75

REQUIREMENTS FOR AUTHOR..... 77

ВІД РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Вельмишановні колеги!

Запрошуємо Вас до публікацій у науковому фаховому журналі, який затверджений МОН України «**Біологія та екологія**» (категорія Б).

У журналі публікуються статті, які відповідають науковому профілю журналу. Матеріал у статті повинен бути унікальним, не мати плагіату. Стаття відповідає таким параметрам: новизна, актуальність, теоретичне та практичне значення. Статті завжди проходять рецензування. Автори після рецензування отримують повідомлення про рішення редакційної колегії та рецензію від анонімного рецензента. Стаття публікується в тому випадку, якщо рекомендації рецензента враховані.

Детальне ознайомлення із «Вимогами до оформлення статей» та з електронними версіями попередніх номерів наукового фахового журналу «Біологія та екологія» можливе на вебсторінці видання за посиланням:

<http://lib.pnpu.edu.ua/naukovi-vidannja-pnpu>

Бажаємо шановним авторам творчих успіхів та нових статей на сторінках наукового фахового журналу «Біологія та екологія»!

*З повагою та шаную,
редакційна колегія*

УДК 582.998.1(477.8):581.162.3

DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352457>

І. Г. Власов

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300, Україна

illavlasov322@gmail.com, illavlasov73@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3193-357X>

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИЛКУ *ECHINOPS EXALTATUS* SCHRAD. НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ

Проведено комплексне дослідження якості пилку рідкісного виду **Echinops exaltatus* Schrad.*, занесеного до Червоної книги України зі статусом «неоцінений», у природних умовах Західного Поділля (Хмельницька область, Україна). Зразки пилкових зерен зібрано під час піку цвітіння в лучно-степових біотопах із добре дренованими ґрунтами та помірним антропогенним впливом. Метою було оцінити репродуктивний потенціал виду через аналіз фертильності та життєздатності пилку, що є ключовими індикаторами стабільності популяцій. Для оцінки застосовано два методи: йодний, який виявляє полісахариди в клітинній стінці пилкових зерен, та метод прижиттєвих барвників, що базується на вибірковій поглинальній здатності протоплазми живих клітин. Йодний метод показав високий середній рівень фертильності (85,53%, діапазон 66,67–100%), тоді як метод прижиттєвих барвників засвідчив нижчу життєздатність (65,75%, діапазон 31,25–100%). Значна варіабельність між полями зору вказує на вплив мікроекологічних чинників (вологість, температура, поживні речовини) та можливі відмінності у зрілості пилку. Морфологічний аналіз підтвердив, що пилкові зерна є ізополярними, великими (51–100 мкм), пролатної форми, з трикутним контуром у полярній проекції та борознопоровими апертурами. Скульптура екзени розгалужено-стовпчикова, з вираженими шипами та мікроретикульованою підкладкою, що забезпечує адгезію до комах-запилювачів і механічний захист. Статистична обробка (середнє значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, дисперсія) показала стабільність фертильності ($CV < 20\%$) та вищу неоднорідність життєздатності ($CV \approx 30\%$), що може свідчити про вплив стресових факторів, таких як кліматичні зміни чи антропогенний тиск. Результати підкреслюють значний репродуктивний потенціал виду, що є важливим для його збереження в умовах фрагментації біотопів та кліматичних трансформацій. Дослідження сприяє моніторингу популяцій **E. exaltatus**, оцінці загроз їхньому існуванню та розробці стратегій охорони. Отримані дані можуть бути основою для подальшого вивчення впливу абіотичних і антропогенних факторів на репродуктивну біологію виду, а також для вдосконалення методів оцінки якості пилку, що враховують морфологічні та фізіологічні аспекти. Результати мають значення для збереження біорізноманіття регіональної флори та підтримки ентомофільного запилення в лучно-степових екосистемах

Ключові слова: **Echinops exaltatus**, пилкові зерна, пилко, фертильність, життєздатність.

Вступ. *Echinops exaltatus* – гемікриптофіт, багаторічна трав'яниста рослина родини *Asteraceae*. Представник європейсько-середземноморської флори на північно-східній межі диз'юнктивного ареалу. Природний ареал виду охоплює Східну та Південно-Східну Європу, крім того, він натуралізований у ряді країн Центральної та Північної Європи, зокрема в Австрії, Німеччині та Данії. За межами Євразії *E. exaltatus* відомий як інтродукований та здичавілий вид у Північній Америці – у Канаді та США. В Україні рослина занесена до «Червоної книги України» (2009) з природоохоронним статусом «неоцінений», що обумовлює необхідність моніторингу стану її популяцій і вивчення факторів, які впливають на їхню стабільність (Дідух (Ред.), 2009; Єрмоленко, Тарасов, & Мельник, 2012).

Вид має значну екологічну пластичність і належить до групи світлолюбних рослин, що переважно трапляються на відкритих ділянках із добре дренованими ґрунтами. Завдяки здатності адаптуватися до різноманітних кліматичних режимів та стійкості до антропогенного впливу, *E. exaltatus* відіграє помітну роль у формуванні та підтриманні структури природних фітоценозів (Scoggan, 1978-1979; Парпан, & Дмитраш-Вацеба, 2016).

У природних біотопах цей вид виконує важливі екосистемні функції, будучи стабільним компонентом лучно-степових біоценозів, сприяючи збереженню біорізноманіття та створенню умов для існування інших представників флори й фауни. Інтенсивне та тривале цвітіння забезпечує *E. exaltatus* значний внесок у підтримання ентомофільного запилення, залучаючи широкий спектр комах-запилювачів, зокрема диких бджіл, денних і нічних лускокрилих, а також інших представників ентомофауни. Це, у свою чергу, сприяє підтриманню стабільності трофічних зв'язків і функціональній цілісності екосистем, у яких цей вид зростає (Pignatti, 2017).

Актуальність досліджень. Майже усі відомі популяції є малочисельними, представлені поодинокими особинами або нечисельними популяційними локусами. Оцінка якості пилку *Echinops exaltatus* є визначальним елементом комплексного вивчення його репродуктивного потенціалу, який безпосередньо корелює з успішністю ентомофільного запилення, насінневою продуктивністю та здатністю підтримувати стабільність популяцій у різноманітних екологічних умовах. Поглиблений аналіз морфологічних параметрів пилкових зерен, а також визначення їхньої життєздатності та фертильності, дає можливість об'єктивно оцінити ефективність генеративного розмноження, що виступає одним із ключових індикаторів адаптивного потенціалу виду.

В умовах сучасних кліматичних трансформацій, які проявляються у підвищенні середньорічних температур, зміні режиму опадів та зростанні частоти та інтенсивності посушливих періодів, дослідження життєздатності пилку набуває особливого значення. Порушення гідротермічного балансу може негативно впливати на формування генеративних органів та процеси запилення, що, своєю чергою, зумовлює зниження репродуктивної успішності. Одночасно підвищення рівня антропогенного навантаження, зокрема внаслідок урбанізації, фрагментації природних біотопів, забруднення атмосферного повітря та ґрунтів, може призводити до деградації якості пилку та зниження його функціональної активності.

Комплексна оцінка життєздатності пилку *E. exaltatus* дозволяє не лише визначити поточний стан та стабільність популяцій у межах Західного Поділля, але й ідентифікувати потенційні ризики для збереження цього рідкісного виду, занесеного до Червоної книги України.

Отримані дані можуть стати науковим підґрунтям для подальших досліджень впливу абіотичних та антропогенних чинників на репродуктивну біологію виду, а також для розроблення ефективних стратегій охорони рідкісних та цінних компонентів регіональної флори.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктом дослідження виступали зразки пилкових зерен *Echinops exaltatus*, зібрані під час експедиційних досліджень у природних умовах в період піку цвітіння у межах території Західного Поділля (Хмельницька область, Україна), зокрема в Сатанівському лісництві, на поляні біля річки Збруч, поблизу селища Сатанів у межах Національного природного парку «Подільські Товтри». Місце відбору характеризувалося типовими для виду лучно-степовими умовами з помірним рівнем антропогенного

впливу та добре дренованими ґрунтами. Відбір зразків здійснювався у репрезентативних частинах суцвіть з урахуванням фаз онтогенезу квіток, що дозволяло забезпечити достовірність оцінки фертильності та життєздатності пилку. Опис морфологічних характеристик пилкових зерен ґрунтувався на узагальненні даних спеціалізованих літературних джерел та результатів власних спостережень із застосуванням світлової мікроскопії.

Для визначення фертильності пилку застосовували йодний метод (Алексеева, 2012), що базується на взаємодії йоду з полісахаридами клітинної стінки пилкових зерен, внаслідок чого життєздатні та зрілі зерна набували темно-бурого або насичено-фіолетового відтінку, тоді як нежиттєздатні залишалися світлими або слабо забарвленими. Метод дозволяє визначити ступінь зрілості та функціональної активності пилку. Для визначення життєздатності пилку використовувався метод прижиттєвих барвників (за В. Н. Юрцевим), що базується на наявності активної вибіркової поглинальної здатності у протоплазми живих клітин і відсутності її у протоплазмі нежиттєздатного пилку. Це забезпечувало диференціацію функціонально активних та дегенеративних пилкових зерен з високою точністю (Алексеева, 2012). Для проведення аналізу використовувався світловий мікроскоп Olympus CX21 з об'єктивами 10× та 40× (збільшення 100× та 400×).

Для методу прижиттєвих барвників готували два типи розчинів: 1) розчин хімічно чистого еритрозину (або метиленового синього) з концентрацією 1:5000 на базі дистильованої води; 2) фосфатний буферний розчин Серенсена з рН 7,17 (для отримання 10 мл буферного розчину використовувалися 7 мл 1/15М розчину $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, до якого додавалися 3 мл 1/15М розчину KH_2PO_4). Процедура аналізу: на предметне скло наносили краплю свіжоприготованого фосфатного буферу, додавали трохи пилку та ретельно перемішували за допомогою палички; до суміші додавали краплю розчину еритрозину (або метиленового синього) та повторно перемішували; через 2–5 хвилин препарат накривали покривним склом; у інтервалі від 5 до 15–20 хвилин під мікроскопом проводили підрахунок забарвлених (нежиттєздатних) і незабарвлених (життєздатних) пилкових зерен. Для йодного методу готували розчин за рецептом Грама: 2 г йодиду калію розчиняли у 5 мл дистильованої води з нагріванням, додавали 1 г металевого йоду, об'єм доводили до 300 мл, а розчин зберігали у скляній ємності з помаранчевого скла. Процедура аналізу: розкриття зрілих пиляків двома голками на предметному склі, обробка препарату йодним розчином, видалення зайвих тканин та накривання покривним склом; під мікроскопом визначали фертильні пилкові зерна (темно-фіолетове або майже чорне забарвлення завдяки крохмалю) та стерильні (незабарвлені або з залишковою кількістю крохмалю).

Підрахунок результатів здійснювали у 30 випадково вибраних полях зору для кожного зразка при збільшенні мікроскопу 10×10, при цьому враховували не менше 300 пилкових зерен на зразок. Паралельно фіксували екологічні характеристики місця збору, включаючи тип ґрунту, вологість, температурний режим та ступінь антропогенного впливу. Отримані дані обробляли методами описової статистики (Приседський, 1999) з розрахунком середніх значень та стандартних відхилень, що забезпечувало об'єктивність оцінки та можливість подальшого порівняння з аналогічними дослідженнями в інших регіонах ареалу виду.

Результати та їх обговорення. Детальне регіональне дослідження *E. exaltatus* для України здійснили В. І. Парпан та І. І. Дмитраш-Вацеба, які проаналізували поширення та стан популяцій у Південному Опіллі. Автори виявили дванадцять нових локалітетів виду, уточнили північно-східну межу ареалу й охарактеризували біотопи виду (узлісся, чагарникові угруповання, карстові воронки), відзначивши високу щільність і варіабельність розмірів популяцій. Робота підсилила охоронну аргументацію для виду у національному контексті та показала, що дрібномасштабні середовищні градієнти суттєво впливають на структуру популяцій (Парпан, & Дмитраш-Вацеба, 2016).

Г. Гальбріттер здійснив детальний опис пилкових зерен виду, які характеризуються надзвичайно товстою екзиною (до 18 мкм), яка складається із стовпчикової етекзини та ендекзини, показано відмінності вигляду свіжих, регідратованих і висушених зерен, а також

морфологію апертур і поверхні екзини у SEM. Ці дані є еталонними для ідентифікації виду на рівні пилку та для порівняльної паліноморфології в межах роду (Halbritter, 2000).

На рівні філогенії роду проведено дослідження міжнародними колективами з Ірану, Іспанії та Італії. Дослідження групи науковців (Montazerolghaem, Susanna, Calleja, Mozaffarian, & Rahiminejad, 2017) на матеріалі іранського центру різноманіття, з використанням cpDNA та ITS-послідовності, підтвердило парафілію секції *Echinops*, незалежний статус секції *Phaeochaete*, змодельовало часові рамки дивергенції (переважно плейстоцен-пліоцен) та показало, що сучасна різноманітність роду формувалась у Ірано-Туранському та Східносередземноморському регіонах. Хоча робота не фокусувалася винятково на *E. exaltatus*, вона забезпечує еволюційний та біогеографічний каркас для інтерпретації внутрішньородових зв'язків і походження лінії, до якої належить досліджуваний вид. Узагальнені результати підтверджені також ширшою молекулярною реконструкцією роду (Sánchez-Jiménez, Mozaffarian, & Susanna, 2010), що охоплює більшість секцій *Echinops* і використовує маркери ITS та trnL-trnF.

У європейському флористичному огляді «Distributions of vascular plants in the Czech Republic» наведені біогеографічні дані, що *E. exaltatus* є автохтонним у західній Україні, Молдові, Румунії та пн.-центральних Балканах, із заходу сягає лише найсхідніших частин Центральної Європи, тоді як у решті регіонів трапляється здичавіло або як культивований. Такі огляди корисні для розрізнення природного та вторинного ареалів у Центральній Європі (Kaplan, Danihelka, Chrtek, & Zázvorka, 2018).

Джерела довідкового типу, що синтезують відомості про екологію та поширення виду, включають міжнародний CABI Compendium та британський BSBI Plant Atlas 2020. CABI узагальнює поширення, біологію та еколого-ценотичні риси *E. exaltatus*, у тому числі натуралізацію за межами природного ареалу, тоді як BSBI фіксує історію культивування і спорадичні випадки здичавіння у Великій Британії, підтверджуючи статус виду як рідкісного адвентиву в цій країні. Ці джерела важливі для зіставлення локальних даних з глобальними тенденціями.

У підсумку, сукупність українських даних про структуру популяцій і локалітети, еталонних паліноморфологічних характеристик з PalDat та міжнародних молекулярно-філогенетичних реконструкцій дозволяє проаналізувати загальну картину біології та біогеографії *Echinops exaltatus*.

Пилкові зерна досліджуваного виду представлені окремими монадами; за розмірною класифікацією належать до великих (переважно в інтервалі 51–100 мкм). Зерна є ізоплярними, із відношенням P/E, що відповідає пролатному типу (витягнуті у полярному напрямку). У полярній проекції контур трикутний із дещо закругленими кутами, що є характерною діагностичною ознакою для роду. Сухий пилкок характеризується візуально «втягнутими» (зануреними) апертурами (Halbritter, 2006) (рис. 1).

Апертури борозноповорі: на зерні наявні три борозни, розташовані в одній площині, що забезпечує типову для складноцвітих конфігурацію зон проростання пилкової трубки. Кожна борозна поєднує борозну і пору, при цьому під світловим і сканувальним мікроскопами добре простежуються лінії апертур і їхній зв'язок із скульптурними елементами екзини (Reitsma, 1969; Faegri, & Iversen, 1989) (рис. 1).

Скульптура екзини розгалужено-стовпчикова: поверхня вкрита вираженими шипами, між якими формується дрібна сітчаста (мікроретикульована) підкладка. Така комбінація над- і субскульптурних елементів є діагностично важливою ознакою для роду *Echinops* і добре ідентифікується під SEM (рис. 1). Візерунок екзини сприяє адгезії пилку до покриттів запилювачів і водночас забезпечує механічний захист стінки (Halbritter et al, 2018; Punt, Noen, Blackmore, Nilsson, & Thomas, 2007). Сукупність паліноморфологічних ознак є достатньо стабільною і придатною для надійної діагностики виду на палінологічному рівні та порівняльних досліджень у межах роду *Echinops*.

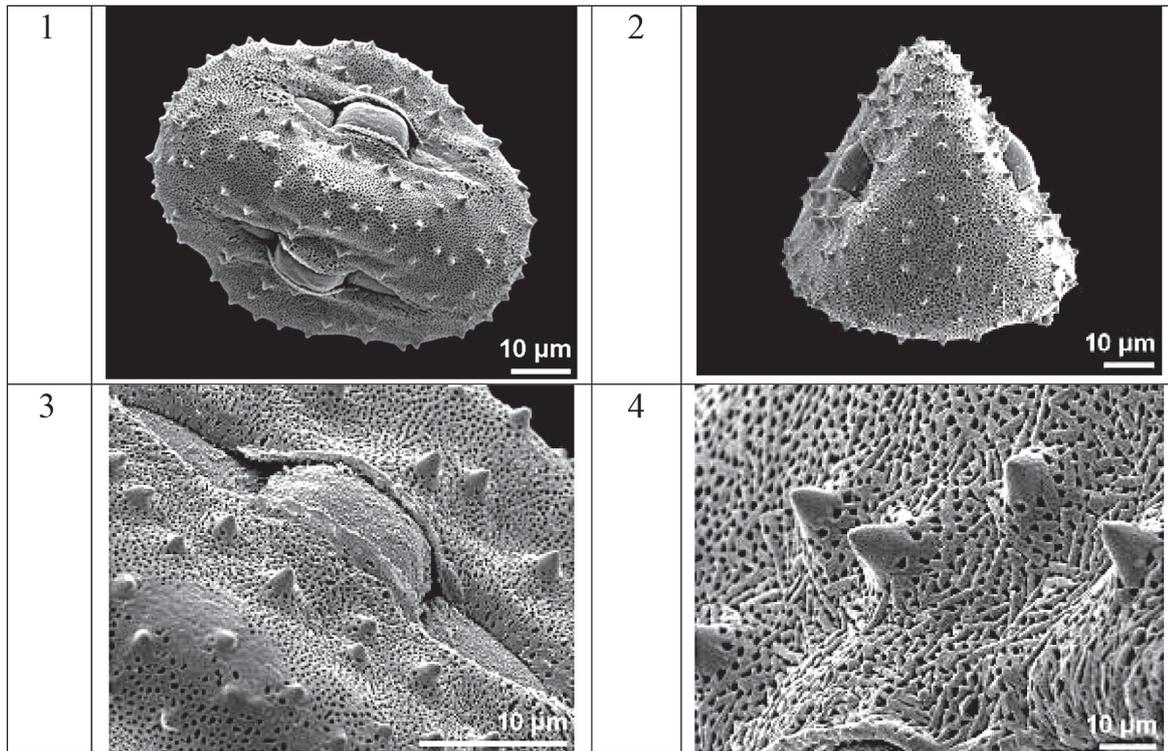


Рис. 1. Пилкові зерна *Echinops exaltatus* Schrad., СЕМ (за Halbritter H, 2016):
1 – вид з екватору, 2 – вид з полюса, 3 – поверхня апертури, 4 – поверхня екзину.

Результати досліджень запліднюючої здатності показали високий рівень фертильності пилкових зерен *Echinops exaltatus*. Середній відсоток фертильних зерен склав 85.53%, що свідчить про значний репродуктивний потенціал виду та сприятливі умови розвитку генеративних структур. Частка стерильних зерен була відносно незначною, а рівень деформації не перевищував критичних меж, що додатково підтверджує стабільність генеративного процесу (рис. 2, 4).

При застосуванні йодного методу пилкові зерна, що містили крохмаль, набували темно-синього або бурого забарвлення, що є підтвердженням їхньої фертильності. Це пояснюється реакцією йоду з полісахаридами, які є основним енергетичним субстратом для проростання пилкової трубки. Натомість стерильні пилкові зерна залишалися нефарбованими або набували світло-коричневого відтінку, що вказує на відсутність запасів крохмалю та порушення процесів дозрівання. У деформованих пилкових зернах спостерігалася нерівномірна структура оболонки та відсутність однорідного забарвлення, що може свідчити про порушення розвитку на певних етапах формування пилку (рис. 2).

Оцінка життєздатності пилкових зерен за допомогою методу прижиттєвих барвників (Алексеева, 2012) засвідчила дещо нижчі показники порівняно з результатами запліднюючої здатності. Середній рівень життєздатності пилку склав 65.75%, що може свідчити про вплив стресових факторів на фізіологічну активність генеративних структур. Значна варі-

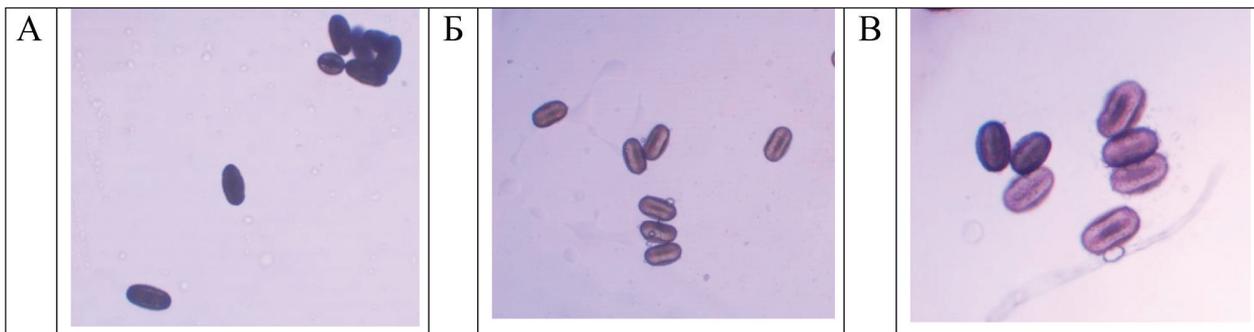


Рис. 2. Фертильність та стерильність пилкових зерен *Echinops exaltatus* Schrad.:
А – фертильні, Б – стерильні, В – фертильні і стерильні. Збільшення мікроскопу $\times 100$.

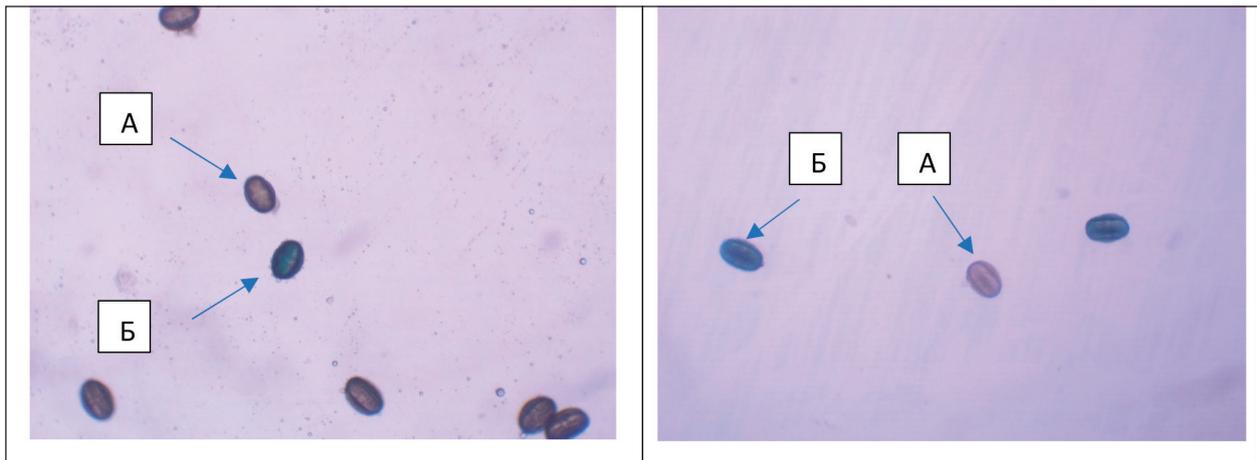


Рис. 3. Життєздатність пилкових зерен *Echinops exaltatus* Schrad.:
А – життєздатне, Б – нежиттєздатне. Збільшення мікроскопа $\times 100$.

абельність результатів між полями зору вказує на можливе розходження у рівні зрілості окремих пилкових зерен.

Під час проведення дослідження життєздатності за допомогою прижиттєвих барвників життєздатні пилкові зерна залишалися незабарвленими або слабо забарвленими, що вказує на вибіркочу здатність оболонки клітини. Нежиттєздатні пилкові зерна забарвлювалися у синій або блакитний колір, що свідчить про пошкодження мембран і втрату функціональності. Інтенсивність забарвлення залежала від ступеня деградації оболонки – більш яскравий відтінок свідчив про повне руйнування мембранних структур (рис. 3).

Зважаючи на те, що *Echinops exaltatus* занесений до Червоної книги України зі статусом «неоцінений», отримані дані мають важливе значення для моніторингу його популяцій та оцінки загроз, що можуть впливати на його відтворення в природних умовах. Достатні показники фертильності пилкових зерен свідчать про стабільність генеративних процесів, що є позитивним фактором для збереження цього рідкісного виду. Водночас дещо знижена життєздатність може вказувати на потенційний вплив зовнішніх стресових чинників, таких як кліматичні зміни, деградація місць зростання, антропогенний пресинг тощо (рис. 4).

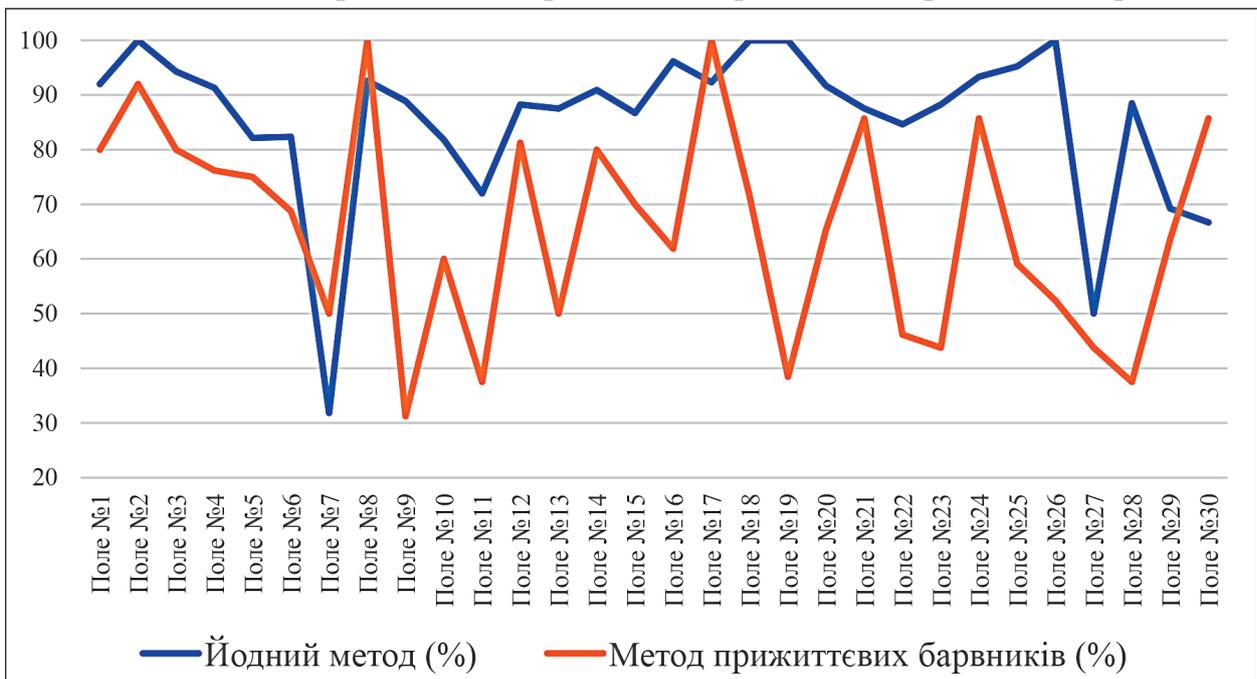


Рис. 4. Співвідношення показників фертильності та життєздатності пилкових зерен *Echinops exaltatus* Schrad. (%).

При проведенні статистичної обробки отриманих даних було визначено наступні параметри: середнє значення (X), середньоквадратичне відхилення (S), коефіцієнт варіації (V), дисперсія (S^2) (табл. 1).

Аналіз запліднюючої здатності свідчить про високу фертильність пилку з відносно помірною мінливістю між полями зору. Значення $CV < 20\%$ вказує на відносно стабільний рівень фертильності. Натомість аналіз життєздатності показав значно нижчі показники. Коефіцієнт варіації значно вищий (CV майже 30%), що вказує на суттєву неоднорідність у життєздатності пилкових зерен.

Таблиця 1

**Морфометричні показники фертильності і життєздатності пилку
Echinops exaltatus Schrad.**

Фертильність				Життєздатність			
Середнє значення	Середньокв. відхилення	Коефіцієнт варіації	Дисперсія	Середнє значення	Середньокв. відхилення	Коефіцієнт варіації	Дисперсія
X	S	V	S^2	X	S	V	S^2
85,53 %	14,91	17,44 %	222,46	65,75 %	19,47	29,61 %	378,92

Отже, вид *Echinops exaltatus* характеризується високою фертильністю пилку (понад 85%), проте реальна життєздатність зерен є значно нижчою ($65\text{--}66\%$). Це може свідчити про те, що частина пилкових зерен, хоч і формально є фертильними (мають запас поживних речовин), проте не здатні до нормального функціонування в процесі запилення та запліднення. Виявлена варіабельність життєздатності пилку може бути пов'язана з еколого-біологічними факторами та рівнем антропогенного навантаження. Подальші дослідження необхідні для детального аналізу впливу цих чинників на відтворювану здатність *Echinops exaltatus*, що сприятиме розробці ефективних заходів його охорони та збереження природних популяцій.

Висновки. Результати проведеного дослідження свідчать про достатній рівень фертильності пилкових зерен *Echinops exaltatus*, що підтверджує репродуктивний потенціал цього виду в умовах НПП «Подільські Товтри» Західного Поділля. Загалом генеративні процеси в популяціях виду є стабільними, що є важливим чинником для його збереження. Незначна частка стерильних та деформованих пилкових зерен вказує на стійкість морфогенезу репродуктивних структур.

Оцінка життєздатності пилку засвідчила нижчі показники порівняно з рівнем фертильності, що може свідчити про вплив екологічних стрес-факторів на фізіологічний стан пилку. Виявлена варіабельність показників життєздатності може бути пов'язана з локальними відмінностями мікроекологічних умов, зокрема рівнем вологості, доступністю поживних речовин та антропогенним впливом.

Зважаючи на те, що *Echinops exaltatus* занесений до Червоної книги України зі статусом «неоцінений», отримані результати є важливими для оцінки стану його популяцій та потенційних загроз їхньому існуванню. Висока фертильність пилкових зерен підтверджує стабільність генеративних процесів, що є позитивним фактором для підтримання виду в природних умовах. Водночас знижена життєздатність частини пилкових зерен може сигналізувати про негативний вплив змін клімату, деградацію природних біотопів та підвищення антропогенного навантаження. Подальші дослідження необхідні для оцінки динаміки відтворення популяцій *E. exaltatus*, що сприятиме розробці ефективних заходів його охорони та збереження у природних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Алексеева Т. Г. Визначення життєздатності пилюк та зародкового мішка: методичні вказівки до великого спеціального практикуму / Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. Одеса : Вид-во Одеського нац. ун-ту, 2012. 18 с.
- Єрмоленко В. М., Тарасов В. В., Мельник В. І. Судинні рослини України. Атлас-довідник. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 452 с.
- Парпан В. І., Дмитраш-Вацеба І. І. Поширення та стан популяцій *Echinops exaltatus* у Південному Опіллі. *Український ботанічний журнал*. 2016. Т. 73, № 5. С. 483–492.
- Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк : Кассіопея, 1999. — 210 с.
- Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. 3-тє вид., перероб. і доп. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
- Echinops exaltatus* Schrad. *Invasive Species Compendium* / CAB International. Wallingford, UK, 2020. URL: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/20393>.
- Echinops exaltatus* Schrad. *Plant Atlas 2020* / Botanical Society of Britain and Ireland. URL: <https://www.bsbi.org/plant-atlas-2020>.
- Faegri K., Iversen J. *Textbook of Pollen Analysis*. 4th ed. Chichester : John Wiley & Sons, 1989. 328 p.
- Glossary of Pollen and Spore Terminology / W. Punt, P. P. Hoen, S. Blackmore, S. Nilsson, A. Le Thomas. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2007. Vol. 143, № 1/2. P. 1–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>.
- Halbritter H. *Echinops exaltatus* – palynological data. *PalDat – A Palynological Database* / University of Vienna. 2006. URL: https://www.paldat.org/pub/Echinops_exaltatus/300792.
- Halbritter H. *Echinops exaltatus* Schrad. *PalDat – A Palynological Database* / University of Vienna. 2000. URL: https://www.paldat.org/pub/Echinops_exaltatus/300792.
- Illustrated Pollen Terminology / H. Halbritter, S. Ulrich, F. Grímsson, M. Weber, R. Zetter, M. Hesse, R. Buchner, M. Svojtka, A. Frosch-Radivo. 2nd ed. Vienna : Springer, 2018. 483 p.
- Kaplan Z., Danihelka J., Chrtek J., Zázvorka J. Distributions of vascular plants in the Czech Republic. Part 4. *Preslia*. 2018. Vol. 90. P. 425–531.
- Montazerolghaem S., Susanna A., Calleja J. A., Mozaffarian V., Rahiminejad, M. R. Molecular systematics and phylogeography of the genus *Echinops* (Compositae, Cardueae–Echinopsinae): focus on the Iranian centre of diversification. *Phytotaxa*. 2017. Vol. 297, № 2. P. 101–128. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.297.2.1>.
- NatureServe Explorer: An online encyclopedia of life. Arlington, Virginia, 2025. URL: <https://explorer.natureserve.org>.
- Pignatti S. *Flora d'Italia*. 2nd ed. Bologna : Edagricole, 2018. Vol. 3. 1312 p.
- Reitsma Tj. Size modification of recent pollen grains under different treatments. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 1969. Vol. 9, № 3/4. P. 175–202. DOI: [10.1016/0034-6667\(69\)90003-7](https://doi.org/10.1016/0034-6667(69)90003-7).
- Sánchez-Jiménez I., Mozaffarian V., Susanna A. Molecular systematics of *Echinops* L. (Asteraceae, Cynareae): a phylogenetic approach. *Plant Systematics and Evolution*. 2010. 289, № 1/2. P. 55–70. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-010-0330-0>.
- Scoggan H. J. *The Flora of Canada*. Ottawa : National Museums of Canada, 1978–1979. Vol. 1–4.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF *ECHINOPS EXALTATUS* SCHRAD. POLLEN IN THE TERRITORY OF WESTERN PODILLIA

Vlasov I.

Kamianets-Podilskyi National University named after Ivan Ohienko

A comprehensive study of pollen quality of the rare species Echinops exaltatus Schrad., listed in the Red Book of Ukraine with the status “unvalued”, was conducted under natural conditions in Western Podillia (Khmelnitsky Region, Ukraine). Pollen grain samples were collected during peak flowering in meadow-steppe biotopes with well-drained soils and moderate anthropogenic impact. The aim was to assess the reproductive potential of the species by analysing pollen fertility and viability, which are key indicators of population stability. Two methods were used for the assessment: the iodine method, which detects polysaccharides in the pollen grain cell wall, and the vital dye method, based on the selective absorption capacity of living cell protoplasm. The iodine method showed a high average fertility rate (85.53%, range 66.67–100%), while the vital dye method indicated lower viability (65.75%, range 31.25–100%). Significant variability between fields of view suggests the influence of microecological factors (humidity, temperature, nutrients) and potential differences in pollen maturity. Morphological analysis confirmed that pollen grains are isopolar, large (51–100 μm), prolate by shape, with a triangular outline in polar view and furrowed apertures. The exine sculpture is branched-columnar, with pronounced spines and a micro-reticulated substrate, which provides adhesion to pollinating insects and mechanical protection. Statistical analysis (mean, standard deviation, coefficient of variation, dispersion) revealed stable fertility (CV < 20%) and higher heterogeneity in viability (CV ≈ 30%), potentially indicating the impact of stress factors such as climate change or anthropogenic pressure. The results highlight the species’ significant reproductive potential, which is important for its conservation in habitat fragmentation and climate change. The study contributes to monitoring E. exaltatus populations, assessing threats to their existence, and developing conservation strategies. The data obtained can serve as a basis for further study of the impact of abiotic and anthropogenic factors on the reproductive biology of the species, as well as for refining pollen quality assessment methods that

account for both morphological and physiological aspects. The results are important for preserving the biodiversity of regional flora and supporting entomophilous pollination in meadow-steppe ecosystems.

Keywords: *Echinops exaltatus*, pollen grains, pollen, fertility, viability.

REFERENCES

- Aliexsieieva, T. H. (2012). *Vyznachennia zhyttiezdatnosti pylku ta zarodkovoho mishka: metodychni vказivky do velykoho spetsialnoho praktykumu* [Determination of pollen viability and embryo sac: methodological guidelines for a large special workshop] / Odes. nats. un-t im. I. I. Mechnykova. Odesa: Vyd-vo Odeskoho nats. un-tu [in Ukrainian].
- Didukh, Ya. P. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Roslynnnyi svit* [Red Book of Ukraine. Flora] (3 rd. ed., revised and supplemented). Kyiv: Hlobalkonsaltnyh [in Ukrainian].
- Echinops exaltatus* Schrad (2020). *Invasive Species Compendium* / CAB International. Wallingford, UK. Retrieved from <https://www.cabi.org/isc/datasheet/20393>.
- Echinops exaltatus* Schrad (2020). *Plant Atlas 2020* / Botanical Society of Britain and Ireland. URL: <https://www.bsbi.org/plant-atlas-2020>.
- Faegri, K., & Iversen, J. (1989). *Textbook of Pollen Analysis*. 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons.
- Halbritter, H. (2000). *Echinops exaltatus* Schrad. *PalDat – A Palynological Database* / University of Vienna. Retrieved from https://www.paldat.org/pub/Echinops_exaltatus/300792.
- Halbritter, H. (2006). *Echinops exaltatus – palynological data. PalDat – A Palynological Database* / University of Vienna. Retrieved from https://www.paldat.org/pub/Echinops_exaltatus/300792.
- Halbritter, H., Ulrich, S., Grímsson, F., Weber, M., Zetter, R., Hesse, M. ... Frosch-Radivo, A. (2018). *Illustrated Pollen Terminology* (2nd ed.). Vienna: Springer.
- Kaplan, Z., Danihelka, J., Chrtek, J., & Zázvorka, J. (2018). Distributions of vascular plants in the Czech Republic. Part 4. *Preslia*, 90, 425-531.
- Montazerolghaem, S., Susanna, A., Calleja, J. A., Mozaffarian, V., & Rahiminejad, M. R. (2017). Molecular systematics and phylogeography of the genus *Echinops* (Compositae, Cardueae–Echinopsinae): focus on the Iranian centre of diversification. *Phytotaxa*, 297 (2), 101-128. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.297.2.1>.
- NatureServe Explorer: An online encyclopedia of life* (2025). Arlington, Virginia, Retrieved from <https://explorer.natureserve.org>.
- Parpan, V. I., & Dmytrash-Vatseba, I. I. (2016). *Poshyrennia ta stan populatsii Echinops exaltatus u Pivdennomu Opilli* [Distribution and Status of *Echinops exaltatus* Populations in Southern Opillia]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian Botanical Journal], 73 (5), 483-492 [in Ukrainian].
- Pignatti, S. (2018). *Flora d'Italia* (2nd ed) (Vol. 3). Bologna: Edagricole
- Prysedskyi, Yu. H. (1999). *Statystychna obrobka rezultativ biolohichnykh eksperymentiv* [tatistical processing of biological experiment results]. Donetsk: Kassyoepia [in Ukrainian].
- Punt, W., Hoen, P. P., Blackmore, S., Nilsson, S., & Thomas, A. Le. (2007). Glossary of Pollen and Spore Terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143 (1-2), 1-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>.
- Reitsma, Tj. (1969). Size modification of recent pollen grains under different treatments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 9 (3-4), 175-202. DOI: 10.1016/0034-6667(69)90003-7.
- Sánchez-Jiménez, I., Mozaffarian, V., & Susanna, A. (2010). Molecular systematics of *Echinops* L. (Asteraceae, Cynareae): a phylogenetic approach. *Plant Systematics and Evolution*, 289 (1-2), 55-70. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-010-0330-0>.
- Scoggan, H. J. (1978–1979). *The Flora of Canada* (Vol. 1-4). Ottawa: National Museums of Canada.
- Yermolenko, V. M., Tarasov, V. V., & Melnyk, V. I. (2012). *Sudynni roslyny Ukrainy. Atlas-dovidnyk* [Vascular plants of Ukraine. Atlas-reference book]. Kyiv: Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].

Одержано 05.09.2025 р.

Прийнято до друку 15.12.2025 р.

УДК 574.1:581.9(477.84)

DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352460>

В. М. Черняк

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка,
вул. Лицейна, 1, Кременець, 47003, Україна

v.chernyak@ippo.edu.te.ua

ORCID: 0000-0002-4580-398

І. М. Михалюк

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка,
вул. Лицейна, 1, Кременець, 47003, Україна

IlovaMM@i.ua

ORCID: 0000-0002-6455-0015

О. К. Галаган

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка,
вул. Лицейна, 1, Кременець, 47003, Україна

bukowska.ok@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6775-0752

Н. І. Цицюра

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка,
вул. Лицейна, 1, Кременець, 47003, Україна

smaragds@ukr.net

ORCID: 0000-0002-8663-6397

Б. В. Літвінова

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія ім. Тараса Шевченка,
вул. Лицейна, 1, Кременець, 47003, Україна

rebryna55@gmail.com

АНАЛІЗ РІДКІСНИХ І ЗНИКАЮЧИХ ВИДІВ ФЛОРИ ГОРИ БОЖА (НПП «КРЕМЕНЕЦЬКІ ГОРИ»)

*У статті подано результати аналізу флористичного складу гори Божа, що розташована на території національного природного парку «Кременецькі гори». Особливу увагу приділено рідкісним та зникаючим видам рослин. Проведено оцінку сучасного стану созофітів, вивчено їх екологічні особливості, локалізацію в межах природних ценозів та тенденції динаміки розвитку. Визначено основні чинники, що впливають на збереження флористичного різноманіття, та окреслено перспективи застосування методів збереження *ex situ*. Отримані дані є важливою основою для розробки ефективних заходів охорони та відновлення рідкісних видів флори регіону.*

***Ключові слова:** рідкісні види, гора Божа, НПП «Кременецькі гори», флора, охорона рослин, структура, біорізноманіття, созологічний аналіз.*

Вступ. Збереження біорізноманіття є одним із ключових завдань сучасної екологічної науки та природоохоронної діяльності. Особливе значення має дослідження рідкісних і зникаючих видів рослин, які є чутливими до змін середовища і слугують важливими індикаторами екологічного стану природних екосистем.

Уваги заслуговують природоохоронні території, що є осередками збереження особливої флори та фауни. Національний природний парк «Кременецькі гори» – це цінний природний комплекс, що поєднує у собі як рідкісні ландшафти, так і багатий видовий склад рослинного світу. Гора Божа є однією з найвизначніших природних перлин парку. Вона характеризується значним флористичним різноманіттям і наявністю рідкісних та зникаючих видів рослин, які занесені до Червоної книги України. Збереження цих видів потребує наукового обґрунтування та впровадження ефективних природоохоронних заходів.

Созологічна цінність досліджуваної території обумовлена високою концентрацією рідкісних видів рослин, включених до Червоної книги України, Червоного списку МСОП, Додатку I Бернської конвенції, Європейського Червоного списку, регіонального списку Тер-

нопільської області, серед яких наявні реліктові, ендемічні, погранично-ареальні, види із диз'юнктивним ареалом (Штогрин (Ред.), 2012-2024; Штогрин, & Байрак (Ред.), 2017).

Отже, можна констатувати, що комплексного, цільового вивчення флори безпосередньо гори Божа досі не проводилось, а всі існуючі відомості отримані в контексті загального дослідження флористичного різноманіття Кременецьких гір.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження було проведено на території гори Божа, що входить до складу НПП «Кременецькі гори» (Тернопільська область, Україна). У роботі акцентовано увагу на видах, що зростають у природних та напівприродних фітоценозах з різним ступенем антропогенного навантаження.

Метою – було вивчення рідкісних і зникаючих видів флори гори Божа з урахуванням їх просторового розміщення в ценозах, аналізу динамічних тенденцій розвитку, а також можливостей їх збереження методами *ex situ*.

Польові обстеження проводилися упродовж вегетаційного періоду 2024-2025 років за загальноприйнятими методиками. Описували наукове значення виду та його охоронний статус. Вказували рослинні угруповання, де вид зустрічається. Зазначали точні географічні локації, де можна знайти ці види (гори, урочища, лісові масиви тощо).

Аналіз рідкісних видів за динамікою передбачав комплексне вивчення популяцій за досліджуваний період і порівняння результатів із літературними відомостями.

Латинські назви видів подано за чеклістом судинних рослин України (Mosyakin, & Fedoronchuk, 1999). Статуси видів та категорії рідкісності позначено відповідно до Європейського червоного списку (*European Red List of Globally Threatened Animals and Plants*, 1991), Червоної книги України (Дідух (Ред.), 2009), офіційного переліку регіонально рідкісних рослин Тернопільської області (Андрієнко, & Перегрим (Уклад.), 2012). Зміни чисельності виду (зменшення, стабільність тощо) характеризували за Літописами природи НПП «Кременецькі гори» (Штогрин (Ред.), 2012-2024).

У дослідженні використано традиційні для ботанічних досліджень математичні методи. Статистичну обробку даних здійснено за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Office Excel 2007.

Результати та їх обговорення. За результатами опрацювання літературних джерел та власних досліджень встановлено, що на території г. Божа зростає 13 з 87 рідкісних та зникаючих рослин, що становить 15 % від загальної кількості рідкісних Парку.

Аналізуючи їх наукове значення нами встановлено, що на досліджуваній території налічується 3 (23 %) види, які відзначаються зменшенням чисельності в межах області. Це є серйозним сигналом, який вказує на потенційні загрози для них і може потребувати подальшого дослідження для виявлення причин такого скорочення.

Малочисельними є два види (15%) – *Asplenium ruta-muraria* L. та *Prunus fruticosa* Pall. Хоча це не обов'язково означає безпосередню загрозу їх зникнення, але може свідчити про те, що ці види є більш вразливими до негативних впливів навколишнього середовища, генетичного виродження або випадкових подій.

Важливо відзначити, що дві категорії – «Рідкісний релікт. Вид з диз'юнктивним євразійським ареалом» та «Вразливий» – складають по 7% кожна. Реліктові види, як правило, є залишками давніх флор і часто потребують особливої охорони через їхню унікальність та обмежене поширення. Вразливі види також потребують уваги, оскільки вони знаходяться під ризиком переходу до більш загрозливих категорій у майбутньому (рис. 1).

Цікавим є те, що значна кількість категорій (шість з десяти) мають однаковий відсоток – 8%. Це включає такі різні характеристики, як:

Рідкісний вид на східній межі ареалу (*Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce.): вид, поширення якого досягає східної межі в цій області, може бути чутливими до змін клімату або інших факторів, що впливає на його ареал.

Вразливий, Волино-Подільський ендемік (*Dianthus arenarius* subsp. *pseudoserotinus* L.): ендемік, обмежений певним регіоном (у цьому випадку Волино-Поділлям), має особливо ви-



Рис. 1. Розподіл рідкісних та зникаючих видів за науковим значенням.

соку цінність для збереження біорізноманіття, оскільки його втрата в цьому регіоні означатиме його зникнення.

Вразливий реліктовий вид з диз'юнктивним ареалом (*Dracocephalum austriacum* L.): поєднання вразливості та реліктового статусу робить цей вид особливо цінним та таким, що потребує охорони. Диз'юнктивне поширення може свідчити про історичні зміни ареалу та ізоляцію популяцій.

Неоцінений, з диз'юнктивним ареалом (*Lilium martagon* L.): відсутність оцінки природоохоронного статусу для виду ускладнює розуміння потенційних загроз. Необхідно провести дослідження для визначення їхнього статусу.

На межі зникнення у межах області, ендемік (*Minuartia aucta* Klok.): ця категорія викликає особливе занепокоєння, оскільки такий вид, перебуває під критичною загрозою повного зникнення (Штогрин (Ред.), 2012-2024).

Як видно із рис 1. частина флори г. Божа перебуває під різним ступенем загрози або має особливі характеристики, що вимагають уваги та, можливо, розробки спеціальних заходів зі збереження. Переважання категорії «Зменшення чисельності у межах області» та наявність ендемічних видів на межі зникнення є особливо тривожними сигналами. Подальші дослідження причин зменшення чисельності та оцінка статусу неоцінених видів є важливими кроками для ефективного охорони рослинного світу регіону.

Аналіз рідкісних та зникаючих видів г. Божа за охоронним статусом показав переважання видів занесених до списку Регіонально-рідкісних для Тернопільської області (Черняк & Синиця, 2008; Андрієнко, & Перегрим (Уклад.), 2012). До цієї категорії належить 7 видів, що становить 44%, та вказує на їхню вразливість на місцевому рівні. (рис. 2).



Рис. 2. Розподіл рідкісних та зникаючих видів за охоронним статусом.

Як видно із рис. 2. до ЧКУ занесені 32 % видів – *Allium strictum* Schrad., *Cephalanthera damasonium*, *Dianthus arenarius*, *Dracocephalum austriacum*, *Lilium martagon*. Це свідчить про те, що значна частина созофітів потребує особливої охорони на національному рівні.

До додатку I Бернської конвенції (Конвенція про охорону дикої флори, 1979) включені 6 % видів. Такий відсоток вказує на важливість цих рослин для збереження біорізноманіття на європейському рівні.

Європейський Червоний список також налічує один вид (6 %) зі списку досліджуваної території – *Vincetoxicum* Wolf. Це означає, що цей созофіт перебуває під загрозою зникнення, на загальноєвропейському рівні.

Конвенція CITES представлена одним видом – *Cephalanthera damasonium*, що становить 6% від загальної кількості. Торгівля цим видом підлягає контролю для запобігання його зникнення.

Аналіз рідкісних та зникаючих видів г. Божа за розміщенням ценозів показав переважання лучно-степових петрофільних рослин (рис 3.). До цієї категорії належить 6 видів, що становить 46%. Це означає, що цей тип рослинності є надзвичайно важливим для збереження рідкісного біорізноманіття на горі Божа. Петрофільні угруповання розвиваються на кам'янистих відслоненнях, і їхні специфічні умови, ймовірно, є важливими для існування багатьох рідкісних видів.

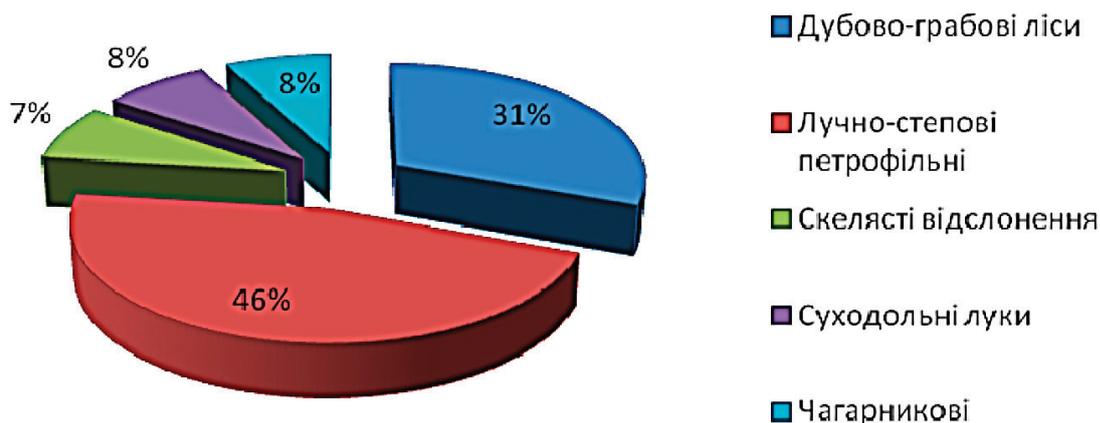


Рис. 3. Розподіл рідкісних та зникаючих видів за розміщенням ценозів.

Як видно з рис. 3 значна частка рідкісних та зникаючих видів трапляються в дубово-грабових лісах та становить 31 % (*Actaea spicata* L., *Cephalanthera damasonium*, *Lilium martagon*, *Melittis sarmatica* Klokov). Лісові екосистеми також відіграють значну роль у збереженні рідкісних видів, забезпечуючи різноманітні екологічні ніші.

На скелястих відслоненнях зростає 7 % созофітів – *Asplenium ruta-muraria*. Хоча їх відсоток незначний, але ці специфічні біотопи є важливим місцем зростання для окремих рідкісних видів, пристосованих до екстремальних умов.

На суходільних луках зустрічається 8 % видів. Лучні екосистеми, особливо ті, що не зазнали значного антропогенного впливу, можуть бути важливими для їх збереження.

Також 8 % досліджуваних видів приурочені до чагарникових угруповань (*Prunus fruticosa*). Чагарники можуть слугувати перехідними зонами між різними типами рослинності та забезпечувати їм притулок.

Для аналізу розподілу досліджуваних видів г. Божа за тенденцією динаміки нами були використані такі показники як – позитивний, регресивний, стабільний (рис. 4).

Проведений нами аналіз рідкісних демонструє різні тенденції у динаміці: зростання (прогресивні), зменшення (регресивні) або відносна стабільність.

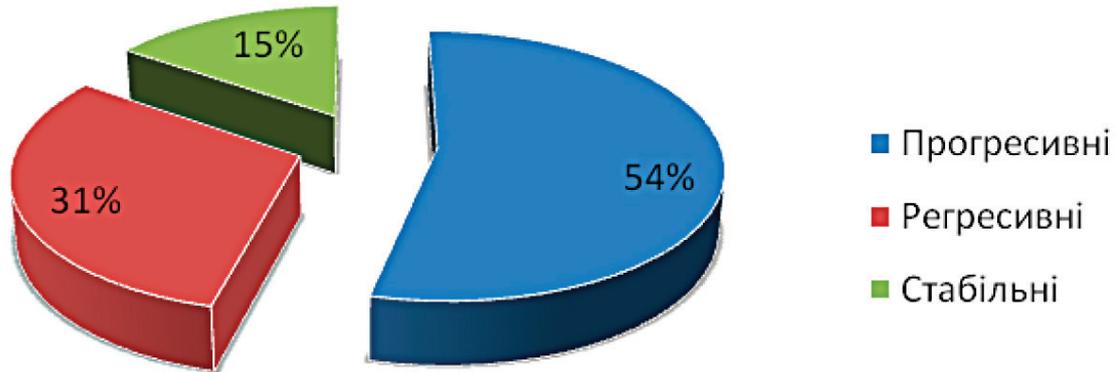


Рис. 4. Розподіл рідкісних та зникаючих видів за тенденцією динаміки.

Як видно із рис. 4, значна частка созофітів мають прогресивну тенденцію динаміки та становлять 54%. Вони демонструють зростання чисельності або розширення ареалу. Це є позитивною ознакою для їх збереження.

Рідкісних та зникаючих види, які мають регресивну тенденцію динаміки налічується 31%. Вони характеризують зменшенням чисельності, що є тривожним сигналом і вказує на необхідність вжиття термінових заходів для їхнього збереження.

Незначна частка (15 %) припадає на види, що демонструють стабільну динаміку. Їх чисельність суттєво не змінюється упродовж певного періоду часу. Хоча це може здаватися позитивним, але важливо продовжувати моніторинг цих популяцій, оскільки стабільність може бути тимчасовою або маскувати повільні негативні зміни.

Аналіз рідкісних та зникаючих видів г. Божа за збереженням *ex situ* засвідчує, що **69 % видів зберігаються у Кременецькому ботанічному саду**. Такі результати показують активну роботу з **інтродукції та збереження** рідкісних рослин у контрольованих умовах. Завдяки цьому підвищуються шанси на **збереження генетичного різноманіття** і можливість відновлення популяцій у природі (рис. 5).

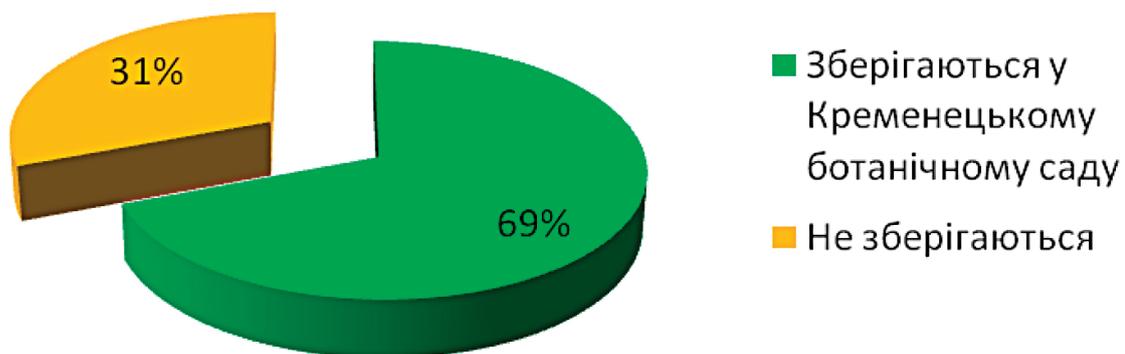


Рис. 5. Розподіл рідкісних та зникаючих видів за збереженням *ex situ*.

Як видно із рис. 5, значна частка – **31% видів, не зберігаються в ботанічному саду** (*Cephalanthera damasonium*, *Prunus fruticosa*, *Vincetoxicum*). Ці види є більш вразливими до впливу негативних факторів навколишнього середовища. Відсутність їх у колекціях ботанічного саду означає підвищений ризик втрати у разі погіршення умов природних місцезростань.

Кременецький ботанічний сад відіграє **важливу роль у збереженні рідкісної флори регіону**. Однак існує **необхідність розширення колекційної бази** для тих видів, які ще не представлені в ботсад. Також важливо розробити програми щодо **введення у культуру нових рідкісних рослин**, що дозволить мінімізувати втрати біорізноманіття у регіоні.

Серед досліджених видів, на основі літературних джерел та сучасного поширення в межах Парку, виділено групи з широким та обмеженим спектром локалітетів. (Штогрин, & Байрак (Ред.), 2017).

Із видів з великою кількістю локалітетів можна відмітити – *Minuartia aucta* – 11 локалітетів і *Dianthus arenarius subsp. pseudoserotinus* – 6 локалітетів.

До видів з обмеженою кількістю локалітетів належать – *Dracocephalum austriacum* – 1 локалітет (Мельник, Парубок & Глінська, 2006; Мельничук & Чубата, 2005).

Це вказує на необхідність пріоритетних заходів збереження для видів із вузьким ареалом.

Висновки. Отже, аналіз основних характеристик созофітів гори Божа та заходів щодо їх збереження показав, що найбільша кількість видів охороняється на **регіональному рівні**. Значний відсоток видів занесених до **Червоної книзі України** підкреслює те, що гора Божа є осередком національно важливого біорізноманіття. А наявність видів з **міжнародних охоронних списків** свідчить про унікальність і глобальну цінність цього природного осередку.

Більшість досліджуваних созофітів (54 %) демонструють **прогресивну динаміку**, що є обнадійливим показником. Проте значна частка (31%) перебуває у стані **регресії**, що викликає серйозне занепокоєння та потребує негайного втручання для запобігання подальшому скороченню цих популяцій. **Стабільна динаміка** у 15 % видів потребує постійного моніторингу для своєчасного виявлення можливих негативних змін.

Одержані результати, є важливою для визначення пріоритетів у природоохоронній діяльності на горі Божа. Основні зусилля слід спрямувати на виявлення причин регресії 31% созофітів й вжиття заходів для стабілізації та покращення їхнього стану. Підтримка позитивної динаміки прогресивних популяцій та моніторинг стабільних також є важливими аспектами збереження біорізноманіття регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Літопис природи НПП «Кременецькі гори» : у 12 т. / відп. ред. М. О. Штогрин. Кременець : НПП «Кременецькі гори». Том 1-12. 2012-2024.
- Мельник В. І., Парубок М. І., Глінська С. О. Рідкісні лісові угруповання Кременецьких гір. *Інтродукція рослин*. 2006. № 2. С. 26–31.
- Мельничук О. А., Чубата Т. В. Ценотична характеристика петрофітної рослинності м. Кременець. *Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин та зеленого будівництва* : матеріали міжнар. наук. конф. молодих дослідників, м. Київ. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. С. 36–38.
- Національний природний парк «Кременецькі гори»: сучасний стан та перспективи збереження, відтворення, використання природничих комплексів та історико-культурних традицій: монографія / М. О. Штогрин (ред.), О. М. Байрак (ред.), Л. П. Царик, В. А. Онищенко, О. І. Бондар, М. В. Богомаз, В. В. Лукіша, Л. Л. Онук та ін. Київ : ТВО «ВТО Типографія від А до Я», 2017. 296 с. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/8682>
- Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України : (довідкове видання) / Ін-т ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України; уклад.: Т. Л. Андриєнко, М. М. Перегрим. Київ : Альтерпрес, 2012. 148 с. URL: https://www.botany.kiev.ua/doc/of_reg_sp.pdf
- Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі (Офіційний переклад). Берн, 19 вересня 1979 року. URL: <https://rm.coe.int/16802efd67>
- Червона книга України. Рослинний світ / М-во охорони навколиш. природ. середовища України; Нац. акад. наук України; за ред Я. П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
- Черняк В. М., Синиця Г. Б.. Рідкісні та зникаючі рослини Тернопільщини з Червоної книги України. Тернопіль : Навчальна книга Богдан, 2008. 224 с.
- European Red List of Globally Threatened Animals and Plants, and recommendations on its application as adopted by the Economic Commission for Europe at its 46th session (1991) by decision D (46). URL: <https://portals.iucn.org/library/node/16733>
- Mosyakin S. L., Fedoronchuk M. M. Vascular plants of Ukraine. Nomenclatural checklist. Kiev, 1999. 346 с. URL: <https://botany.kiev.ua/doc/mosykin11.pdf>

ANALYSIS OF RARE AND ENDANGERED FLORA SPECIES OF MOUNT BOZHA (KREMENETS MOUNTAINS NATIONAL PARK)

Chernyak V., Mykhalyuk I., Galagan O., Tsitsyura N., Litvinova B.

Kremenets Regional Taras Shevchenko Academy of Humanities and Pedagogy

The article presents the results of an analysis of the floristic composition of Mount Bozha, located in the Kremenets Mountains National Nature Park. Particular attention is paid to rare and endangered plant species. The current state of sozophytes has been assessed, their ecological characteristics,

localization within natural communities, and development trends have been studied. The main factors influencing the preservation of floristic diversity are identified, and the prospects for the application of ex situ conservation methods are outlined. The data obtained are an important basis for the development of effective measures for the protection and restoration of rare species of flora in the region.

Keywords: rare species, Mount Bozha, Kremenets Mountains National Nature Park, flora, plant protection, structure, biodiversity, zoological analysis.

REFERENCES

Andriienko, T. L., & Perehrym, M. M. (Comps.). (2012). *Ofitsiini pereliky rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy* [Official lists of regionally rare plants of the administrative territories of Ukraine]: (dovidkove vydannia). Kyiv: Alterpres. Retrieved from https://www.botany.kiev.ua/doc/of_reg_sp.pdf [in Ukrainian].

Cherniak, V. M., & Synytsia, H. B. (2008). *Ridkisini ta znykaiuchi roslyny Ternopilshchyny z Chervonoj knyhy Ukrainy* [Rare and endangered plants of Ternopil region from the Red Book of Ukraine]. Ternopil: Navchalna knyha Bohdan. [in Ukrainian].

Didukh, Ya. P. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyi svit* [Red Book of Ukraine. Flora]. Kyiv: Hlobalkonsaltnykh [in Ukrainian].

European Red List of Globally Threatened Animals and Plants, and recommendations on its application as adopted by the Economic Commission for Europe at its 46th session (1991) by decision D (46). Retrieved from <https://portals.iucn.org/library/node/16733>

Konventsia pro okhoronu dykoi flory ta fauny i pryrodnykh seredovysch isnuvannia v Yevropi [Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats]. (1979). Bern. Retrieved from <https://rm.coe.int/16802efd67> [in Ukrainian].

Melnychuk, O. A., & Chubata, T. V. (2005). Tsenotychna kharakterystyka petrofitnoi roslynnosti m. Kremenets [Cenotic characteristics of petrophytic vegetation in Kremenets]. In *Teoretychni ta prykladni aspekty introduktsii roslyn ta zelenoho budivnytstva* [Theoretical and applied aspects of plant introduction and green construction]: materialy mizhnar. nauk. konf. molodykh doslidnykiv (pp. 36-38). Kyiv: Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].

Melnyk, V. I., Parubok, M. I., & Hlinska, S. O. (2006). Ridkisini lisovi uhrupovannia Kremenetskykh hir [Rare forest communities of the Kremenets Mountains]. *Introduktsiia roslyn*, 2, 26-31 [in Ukrainian].

Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). Vascular plants of Ukraine. Nomenclatural checklist. Kiev. Retrieved from <https://botany.kiev.ua/doc/mosykin11.pdf>

Shtohryn, M. O. (Ed.). (2012-2024). *Litopys pryrody NPP "Kremenetski hory"* [Chronicle of Nature of the Kremenets Mountains National Nature Park] (Vol. 1-12). Kremenets: NPP "Kremenetski hory" [in Ukrainian].

Shtohryn, M. O., & Bairak, O. M. (Eds.). (2017). *Natsionalnyi pryrodnyi park «Kremenetski hory»: suchasnyi stan ta perspektyvy zberezhenia, vidtvorennia, vykorystannia pryrodnych kompleksiv ta istoryko-kulturnykh tradytsii* [Kremenets Mountains National Nature Park: current status and prospects for the conservation, restoration, and use of natural complexes and historical and cultural traditions]: monohrafiia. Kyiv: TVO "VTO Typohrafiia vid A do Ya". Retrieved from <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/8682> [in Ukrainian].

Одержано 22.10.2025 р.
Прийнято до друку 15.12.2025 р.

УДК 595.78:574:551.5(477.87)

DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352462>

I. Kolozsvári

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian University, Kossuth Square 6., 90202, Berehove

kolozsvari.istvan@kmf.org.ua

ORCID: 0000-0002-4527-7762

A. Sztankovics

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian University, Kossuth Square 6., 90202, Berehove

sztankovics.anna-maria.b19bi@kmf.org.ua

ORCID: 0009-0005-8078-9666

Z. Kopor

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian University, Kossuth Square 6., 90202, Berehove

kopor.zoltan@kmf.org.ua

ORCID: 0000-0002-4330-8465

L. Illár

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian University, Kossuth Square 6., 90202, Berehove

illar.lenard@kmf.org.ua

ORCID: 0000-0003-2391-2523

I. Hadnagy

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian University, Kossuth Square 6., 90202, Berehove

hadnagy.istvan@kmf.org.ua

ORCID: 0000-0001-8931-4863

THE EFFECTS OF METEOROLOGICAL FACTORS ON URBAN BUTTERFLY FAUNA: INSIGHTS FROM A LIGHT TRAP STUDY

Abstract. During our research, we collected moths using light traps in Mukachevo, one of the largest cities in the Carpathian Basin, with the aim of exploring the composition of the local moth fauna and examining the effects of meteorological factors (daily mean, minimum, and maximum temperatures, relative humidity, and daily precipitation) on the number of individuals collected. Using light traps, we recorded 51 moth species, including several that are well adapted to urban environments and are of notable agroecological importance (e.g., *Cydia pomonella*, *Ostrinia nubilalis*, *Plutella xylostella*).

The results of the ordination and variance analyses indicated that meteorological parameters explained a significant, albeit relatively small, proportion of the daily variability in the moth assemblages. Temperature-related factors, particularly minimum and maximum temperatures, proved to be the most influential, whereas the effects of relative humidity and precipitation were comparatively moderate.

Our findings confirm that the efficiency of light-trap sampling in urban environments is strongly influenced by prevailing weather conditions, which affect moth flight activity over both short- and medium-term timescales. This underscores the importance of considering the complex interactions between local microclimate and meteorological factors in ecological studies of urban moth fauna, particularly in the context of the growing impacts of climate change and urbanization.

Keywords: Lepidoptera, light trap, weather conditions, Mukachevo, Zakarpattia Region.

Introduction. During our research, we collected moths using light traps in Mukachevo, one of the largest cities in the Carpathian Basin. In addition to studying the local moth fauna, we were also interested in assessing the effectiveness of a light trap powered by a low-power household light bulb in an urban environment, and in examining how meteorological factors such as average daily temperature, daily minimum and maximum temperatures, relative humidity, and daily precipitation influence the number of specimens collected. Previous research has shown that, in addition to food availability and anthropogenic disturbances, weather conditions can significantly affect the flight activity of many insect species and, consequently, the efficiency of light-trap collections (Steinbauer, Haslem, & Edwards, 2011; Jonason, Franze, & Ranius, 2014). For many insect species, it is likely that the spectral composition of nighttime lighting is more biologically relevant than light intensity itself (Longcore & Rich, 2004), highlighting the importance of reducing light pollution in both urban and nature conservation areas.

We selected the city of Mukachevo as our study site because it is situated at the transition zone between the Carpathian Plain and the surrounding mountainous region. The Latorica River flows through the city, which is characterized by extensive forests adjacent to populated areas, as well as agricultural zones and urban park-like habitats.

Previously, Heriak, (2010, 2012, 2021), Popov (2004), Liashenko, (2009), Szanyi, Nagy, & Varga (2015), Szanyi, Nagy, & Varga (2018), Kanarsky, Geryak, & Lyashenko (2011), Matsiakh (2020), and Vass, Hadnagy, Kohut, & Kolozsvári (2023) examined the composition of the butterfly fauna in the region; however, current lepidopterological data for the city are lacking. The study of butterfly fauna inhabiting urban environments has recently gained increased attention, as evidence suggests that climate change, urbanization, and artificial light sources exert significant influences on butterfly population dynamics (Vass, Hadnagy, Kohut, & Kolozsvári, 2023).

The efficiency of light traps in capturing moths may be closely linked to prevailing meteorological conditions. Previous research has demonstrated that meteorological factors distinctly affect the number of moths captured in traps and that the population-level effects of these factors can be effectively traced in long-term datasets (Kottek, Grieser, Beck, Rudolf, & Rubel, 2006). The local microclimate of urban environments may further intensify these influences.

In recent years, Vass and colleagues (2023) have conducted a detailed analysis of the role of weather factors in the Carpathian region, finding that fluctuations in temperature and humidity were closely associated with trapping success. The combined interaction of these factors substantially affects the interpretability of catch data, particularly in urban settings. Therefore, in studies of urban butterfly fauna, it is essential to account for the complex impacts of meteorological conditions for drawing reliable ecological conclusions (Yela, & Holyoak, 1997).

Materials and methods.

Field work. Mukachevo is located in the central part of the Zakarpatska Region and covers an area of 27.9 km². The collection site (48.451493, 22.727805) lies near the Latorca River, which divides the city into two parts, and is adjacent to the 10.9-hectare Central Park. The park's woody vegetation comprises Japanese cherry (*Prunus serrulata*), magnolia (*Magnolia*), apple (*Malus*), tulip tree (*Liriodendron tulipifera*), birch (*Betula*), catalpa (*Catalpa*), and oak (*Quercus*) species. The surrounding gardens include additional fruit trees: cherry, sour cherry, apple, walnut (*Juglans*), plum (*Prunus*), and pear (*Pyrus*), as well as wild rose (*Rosa canina*).

According to the Köppen–Geiger classification (Kottek et al. 2006), the region's climate is classified as warm-summer humid continental (Dfb). Based on the CarpatClim climate atlas (Szalai et al. 2013) and grid point data No. 1572 for the period 1961–2010, the mean annual temperature is 10.1 °C. The coldest month is January (-2.4 °C), and the warmest is July (20.4 °C). The summer and winter seasons are clearly distinct. On a multi-year average, mean temperatures in December, January, and February remain below 0 °C, while monthly mean temperatures from April to October exceed 10 °C. The average annual precipitation is 710 mm, distributed relatively evenly throughout the year. June is the wettest month (80 mm) and March the driest (48 mm). The growing season, defined by a daily mean air temperature of at least 5.5 °C, lasts approximately 245 days per year.

A Jermy-type light trap was used to collect specimens in the northeastern part of the city, an area characterized primarily by residential buildings and small gardens. The trap was positioned 2 meters above ground level and equipped with a 100 W conventional light bulb as the light source. It was operated nightly between 8:00 p.m. and 5:00 a.m. (CET). Moths captured in the collection container were anaesthetized with ethyl acetate and subsequently preserved by freezing until taxonomic identification. The sampling period extended from April to August 2024. In total, the trap was operated 67 times on the following dates: 04.01., 04.02., 04.02., 04.03., 04.03., 04.04., 04.04., 04.05., 04.06., 04.07., 04.09., 04.10., 04.11., 04.12., 04.12., 04.13., 04.16., 04.17., 04.19., 04.20., 04.20., 04.21., 04.23., 04.24., 04.24., 04.25., 04.26., 04.27., 04.28., 04.29., 04.28., 04.29., 04.29., 04.30., 05.01., 05.02., 05.02., 05.03., 05.05., 05.06., 05.06., 05.07., 05.09., 05.10., 05.10., 05.11., 05.11., 05.12., 05.12., 05.13., 05.22., 05.23., 05.23., 05.24., 05.25., 05.26., 05.26., 05.27., 05.27., 05.28., 06.01., 06.02., 06.02., 06.03., 06.06., 06.07., 06.07., 06.08., 06.13., 06.14., 06.16., 06.17., 06.17., 06.18., 06.19., 06.20., 06.22., 06.23., 06.26., 06.27., 07.07., 07.08., 07.09., 07.10., 07.10., 07.11., 07.12., 07.13., 07.13., 07.14., 07.14., 07.15., 07.15., 07.16., 07.18., 07.19., 07.19., 07.20., 07.20., 07.21., 07.22., 07.23., 07.23., 07.24., 07.27., 07.28., 07.28., 07.29., 07.29., 07.30., 08.03., 08.04., 08.04., 08.05., 08.06., 08.07., 08.16., 08.17., 08.17., 08.18., 08.20., 08.21., 08.21., 08.22., 08.23., 08.24., 08.24., 08.25., 08.25., 08.26., 08.28., 08.29., 08.29., 08.30.

Data analysis. Statistical analyses were performed using Microsoft Excel 2019 and PAST version 4.50 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001). Meteorological data were obtained from measurements recorded at the meteorological station located in the József Szikura Botanical Garden of the II. Rákóczi Ferenc Carpathian Hungarian College in Nagyberég.

The relationships between environmental variables and variations in the abundance of individual butterfly species were analysed using redundancy analysis (RDA; Legendre & Legendre, 1998), canonical correspondence analysis (CCA), one-way analysis of variance (one-way ANOVA), and linear correlation tests. Temporal effects of environmental variables on fluctuations in the total number of butterfly species were examined through cross-correlation analyses.

Results and Discussion. During the light-trap sampling, a total of 336 individuals representing 51 butterfly species were collected: (1) *Acrocercops brongniardella* (Fabricius, 1798), (2) *Achroia grisella* (Fabricius, 1794), (3) *Agrotis exclamatoris* (Linnaeus, 1758), (4) *Agriphila inquinatella* (Denis & Schiffermüller, 1775), (5) *Anania verbascalis* (Denis & Schiffermüller, 1775), (6) *Anticlea derivata* (Denis & Schiffermüller, 1775), (7) *Apotomis lacunana* (Denis & Schiffermüller, 1775), (8) *Argyresthia spinosella* (Stainton, 1849), (9) *Catoptria falsella* (Denis & Schiffermüller, 1775), (10) *Celypha striana* (Denis & Schiffermüller, 1775), (11) *Clepsis rurinana* (Linnaeus, 1758), (12) *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758), (13) *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879, (14) *Epermenia iniquella* (Wocke, 1867), (15) *Hedya ochroleucana* (Frölich, 1828), (16) *Hypsopygia costalis* (Fabricius, 1777), (17) *Idaea dimidiata* (Hufnagel, 1767), (18) *Idaea politaria* (Hübner, 1799), (19) *Idaea seriata* (Schrank, 1802), (20) *Macdunnoughia confusa* (Stephens, 1850), (21) *Macrochilo cribrumalis* (Hübner, 1793), (22) *Mesoligia furuncula* (Denis & Schiffermüller, 1775), (23) *Monopis obviella* (Denis & Schiffermüller, 1775), (24) *Nomophila noctuella* (Denis & Schiffermüller, 1775), (25) *Notocelia cynosbatella* (Linnaeus, 1758), (26) *Ochropleura plecta* (Linnaeus, 1761), (27) *Oligia latrun-cula* (Denis & Schiffermüller, 1775), (28) *Oncocera semirubella* (Scopoli, 1763), (29) *Orthotaenia undulana* (Denis & Schiffermüller, 1775), (30) *Ostrinia nubilalis* (Hübner, 1796), (31) *Ostrinia scapulalis* (Walker, 1859), (32) *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller, 1775), (33) *Parectopa robiniella* (Clemens, 1863), (34) *Patania ruralis* (Scopoli, 1763), (35) *Pelosia muscerda* (Hufnagel, 1766), (36) *Peribatodes rhomboidaria* (Denis & Schiffermüller, 1775), (37) *Phalonidia contractana* (Zeller, 1847), (38) *Phragmatobia fuliginosa* (Linnaeus, 1758), (39) *Platyedra subcinerea* (Haworth, 1828), (40) *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758), (41) *Pyrausta despicata* (Scopoli, 1763), (42) *Pyrausta purpuralis* (Linnaeus, 1758), (43) *Rivula sericealis* (Scopoli, 1763), (44) *Spilosoma lubricipeda* (Linnaeus, 1758), (45) *Syndemis musculana* (Hübner, 1799), (46) *Thisanotia chrysonuchella* (Scopoli, 1763), (47) *Timandra comae* (Schrank, 1802), (48) *Tineola bisselliella* (Hummel, 1823),

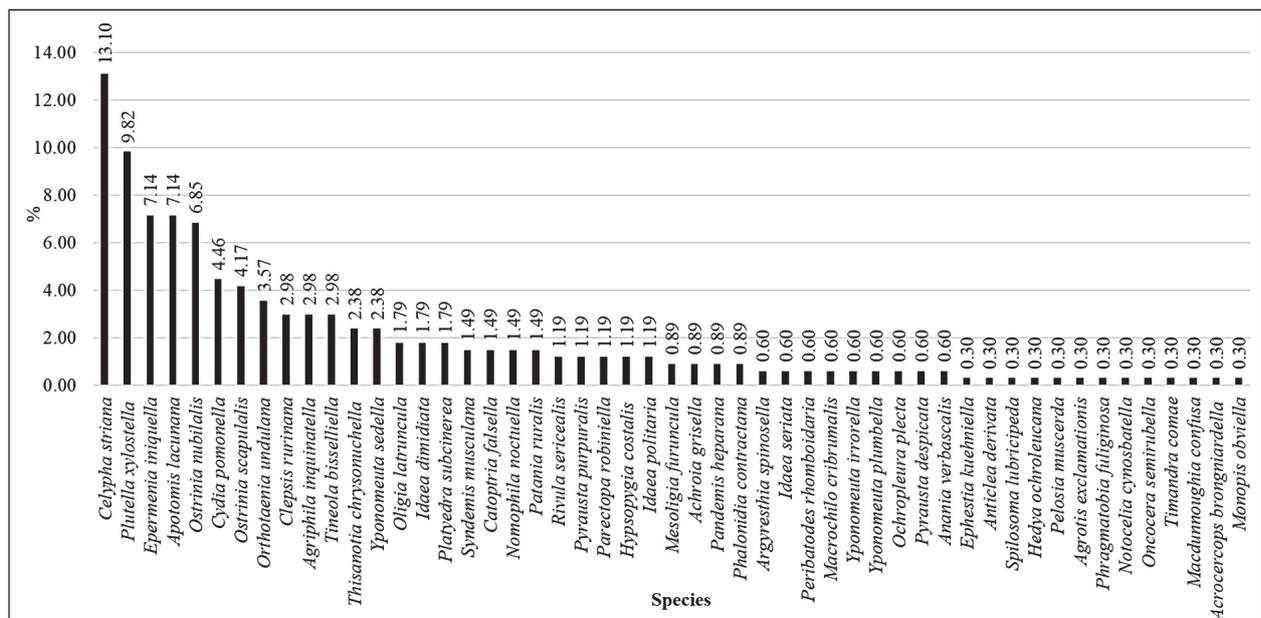


Fig. 1. Quantitative ratios of members of the Lepidoptera species identified in the samples.

(49) *Yponomeuta irrorella* (Hübner, 1796), (50) *Yponomeuta plumbella* (Denis & Schiffermüller, 1775), (51) *Yponomeuta sedella* (Treitschke, 1832).

During the sampling period, the highest frequencies of occurrence were recorded for *Celypha striana*, *Plutella xylostella*, *Epermenia iniquella*, *Apotomis lacunana*, *Ostrinia nubila*, *Cydia pomonella*, and *Orthotaenia undulana* (Fig. 1). Light-trap sampling was not conducted throughout the entire vegetation period; therefore, additional species active in autumn may also occur in the study area.

We analysed the effects of environmental variables on the efficiency of light-trap sampling of butterfly species from multiple perspectives. Based on daily individual counts per species, the results of redundancy analysis (RDA) indicated that the examined meteorological variables (daily mean, minimum, and maximum temperatures, relative humidity, and daily precipitation) significantly, though only to a limited extent, explained the daily variability of the butterfly fauna ($R^2 = 0.1453$; $R^2_{adj} = 0.07409$; $F = 2.04$; Perm. $p = 0.002$). Figure 2 clearly demonstrates that certain species—such as (7) *Apotomis lacunana*, (10) *Celypha striana*, (31) *Ostrinia scapularis*, (40) *Plutella xylostella*, and (51) *Yponomeuta sedella* are more distinctly separated in the ordination space, suggesting that their occurrence and activity are more sensitive to fluctuations in meteorological parameters. In contrast, most species are clustered near the centre of the coordinate system, indicating a more moderate response to environmental variation, at least with respect to the variables analysed.

The trend in individual abundance shows correlation with temperature extremes (minimum and maximum) and relative humidity; however, the proportion of explained variance remains relatively low ($R^2 = 0.1453$; $R^2_{adj} = 0.07409$; $F = 2.04$; Perm. $p = 0.002$). This suggests that, in addition to meteorological factors, other ecological and biotic variables (e.g., food source availability, predation, population dynamics, and anthropogenic influences) may also exert a significant impact on the composition and development of butterfly fauna during sampling.

Based on the results of canonical correspondence analysis (CCA) conducted on the same dataset, the composition of species assemblages exhibited a similarly strong relationship with meteorological variables. The first axis (eigenvalue = 0.322; $p = 0.042$) primarily reflected the negative effects of precipitation, mean temperature, and minimum temperature. This axis likely represents a gradient ranging from wet and cool to dry and warm conditions, along which several species were differentiated. *Pelosia muscerda* and *Macrochilo cribrumalis* were associated with drier, warmer periods, whereas *Spilosoma lubricipeda* and *Ephestia kuehniella* occurred in greater numbers during cooler, wetter periods.

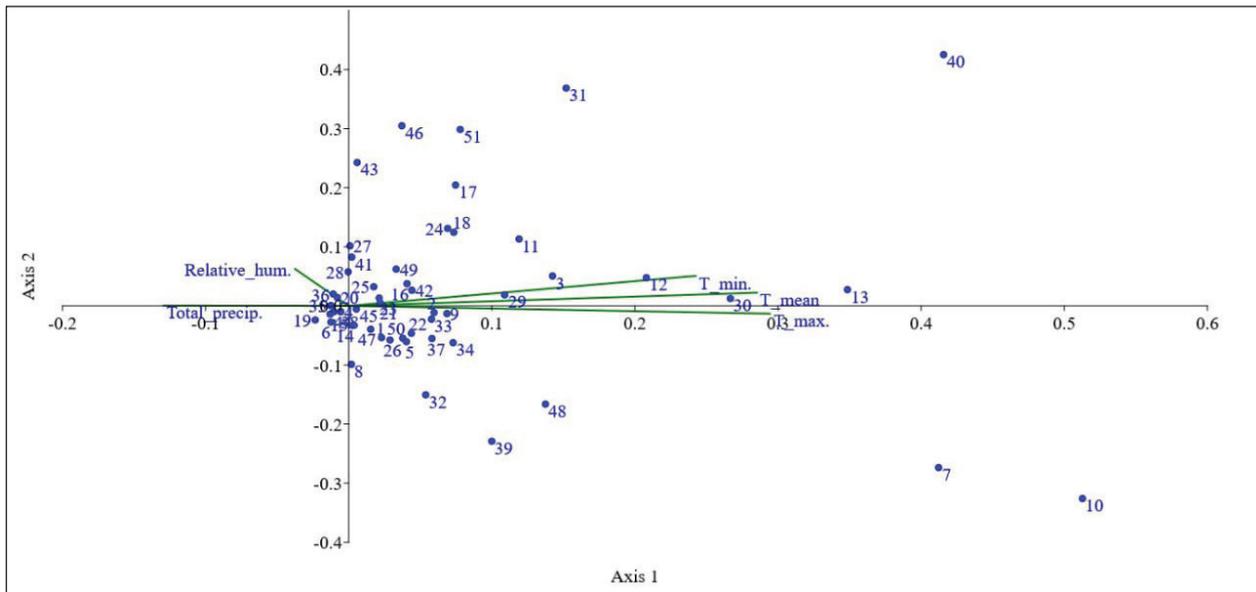


Fig. 2. Result of the redundancy analysis on the number of *Lepidoptera* species and the 5 meteorological variables studied (*T_mean* – Mean daily temperature, *T_max.* – daily maximum temperature, *T_min.* – daily minimum temperature, *Relative_hum.* – relative humidity, *Total_precip.* – total precipitation).

The second axis (eigenvalue = 0.308; $p = 0.001$) showed a strong correlation with minimum temperature, mean temperature, and relative humidity. This axis represents a gradient from warm and humid to cool and dry conditions. Species responding more favourably to higher nighttime temperatures and greater humidity (e.g., *Idaea dimidiata*, *Yponomeuta sedella*) were positioned on the positive side of the axis, while those located closer to the negative side (e.g., *Anticlea derivata*, *Argyresthia spinosella*) were associated with cooler, less humid nights.

The third axis (eigenvalue = 0.283; $p = 0.001$) exhibited a weaker and more complex pattern in relation to the environmental vectors, which may indicate that the organization of species assemblages is influenced not only by the main climatic gradient variables but also by other factors that were not examined in the present study.

In addition to the ordination analysis of daily individual numbers per species, we also compared the daily total numbers of collected butterfly species with the values of the examined meteorological parameters using a one-way analysis of variance (ANOVA). The ANOVA revealed a significant difference in the mean numbers of individuals among the groups ($F = 1113$, $df = 5.264$, $p < 0.001$). The relationship was also found to be significant in this approach ($\omega^2 = 0.954$), indicating that more than 95% of the variance in individual numbers is explained by weather variables ($\text{Vargroup} = 581.7$, $\text{Varerror} = 23.5$, $p < 0.001$; Levene's test). Daily temperature fluctuations, relative humidity, and precipitation significantly influence the flight dynamics of moths. This finding is consistent with the well-established ecological observation that temperature and humidity fundamentally determine the nocturnal activity of insects, while precipitation frequently acts as a direct limiting factor on flight and, consequently, on trapping efficiency. All these findings suggest that local climatic conditions exert a pronounced influence on the composition of butterfly communities even in the short term, which may represent an important factor when interpreting the results of population dynamics research and long-term monitoring studies.

In the correlation analysis, among the meteorological variables examined, daily average temperature ($r = 0.466$, $p < 0.01$), maximum temperature ($r = 0.455$, $p < 0.01$), and minimum temperature ($r = 0.425$, $p < 0.01$) exhibited significant positive correlations with the total number of individuals captured in light traps. From this, it can be concluded that butterfly activity increases on warmer days, resulting in higher trap catches. A weak, non-significant positive correlation was observed between relative humidity and the number of individuals ($r = 0.085$, $p = 0.58$). In contrast, a significant negative correlation was detected between daily precipitation and total daily catches ($r = -0.334$, $p < 0.05$), indicating that the number of individuals captured decreases on rainy days.

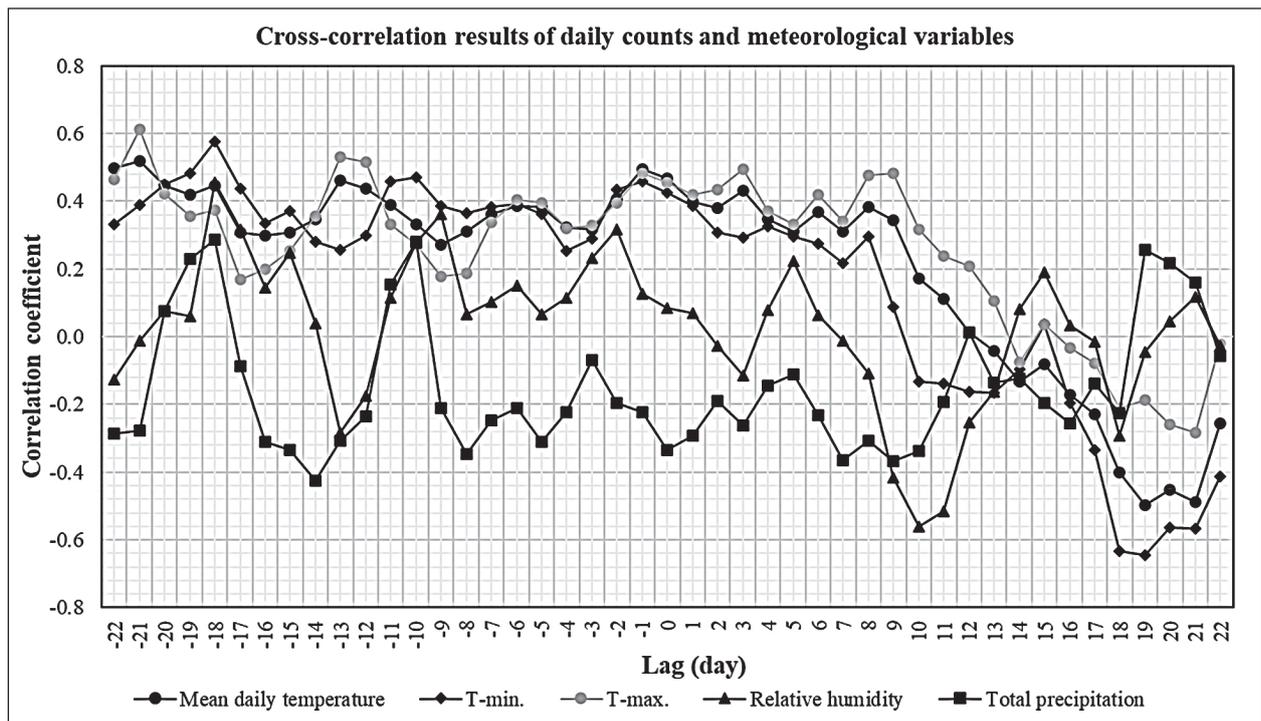


Fig. 3. Cross correlation results of daily counts and meteorological variables.

We also sought to determine whether the measured meteorological variables influenced the development of individual numbers over a longer period. To address this question, we conducted cross-correlation analyses; however, due to the relatively short sampling period, these results should be regarded as preliminary and are presented for informational purposes only.

The daily total count and the daily minimum and maximum temperatures emerged as the most significant influencing factors. Higher temperatures markedly increased butterfly flight activity in the short term (minimum temperature: $r = 0.576$, lag = -18 days, $p < 0.01$; maximum temperature: $r = 0.611$, lag = -21 days, $p < 0.01$). Relative humidity exhibited a moderate stimulating effect on moth abundance in the short term ($r = 0.456$, lag = -18 days, $p < 0.05$), whereas delayed negative correlations ($r = -0.561$, lag = 10 days, $p < 0.01$) suggested a suppressive effect of sustained humidity. Precipitation inhibited flight activity, with the strongest negative correlations observed during the immediately preceding days ($r = -0.424$, lag = -14 days, $p < 0.05$).

Conclusions. As a result of our light trap collections of butterflies conducted in the city of Mukachevo (Zakarpattia region, Ukraine) in 2024, we identified 336 individuals representing 51 species. The light trap, powered by a household light source, proved effective in revealing the fundamental structure of the local moth community; however, our findings also demonstrated that the trap's efficiency was strongly influenced by meteorological conditions. Ordination and variance analyses confirmed that temperature parameters, particularly daily minimum and maximum temperatures, were closely and significantly associated with the daily activity of moths. Based on cross-correlation analyses, we conclude that local microclimatic conditions also affect the long-term flight dynamics of moth species.

Our results align with previous studies indicating that temperature and humidity play primary roles in determining the nocturnal activity of insects, whereas precipitation can directly constrain flight and light trapping. Nevertheless, beyond meteorological factors, other ecological and anthropogenic influences, such as the availability of food sources, light pollution, and habitat characteristics, may also significantly contribute to population dynamics. In the context of light trap collections conducted in urban environments, temperature factors appear to be the principal determinants of population dynamics, while humidity and precipitation exert secondary effects.

REFERENCES

- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 1-9.
- Heriak, Yu. M. (2010). Luskokryli nadrodyny Noctuoidea (Insecta, Lepidoptera) Zakarpatskoi oblasti [Lepidoptera of the superfamily Noctuoidea (Insecta, Lepidoptera) in the Zakarpattia region]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii: Biolohiia* [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Biology], 29, 126-139. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/322677496_The_Noctuoidea_Insecta_Lepidoptera_of_the_Transcarpathian_region_in_Ukrainian [in Ukrainian].
- Heriak, Yu. M. (2012). Novi ta malovidomi vydy Noctuoidea (Lepidoptera, Insecta) Ukrainykh Karpat [New and little-known species of Noctuoidea (Lepidoptera, Insecta) of the Ukrainian Carpathians]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii: Biolohiia* [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Biology], 33, 105-119. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuu_2012_33_18 [in Ukrainian].
- Heriak, Yu. M. (2021). *Ekolohichni kompleksi noktuidnykh luskokrylykh (Lepidoptera, Noctuoidea) Ukrainykh Karpat* [Ecological complexes of Noctuoidea Lepidoptera (Lepidoptera, Noctuoidea) of the Ukrainian Carpathians]. (PhD dissertation). State Natural History Museum of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv. Retrieved from <https://eoinst.org.ua/pdf/Heriak-Yurii-dysertatsiia.pdf> [in Ukrainian].
- Jonason, D., Franze, M., & Ranius, T. (2014). Surveying Moths Using Light Traps: Effects of Weather and Time of Year. *PLoS One*, 9 (3), e92453. DOI: 10.1371/journal.pone.0092453
- Kanarskyi, Y., Geryak, Y., & Lyashenko, E. (2011). Ecogeographic structure of the moth fauna (Lepidoptera, Drepanoidea, Bombycoidea, Noctuoidea) in upper Tisa river basin and adjacent areas (Ukraine). In *The Upper Tisa River Basin: Transylvanian Review of Systematic and Ecological Research* (Vol. 11, pp.143-168). Sibiu. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/322677140_Ecogeographic_structure_of_the_moth_fauna_Lepidoptera_Drepanoidea_Bombycoidea_Noctuoidea_in_upper_Tisa_river_basin_and_adjacent_areas_Ukraine
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, Ch., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (3), 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- Legendre, P., & Legendre, L. (1998). *Numerical Ecology* (2nd English ed.). Amsterdam ; Boston; London: Elsevier.
- Liashenko, Ye. K. (2009). Vydovyi sklad, chyselnist ta biotopichnyi rozpodil brazhnykyv (Lepidoptera, Sphingidae) Zakarpattia [Species composition, abundance, and biotopic distribution of hawk moths (Lepidoptera, Sphingidae) in Transcarpathia]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii: Biolohiia* [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Biology], 25, 167-170. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/7631> [in Ukrainian].
- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2, 191-198. DOI: 10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2
- Matsiakh, I. P. (2021). Invaziini chuzhoridni patoheny yak zahroza hlobalnomu bioriznomanittiu [Invasive alien pathogens as a threat to global biodiversity]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy* [Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine], 22, 11-26. DOI: <https://doi.org/10.15421/412101> [in Ukrainian].
- Popov, S. H. (2004). Vydy dennnykh metelykyv (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea), shcho potrebuuiut okhorony v Zakarpatskii oblasti [Species of butterflies (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) that need protection in the Zakarpattia region]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii: Biolohiia* [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Biology], 15, 98-101. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/58299> [in Ukrainian].
- Steinbauer, M. J., Haslem, A., & Edwards, E. D. (2012). Using meteorological and lunar information to explain catch variability of Orthoptera and Lepidoptera from 250 W Farrow light traps. *Insect Conservation and Diversity*, 5, 367-380. DOI: 10.1111/j.1752-4598.2011.00170.x
- Szanyi, Sz., Nagy, A., & Varga, Z. (2018). Diversity and concordance in the composition of butterfly assemblages of the Transcarpathian (Bereg) plain (SW Ukraine). *Biologia*, 73, 951-964. DOI: <https://doi.org/10.2478/s11756-018-0102-x>
- Szanyi, Sz., Nagy, A., & Varga, Z. (2015). Butterfly assemblages in fragmented meadow habitats of the Pre-Carpathian lowland (Bereg plain, SW Ukraine). *Applied Ecology and Environmental Research*, 13 (3), 615-626. DOI: 10.15666/aer/1303_615626
- Vass, G., Hadnagy, I., Kohut, E., & Kolozsvári, I. (2023). Experience from a light trap Lepidoptera survey in a populated settlement: effects of meteorological factors and changes in lunar. *GEO&BIO*, 25, 121-133. DOI: <https://doi.org/10.53452/gb2509>
- Yela, J. L., & M. Holyoak. (1997). Effects of Moonlight and Meteorological Factors on Light and Bait Trap Catches of Noctuid Moths (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology*, 26 (6), 1283-1290. DOI: 10.1093/ee/26.6.1283

ВПЛИВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА МІСЬКУ ФАУНУ МЕТЕЛИКІВ: ДОСВІД ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СВІТЛОВОЇ ПАСТКИ

Коложварі С. В., Станкович А-М. П., Копор З. Г, Іллар Л. А., Гаднадь І. І.

Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці ІІ

Анотація. У ході нашого дослідження ми проводили відлови метеликів за допомогою світлопасток у одному з найбільших міст Закарпатської низовини Мукачеві. Метою було виявити склад місцевої лепідоптерофауни та дослідити вплив метеорологічних факторів (середньодобова, мінімальна та максимальна температура, відносна вологість повітря, добова кількість опадів) на кількість зібраних особин. За допомогою світлопастки вдалося зібрати 51 види метеликів, серед яких кілька добре пристосованих до міського середовища, а також види, що мають важливе агроекологічне значення (*Cydia pomonella*, *Ostrinia nubilalis*, *Plutella xylostella*). Результати ординаційного та дисперсійного аналізів показали, що метеорологічні параметри мали статистично значущий, хоча відносно помірний вплив на щоденну мінливість лепідоптерофауни. Найбільш визначальними факторами виявилися

температурні показники, особливо мінімальна та максимальна температура, тоді як вплив відносної вологості та кількості опадів був менш вираженим. Наші результати підтверджують, що ефективність відловів метеликів світлопастками у міському середовищі суттєво залежить від актуальних погодних умов, які впливають на динаміку льоту як у коротко-, так і в середньостроковій перспективі. Це підкреслює важливість комплексного врахування локального мікроклімату та метеорологічних факторів під час екологічних досліджень міської лепідоптерофауни, особливо в умовах посилення впливу змін клімату та урбанізації.

Ключові слова: *Lepidoptera*, світлова пастка, погодні умови, Мукачево, Закарпатська область.

Одержано 18.10.2025 р.
Прийнято до друку 11.12.2025 р.

УДК 502.211:582]:712.4(477.53-25)
DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352469>

Г. Ю. Темнохуд

Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка
вул. Остроградського, 2, м. Полтава, Україна, 36000
temnohud@gsuite.pnpu.edu.ua
ORCID: 0009-0006-0238-9162

Т. В. Дерев'янку

Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка
вул. Остроградського, 2, м. Полтава, Україна, 36000
derevyanko602@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5097-8299

ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДЕРЕВНОЇ РОСЛИННОСТІ ТЕРИТОРІЙ ОБМЕЖЕНОГО КОРИСТУВАННЯ М. ПОЛТАВИ ЗА ДОПОМОГОЮ I-TREE ECO

Проведено комплексну оцінку екосистемних послуг, що надаються деревною рослинністю територій обмеженого користування м. Полтави – зокрема, зеленими насадженнями на територіях закладів освіти та охорони здоров'я – із використанням програмної моделі *i-Tree Eco*, що дозволяє кількісно визначати внесок дерев у підтримання екологічної рівноваги міського середовища. Інвентаризація охопила 500 дерев, які належать до 24 видів і 13 родин та репрезентують сучасну дендрофлору міста. Виявлено, що домінують *Acer platanoides* (18,0 %), *Tilia cordata* (14,6 %) і *Aesculus hippocastanum* (10,6 %), які формують основну структуру насаджень і забезпечують найбільший обсяг екосистемних послуг. Значну частку займають *Betula pendula*, *Quercus robur*, *Populus alba*, *Fraxinus excelsior* та інші види, включно з декоративними інтродуцентами, що створює різноманітний за функціями деревостан. Середній діаметр стовбурів становить 10–40 см, висота більшості дерев 6–15 м, але збереглися окремі старі крупномірні екземпляри, важливі для біорізноманіття та культурної ідентичності міського ландшафту. За результатами моделювання встановлено, що дерева щорічно акумулюють 7,67 т вуглецю, а загальний запас становить 279,3 т, що еквівалентно зменшенню викидів CO₂ на рівні малих міських кварталів. Щорічне продукування кисню оцінено у 20,46 т, що робить насадження важливим компонентом підтримки якості повітря. Крім того, зелені насадження затримують 497,8 м³ поверхневого стоку, знижуючи ризик підтоплення і навантаження на міську зливову систему. Відновна вартість деревостанів оцінена у 42,2 млн грн, що підкреслює їхню економічну значущість та необхідність охорони. Отримані результати підтверджують, що навіть відносно невеликі зелені насадження на територіях об'єктів соціальної інфраструктури виконують важливі екосистемні функції та забезпечують суттєві екологічні й соціальні вигоди для міського середовища. Врахування цих даних дозволяє розробляти ефективні стратегії управління озелененням Полтави, оптимізувати видовий склад і підвищувати стійкість насаджень до потенційних загроз.

Ключові слова: *i-Tree Eco*, екосистемні послуги, міські дерева, Полтава, дендрофлора, управління озелененням.

Вступ. Урбанізовані території суттєво впливають на якість середовища проживання населення. Проте надмірна забудова та зростаючий антропогенний тиск спричиняють деградацію зелених насаджень та зниження їхніх функцій у міському середовищі (Смоляр, 2019). Території обмеженого користування, зокрема зелені насадження на територіях закладів освіти та охорони здоров'я, залишаються важливими осередками міського озеленення, що забезпечують регуляцію мікроклімату, очищення повітря, зменшення поверхневого стоку та інші екосистемні послуги, які підвищують комфорт і безпеку міського середовища (Панасенко, 2005; Смоляр, 2019; Marques, Alvim, & Schröder, 2022; Ordóñez et al., 2023; Скриль, 2024).

Оцінка екосистемних послуг міських дерев є пріоритетним напрямом сучасної екології та урбаністичного планування (Haase et al., 2014; Moser, Rahma, Pretzsch, Pauleit, & Rötzer, 2017). Методи біоіндикації, що використовуються для оцінки загального стану насаджень (Смоляр, 2019), забезпечують базову інформацію, проте для комплексної кількісної оцінки екологічних і економічних вигод застосовують спеціалізовані програмні моделі. Однією з найпоширеніших є i-Tree Eco, розроблена Службою лісів США, яка дозволяє визначати біометричні параметри дерев, їхній внесок у зменшення забруднення повітря, акумуляцію вуглецю, економію енергії та інші показники (Roy, Byrne, & Pickering, 2012).

Попередні дослідження в Україні здебільшого зосереджувалися на видовому складі та біоіндикації стану насаджень (Смоляр, 2019; Орловський, 2025), проте бракує робіт, що комплексно оцінюють екосистемні послуги дерев територій обмеженого користування з використанням i-Tree Eco. Міжнародні дослідження доводять значний потенціал цієї моделі для управління міським озелененням (Roy, Byrne, & Pickering, 2012), однак їх результати потребують локальної адаптації з урахуванням регіональних кліматичних, соціальних і просторових особливостей. Полтава має розгалужену систему зелених насаджень, зокрема на територіях навчальних і медичних закладів, які часто залишаються поза увагою при плануванні міської екологічної політики (Байрак, 2007; Смоляр, 2019). Недостатня системна оцінка їхніх екосистемних функцій обмежує можливості оптимізації догляду та розвитку цих насаджень.

Об'єкт дослідження – деревна рослинність територій обмеженого користування м. Полтави, зокрема зелені насадження на територіях закладів освіти та охорони здоров'я.

Предмет дослідження - екосистемні послуги, які надають дерева на цих територіях, та їх кількісна і економічна оцінка за допомогою моделі i-Tree Eco.

Мета дослідження – оцінити екосистемні послуги деревної рослинності територій обмеженого користування м. Полтави з використанням моделі i-Tree Eco.

Матеріали і методи. Дослідження проведено у м. Полтава, що розташоване в Лівобережному Лісостепу України і характеризується помірно-континентальним кліматом із середньорічною температурою +7,5...+8,0 °C та кількістю опадів 520–560 мм (Байрак, 2007). Для забезпечення репрезентативності вибірки було обстежено 7 шкільних і 3 медичні заклади, розташовані в різних районах Полтави, які відрізнялися інтенсивністю забудови та характером озеленення. Інвентаризація деревної рослинності проводилася у 2025 р. відповідно до протоколів збору даних, рекомендованих для застосування у моделі i-Tree Eco (Roy, Byrne, & Pickering, 2012). Модель i-Tree Eco широко використовується у міжнародних дослідженнях для оцінки екосистемних послуг дерев у різних типах міських середовищ (Song, Kim, Mayer, He, & Tian, 2020). Всього було обліковано 500 дерев, що репрезентують сучасну дендрофлору територій обмеженого користування Полтави. Для кожного екземпляра визначали видову належність, діаметр стовбура на висоті 1,37 м (DBH), загальну висоту дерева, висоту до основи крони, ширину крони у напрямках Пн–Пд і Сх–Зх, відстань та напрямок до найближчих будівель, а також відсоток усихання та дефектів крони (Crown Dieback, Crown Missing). Визначення видів здійснювали за допомогою визначників дендрофлори України, а біометричні параметри порівнювали з літературними даними для контролю достовірності (Hiron, & Sjöman, 2019). Отримані дані вводилися до моделі i-Tree Eco, яка є одним із найбільш поширених інструментів кількісної оцінки екосистемних послуг міських дерев (Roy, Byrne, & Pickering, 2012). Модель розраховує щорічне поглинання та накопичення вуглецю, продукування кисню, очищення повітря від забруднюючих речовин, зменшення поверхневого стоку, енергозбереження та економічну вартість наданих послуг. Для адаптації результатів до українських умов були використані локальні кліматичні показники з найближчої метеостанції (ID 335060-99999, GPM), розташованої приблизно за 8 км від території дослідження, а також актуальні тарифи на електроенергію – 4,32 грн/кВт·год (Постанова Кабінету Міністрів України, 2019) та вартість вуглецю для розрахунків прийнята на рівні 3500 грн/т CO₂ (≈ 72,5 € за курсом НБУ на липень 2025 р.). Для адаптації міжнародних оці-

нок соціальної вартості вуглецю до умов України було обрано нижню межу сучасних мета-аналізів (Tol, 2023), що враховує відмінності в економічному розвитку регіону та забезпечує консервативність оцінки екосистемних послуг. Статистична обробка проводилася шляхом розрахунку питомої ваги видів, середніх діаметрів, висот і ширини крон дерев. Результати аналізу порівнювали з даними попередніх досліджень структури зелених насаджень Полтави (Смоляр, 2019; Орловський, 2025) та міжнародними оцінками екосистемних послуг урбаністичних деревостанів (Moser, Rahman, Pretzsch, Pauleit, & Rötzer, 2017). Отримані результати підтвердили репрезентативність вибірки та надійність застосованих методів (Hand, & Doick, 2019; Gupta et al., 2024; Sharma, Morgenroth, Richards, & Ye, 2025).

Результати та їх обговорення. У результаті проведеного дослідження встановлено, що деревні насадження територій обмеженого користування м. Полтави характеризуються середнім рівнем видового різноманіття, яке є типовим для міського озеленення Лівобережного Лісостепу. В межах досліджених об'єктів було обліковано 500 дерев, які належать до 24 видів, 19 родів та 13 родин. Домінуючими видами є *Acer platanoides* (18,0%), *Tilia cordata* (14,6%) та *Aesculus hippocastanum* (10,6%) (рис. 1). Висока частка цих порід та їх домінування у структурі міських деревостанів підтверджує результати попередніх досліджень структури озеленення Полтави (Смоляр, 2019; Орловський, 2025), а також узгоджується з даними для інших міст України, де клени, липи та каштани виступають ключовими видами у формуванні зелених насаджень (Панасенко, 2005; Дерев'яно, 2016). Значну частку також становлять *Betula pendula*, *Quercus robur*, *Populus alba*, *Fraxinus excelsior*, що вказує на різноманітність функціональних груп у складі насаджень (рис. 1). Видовий склад підтверджує переважання аборигенних листяних порід у поєднанні з адаптованими інтродуцентами, що забезпечує стабільність екосистемних функцій у міських умовах (Hirons, & Sjöman, 2019).

Аналіз біометричних показників дерев показав, що переважають середньовікові екземпляри з діаметрами стовбурів у межах 10–40 см та висотою 6–15 м, що відповідає оптимальним параметрам для умов територій закладів освіти та охорони здоров'я, де простір для розвитку обмежений. Присутність окремих крупномірних дерев *Juglans regia* і *Populus nigra* з DBH понад 70 см і висотою до 25 м свідчить про наявність цінних старих дерев, які виконують важливу екологічну функцію (Nowak, & Crane, 2002) та культурну роль у міському середовищі.

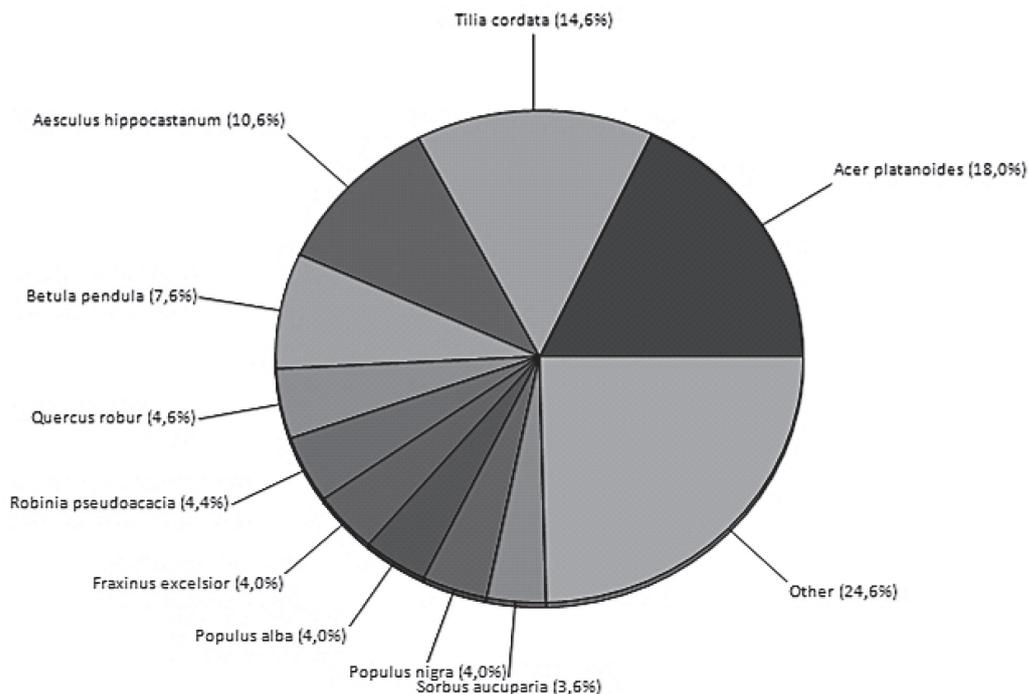


Рис. 1. Видовий склад дерев на досліджених територіях.

Оцінка екосистемних послуг за допомогою моделі i-Tree Eco показала, що деревні насадження цих об'єктів виконують важливу роль у вуглецевому балансі міста. Загальний запас вуглецю становить близько 279,3 т, а щорічне його поглинання – 7,67 т, що відповідає економічному еквіваленту 27,4 тис. грн/рік (рис. 3). Ці показники узгоджуються з діапазонами, наведеними у європейських дослідженнях екосистемних послуг міських дерев (Haase, 2014). Найбільший внесок у накопичення та секвестрацію вуглецю забезпечують *Acer platanoides*, *Tilia cordata* та *Aesculus hippocastanum*, що підтверджує їхню екологічну значущість і домінування у складі досліджених насаджень (рис. 2).

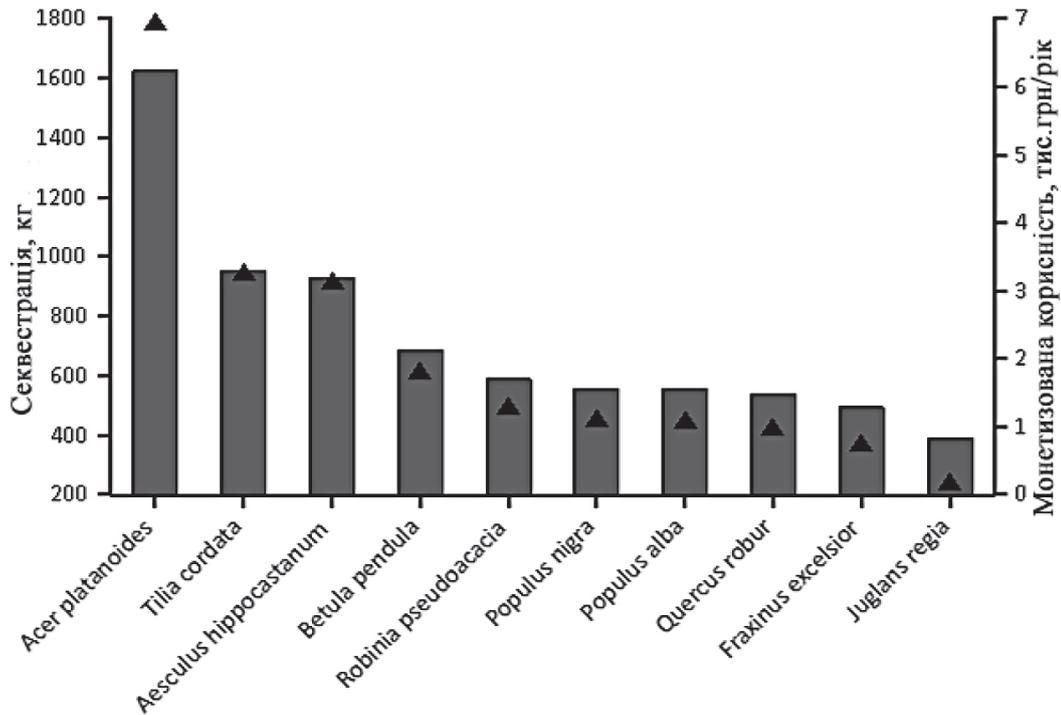


Рис. 2. Орієнтовна секвестрація вуглецю та вартість цієї екосистемної послуги стосовно основних видів.

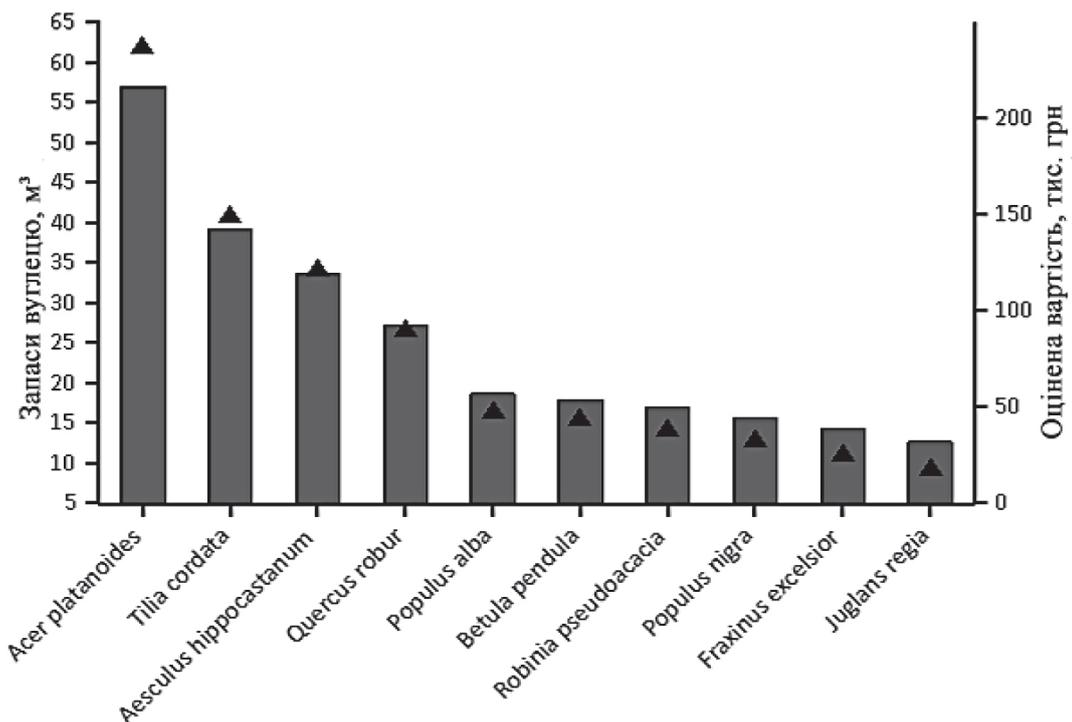


Рис. 3. Оцінені запаси вуглецю у деревостанах досліджуваних ділянок.

Таблиця 1

Провідні види дерев м. Полтави за обсягами наданих екосистемних послуг

Вид	Відсоток популяції	Відсоток площі листя	Показник важливості виду *
<i>Acer platanoides</i>	18,0	23,8	41,8
<i>Tilia cordata</i>	14,6	21,9	36,5
<i>Aesculus hippocastanum</i>	10,6	11,7	22,3
<i>Betula pendula</i>	7,6	5,5	13,1
<i>Populus alba</i>	4,0	6,7	10,7
<i>Quercus robur</i>	4,6	5,7	10,3
<i>Fraxinus excelsior</i>	4,0	5,0	9,0
<i>Populus nigra</i>	4,0	3,2	7,2

* – Показник важливості виду обчислювався як сума відсотку популяції та відсоткової площі листя і характеризує домінування виду в структурі міських насаджень.

Щорічна продукція кисню деревами територій дослідження, за даними моделі i-Tree Eco, становить 20,46 т, що є важливим внеском у підтримку якості міського повітря. Лідерами з продукування кисню є *Acer platanoides*, *Tilia cordata* і *Aesculus hippocastanum*, що пов'язано з великою площею листкового апарату та високим фотосинтетичним потенціалом (табл. 2). Ці результати узгоджуються з літературними даними, які підтверджують ключову роль дерев з розвинутою кроною у формуванні екосистемних послуг міських насаджень (Hirons, Sjöman, 2019).

Таблиця 2

Види дерев з найвищими показниками річного продукування кисню

Вид	Кисень (м ³)	Загальна секвестрація вуглецю (кг/рік)	Кількість дерев	Площа листя (гектар)
<i>Acer platanoides</i>	4,76	1784,23	90	6,28
<i>Tilia cordata</i>	2,51	941,25	73	5,78
<i>Aesculus hippocastanum</i>	2,43	911,69	53	3,08
<i>Betula pendula</i>	1,62	606,77	38	1,45
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1,30	488,61	22	0,67
<i>Populus nigra</i>	1,19	446,53	20	0,85
<i>Populus alba</i>	1,18	444,08	20	1,76
<i>Quercus robur</i>	1,12	419,61	23	1,51
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,98	368,22	20	1,33
<i>Juglans regia</i>	0,63	237,90	9	0,31
<i>Sorbus aucuparia</i>	0,41	153,77	18	0,16
<i>Catalpa bignonioides</i>	0,32	120,65	10	0,46
<i>Acer negundo</i>	0,31	117,89	6	0,31
<i>Prunus cerasifera</i>	0,26	97,36	12	0,08
<i>Salix alba</i>	0,21	80,40	5	0,22
<i>Picea abies</i>	0,20	73,92	10	0,70
<i>Carpinus betulus</i>	0,18	68,98	12	0,43
<i>Thuja occidentalis</i>	0,18	67,40	12	0,32
<i>Syringa vulgaris</i>	0,18	66,47	13	0,13
<i>Malus domestica</i>	0,15	54,40	8	0,04

Важливою функцією дерев є регуляція гідрологічного режиму, зокрема зменшення поверхневого стоку дощових вод. Встановлено, що насадження запобігають утворенню 497,8 м³ поверхневого стоку на рік, що знижує ризик підтоплень і навантаження на зливу каналізацію. Економічний ефект від цієї послуги оцінюється у 34,2 тис. грн/рік (рис. 4). От-

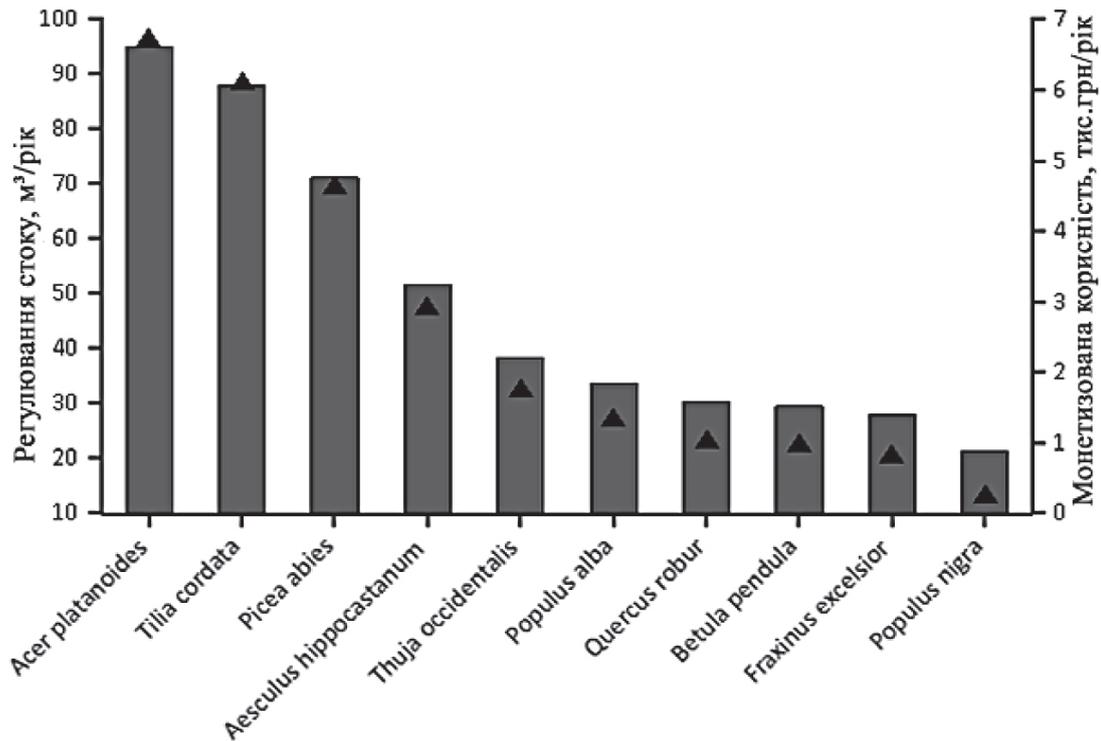


Рис. 4. Обсяги регулювання поверхневого стоку та вартість цієї екосистемної послуги стосовно видів із найбільшим загальним впливом.

римані результати узгоджуються з літературними даними, які підкреслюють важливу роль міських дерев у регуляції гідрологічного режиму (Roy, Byrne, & Pickering, 2012).

За результатами моделювання i-Tree Eco встановлено, що щорічна економічна оцінка екосистемних послуг, розрахована лише для тих функцій, для яких модель надає грошовий еквівалент, становить приблизно 61,6 тис. грн/рік.

Ця сума включає:

- вартість секвестрації вуглецю – 27,4 тис. грн/рік,
- вартість регуляції поверхневого стоку – 34,2 тис. грн/рік.

Відновна вартість деревостанів становить 41,9 млн грн. Найбільшу економічну цінність мають дерева *Acer platanoides* та *Tilia cordata*, що узгоджується з їхніми високими біометричними параметрами і часткою у складі насаджень (рис. 5). Ці результати підтверджують, що навіть невеликі території забезпечують вагомими екологічними та соціально-економічними вигодами для міського середовища (Hirons, & Sjöman, 2019).

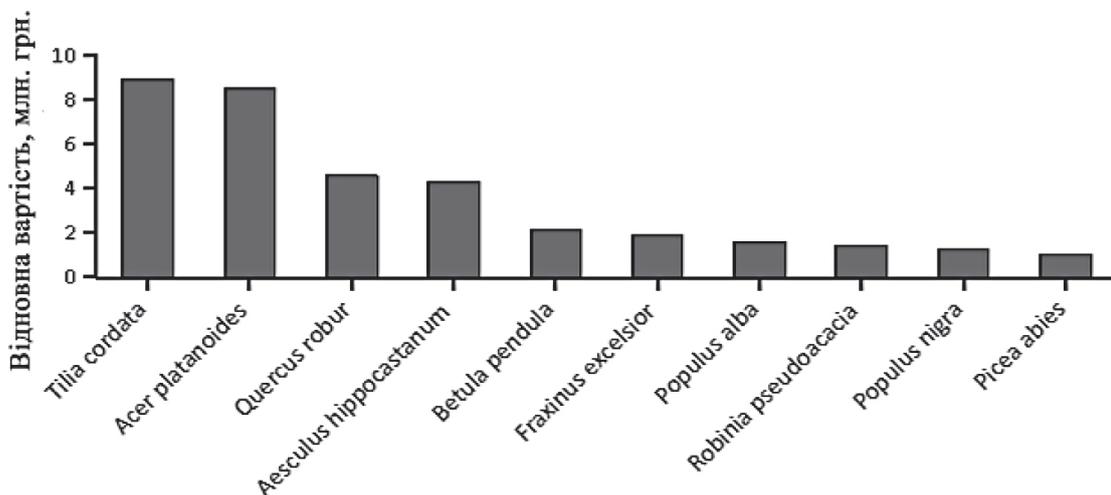


Рис. 5. Види рослин з найбільшою відновною вартістю.

Отримані результати узгоджуються з сучасними дослідженнями, які підкреслюють ключову роль дерев у регулюванні міського мікроклімату, зменшенні забруднення повітря та поліпшенні умов життя населення (Roy, Byrne, & Pickering, 2012; Moser, Rahman, Pretzsch, Pauleit, & Rötzer, 2017).

Загалом отримані дані підтверджують, що зелені насадження територій обмеженого користування, незважаючи на невелику площу, забезпечують вагомі екологічні та економічні вигоди. Науково обґрунтована підтримка та розвиток цих насаджень повинні стати складовою міської стратегії управління озелененням Полтави, що узгоджується із сучасними концепціями інтегрованого управління міськими зеленими зонами у контексті сталого розвитку (Hirons, & Sjöman, 2019; Смоляр, 2019).

Висновки. Проведене дослідження деревної рослинності територій закладів освіти і охорони здоров'я м. Полтави за допомогою моделі i-Tree Eco дозволило отримати комплексні дані про структуру, функціональні характеристики та екосистемні послуги міських насаджень. Виявлено, що на обстежених територіях домінують види *Acer platanoides* (18,0 %), *Tilia cordata* (14,6 %) та *Aesculus hippocastanum* (10,6 %). Видовий склад відзначається присутністю адаптованих інтродуцентів, проте зберігає співвідношення з аборигенними видами, що забезпечує екологічну стабільність досліджених угруповань.

Загальний запас вуглецю у деревостані досліджених територій становить близько 279,3 т, а річна секвестрація – 7,67 т. Ці показники підтверджують, що навіть локальні зелені насадження забезпечують суттєве зниження концентрації CO₂ у міському середовищі та можуть сприяти пом'якшенню кліматичних змін на локальному рівні. Річне продукування кисню оцінено в 20,46 т, а обсяг перехопленого поверхневого стоку – 497,8 м³, що підтверджує ключову роль дерев у підтриманні якості повітря та регуляції гідрологічного режиму міських екосистем.

Отримані результати підтверджують необхідність збереження високої видової різноманітності та пріоритетності висаджування місцевих стійких деревних видів, особливо на територіях соціальної інфраструктури. Проведене дослідження підтверджує ефективність використання i-Tree Eco для кількісної оцінки екосистемних послуг міських деревостанів, що може бути застосовано для планування та оптимізації озеленення Полтави та інших міст із подібними природно-кліматичними умовами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Байрак О. М., Самородов В. М., Панасенко Т. В. Парки Полтавщини: історія створення, сучасний стан дендрофлори, шляхи збереження і розвитку. Полтава : Верстка, 2007. 276 с.
- Дерев'яно Т. В. Екологічна характеристика дендрофлори зелених насаджень мікрорайону «Алмазний» (м. Полтава). *Біологія та екологія*. 2016. Т. 2, № 2. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.33989/2414-9810.2016.2.2.180339>
- Орловський О. В. Вітальність дерев в урбаністичних ценозах Полтави залежно від антропогенного навантаження : дис. ... д-ра філософії : 03.00.05 / Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка. Полтава, 2025. 180 с.
- Панасенко Т. В. Санітарногігієнічні та оздоровчі властивості дерев та кущів. *Проблеми відтворення та охорони біорізноманітності України* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Полтава, 2005). Полтава, 2005. С. 34–35.
- Про затвердження Положення про покладення спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії : Постанова Кабінету Міністрів України від 05.06.2019 № 483 (зі змінами станом на 2025 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2019-%D0%BF#Text>
- Скриль А. М. Зелені підходи до формування екологічних кварталів в центральній історичній частині м. Полтава. Полтава : ПНПУ ім. В. Г. Короленка, 2024. 65 с.
- Смоляр Н. О. Зелені насадження Полтави в контексті стратегії розвитку міста. *Архітектура: естетика+екологія+економіка* : тези IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава, 2019). Полтава, 2019. С. 122–123.
- Gupta A., Chen X., Rizzo J., Verma S., Kochar K., Saligrama V. GreenScan: Towards large-scale monitoring of urban tree health using mobile sensing. *IEEE Sensors Journal*. 2024. Vol. 93. 128556. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3397490>
- Haase D., Larondelle N., Andersson E., Artmann M., Borgström S., Breuste J., Gomez-Baggethun E., Elmquist T. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *AMBIO*. 2014. Vol. 43 (4). P. 413–433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>
- Hand K. L., Doick K. J. Understanding the role of urban tree management on ecosystem services: A Research Note based on UK iTree Eco studies. *Forestry Commission Research Note*. 2019. P. 1–45.
- Hirons A. D., Sjöman H. Tree species selection for green infrastructure: A guide for specifiers. Bristol: Trees and Design Action Group, 2019. 400 p.
- Marques A. L., Alvim A. T. B., Schröder J. Ecosystem services and urban planning: A review of the contribution of the concept to adaptation in urban areas. *Sustainability*. 2022. Vol. 14 (4). 2391. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14042391>

- Moser A., Rahman M. A., Pretzsch H., Pauleit S., Rötzer T. Inter- and intraannual growth patterns of urban small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) at two public squares with contrasting microclimatic conditions. *International Journal of Biometeorology*. 2017. Vol. 61 (8). P. 1421–1435. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1290-0>
- Nowak D. J., Crane D. E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*. 2002. Vol. 116 (3). P. 381–389. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
- Ordóñez C., Threlfall C. G., Kendal D., Baumann J., Sonkkila C., Hochuli D. F., van der Ree R., Livesley S. J. Quantifying the importance of urban trees to people and nature through tree removal experiments. *People and Nature*. 2023. Vol. 5. P. 1316–1335. DOI: <https://doi.org/10.1002/pan3.10509>
- Roy S., Byrne J., Pickering C. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006>
- Sharma G., Morgenroth J., Richards D. R., Ye N. Advancing urban forest and ecosystem service assessment through the integration of remote sensing and i-Tree Eco: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2025. Vol. 104. 128659. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128659>
- Song P., Kim G., Mayer A., He R., Tian G. Assessing the ecosystem services of various types of urban green spaces based on i-Tree Eco. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. 1630. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12041630>
- Tol R. S. J. Social cost of carbon estimates have increased over time. *Nature Climate Change*. 2023. Vol. 13 (6). P. 532–536. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01680-x>
- Vashist M., Kumar T. V., Singh S. K. Assessment of air quality benefits of vegetation in an urban-industrial region of India by integrating air monitoring with i-Tree Eco model. *CLEAN – Soil, Air, Water*. 2024. Vol. 52 (5). 2300198. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.202300198>

ECOSYSTEM SERVICES OF WOODY VEGETATION IN RESTRICTED-USE AREAS OF POLTAVA ASSESSED WITH I-TREE ECO

Temnokhud H., Derevianko T.

Poltava V. G. Korolenko National Pedagogical University

*A comprehensive assessment of ecosystem services provided by woody vegetation in restricted-use areas of Poltava – specifically, green spaces on the grounds of education and healthcare institutions – was conducted using the i-Tree Eco software model, which enables quantitative determination of the contribution of trees to maintaining the ecological balance of the urban environment. The inventory covered 500 trees belonging to 24 species and 13 families, representing the current town's dendroflora. It was found that *Acer platanoides* (18.0%), *Tilia cordata* (14.6%), and *Aesculus hippocastanum* (10.6%) dominate, forming the main structure of the plantings and providing the largest share of ecosystem services. A significant proportion is also occupied by *Betula pendula*, *Quercus robur*, *Populus alba*, *Fraxinus excelsior*, and other species, including ornamental introducents, creating a functionally diverse tree stand. The average trunk diameter is 10–40 cm, and the height of most trees is 6–15 m, though some old, large specimens have been preserved, which are important for biodiversity and the cultural identity of the urban landscape. Modeling results showed that trees annually sequester 7.67 t of carbon, with a total carbon storage of 279.3 t – equivalent to reducing CO₂ emissions at the level of small urban neighborhoods. Annual oxygen production was estimated at 20.46 t, making the plantings an important component in maintaining air quality. In addition, the green spaces intercept 497.8 m³ of surface runoff, reducing the risk of flooding and the load on the urban stormwater system. The replacement value of the tree stands was estimated at UAH 42.2 million, highlighting their economic importance and the need for conservation. The results confirm that even relatively small green areas within social infrastructure facilities perform important ecosystem functions and provide substantial ecological and social benefits to the urban environment. Incorporating these data allows for the development of effective green space management strategies in Poltava, optimizing species composition and increasing the resilience of plantings to potential threats.*

Keywords: *i-Tree Eco, ecosystem services, urban trees, Poltava, dendroflora, green space management.*

REFERENCES

- Bairak, O. M., Samorodov, V. M., & Panasenko, T. V. (2007). *Parky Poltavshchyny: istoriia stvorennia, suchasnyi stan dendroflory, shliakhy zberezhenia i rozvytku* [Parks of Poltava Region: History of Creation, Current State of Dendroflora, Ways of Preservation and Development]. Poltava: Verstka. [in Ukrainian].
- Derevyanko, T. V. (2016). Ekolohichna kharakterystyka dendroflory zelenykh nasadzen mikroraionu Almaznyi (m. Poltava) [Ecological characteristics of the dendroflora of green plantations in the Almaznyi residential area (Poltava)]. *Biolojiia ta ekolohiia* [Biology & Ecology], 2(2), 22–27. DOI: <https://doi.org/10.33989/2414-9810.2016.2.2.180339> [in Ukrainian].
- Gupta, A., Chen, X., Rizzo, J., Verma, S., Kochar, K., & Saligrama, V. (2024). GreenScan: Towards large-scale monitoring of urban tree health using mobile sensing. *IEEE Sensors Journal*, 93, 128556. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3397490>

- Haase, D., Larondelle, N., Andersson, E., Artmann, M., Borgström, S., Breuste, J. ... Elmqvist, T. (2014). A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *AMBIO*, 43(4), 413-433. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>
- Hand, K. L., & Doick, K. J. (2019). *Understanding the role of urban tree management on ecosystem services: A research note based on UK i-Tree Eco studies* (Forestry Commission Research Note). Bristol: Forestry Commission.
- Hirons, A. D., & Sjöman, H. (2019). *Tree species selection for green infrastructure: A guide for specifiers*. Bristol: Trees and Design Action Group.
- Marques, A. L., Alvim, A. T. B., & Schroder, J. (2022). Ecosystem services and urban planning: A review of the contribution of the concept to adaptation in urban areas. *Sustainability*, 14(4), 2391. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14042391>
- Moser, A., Rahman, M. A., Pretzsch, H., Pauleit, S., & Rötzer, T. (2017). Inter- and intraannual growth patterns of urban small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) at two public squares with contrasting microclimatic conditions. *International Journal of Biometeorology*, 61(8), 1421-1435. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1290-0>
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381-389. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
- Ordoñez, C., Threlfall, C. G., Kendal, D., Baumann, J., Sonkkila, C., Hochuli, D. F. ... Livesley, S. J. (2023). Quantifying the importance of urban trees to people and nature through tree removal experiments. *People and Nature*, 5, 1316-1335. DOI: <https://doi.org/10.1002/pan3.10509>
- Orlovskiy, O. V. (2025). *Vitalnist derev v urbanistychnykh tsenozakh Poltavy zalezno vid antropohennoho navantazhennia* [Vitality of trees in urban cenoses of Poltava depending on anthropogenic load] (PhD dissertation). V. G. Korolenko Poltava National Pedagogical University, Poltava, Ukraine [in Ukrainian].
- Panasenko, T. V. (2005). Sanitarnohigienichni ta ozdorovchi vlastyvyosti derev ta kushchiv [Sanitary-hygienic and health-improving properties of trees and shrubs]. In *Problemy vidtvorennia ta okhorony bioriznomanittia Ukrainy* [Problems of biodiversity restoration and conservation of Ukraine]: Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Conference (pp. 34-35). Poltava [in Ukrainian].
- Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy (2019). *Pro zatverdzhennia Polozhennia pro pokladennia spetsialnykh oboviazkiv na uchasnykiv rynku elektrychnoi enerhii dlia zabezpechennia zahalnosuspilnykh interesiv u protsesi funktsionuvannia rynku elektrychnoi enerhii* [On approval of the Regulation on imposing special obligations on electricity market participants to ensure public interests in the functioning of the electricity market]: vid 05.06.2019 № 483 (zi zminamy stanom na 2025 r.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2019-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
- Roy, S., Byrne, J., & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(4), 351-363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006>
- Sharma, G., Morgenroth, J., Richards, D. R., & Ye, N. (2025). Advancing urban forest and ecosystem service assessment through the integration of remote sensing and i-Tree Eco: A systematic review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 104, 128659. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128659>
- Skryl, A. M. (2024). *Zeleni pidkhody do formuvannia ekolohichnykh kvartaliv v tsentralnii istorychnii chastyni m. Poltava* [Green approaches to the formation of ecological quarters in the central historical part of Poltava]. Poltava: V. G. Korolenko PNPU [in Ukrainian].
- Smoliar, N. O. (2019). Zeleni nasadzhennia Poltavy v konteksti stratehii rozvytku mista [Green plantings of Poltava in the context of city development strategy]. In *Arkhitektura: Estetyka+Ekolohiia+Ekonomika* [Architecture: Aesthetics+Ecology+Economics], Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference (pp. 122-123). Poltava [in Ukrainian].
- Song, P., Kim, G., Mayer, A., He, R., & Tian, G. (2020). Assessing the ecosystem services of various types of urban green spaces based on i-Tree Eco. *Sustainability*, 12, 1630. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12041630>
- Tol, R. S. J. (2023). Social cost of carbon estimates have increased over time. *Nature Climate Change*, 13(6), 532-536. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01680-x>
- Vashist, M., Kumar, T. V., & Singh, S. K. (2024). Assessment of air quality benefits of vegetation in an urban-industrial region of India by integrating air monitoring with i-Tree Eco model. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 52(5), 2300198. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.202300198>

Одержано 23.12.2025 р.
Прийнято до друку 26.01.2026 р.

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

УДК 581.14:534.321

DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352472>

В. Р. Сагайдак

Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка
вул. Остроградського, 2, м. Полтава, 36000, Україна
v_sahaidak@gsuite.pnpu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4623-6399

Л. М. Гомля

Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка
вул. Остроградського, 2, м. Полтава, 36000, Україна
gomyaltm@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0462-9338

В. М. Перерва

Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка
вул. Остроградського, 2, м. Полтава, 36000, Україна
wladprerwa28@gmail.com
ORCID: 0009-0003-5221-4297

Д. А. Кононенко

Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка
вул. Остроградського, 2, м. Полтава, 36000, Україна
denchic1234567d@gmail.com
ORCID: 0009-0007-2331-2727

О. О. Герус

Ліцей №14 «Здоров'я» Полтавської міської ради
вул. Пилипа Орлика, 30, м. Полтава, 36000, Україна
audiolover2007@gmail.com

ВПЛИВ ЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ РІЗНОЇ ЧАСТОТИ НА РАННІ ЕТАПИ ОНТОГЕНЕЗУ КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН

У статті представлено результати експериментального дослідження впливу звукових коливань фіксованої частоти на ранні етапи розвитку проростків культурних рослин. Метою роботи було з'ясувати, чи має акустичний фактор частотно-залежний характер дії та чи відрізняється реакція різних видів/сортів на стимуляцію звуком. Тест-об'єктами слугували насіння *Phaseolus vulgaris* L. сорту «Сідерал», *Cucumis sativus* L. сорту «Конкурент», *Pisum sativum* L. сорту «Шуга бон» та *Triticum vulgare* Vill. сорту «Смуглянка». Експеримент включав контроль (без додаткового звукового впливу) і два піддослідні варіанти з експозицією 1 кГц та 10 кГц. Звукові коливання подавалися щоденно по 3 години на добу, починаючи із замочування насіння; інтенсивність звуку у зоні експозиції становила 82 дБ, рівень фонового шуму – 36 дБ. Всі варіанти утримувалися за однакових умов освітлення та температури 19 С у герметичних ємностях на фільтрувальному папері. Основним кількісним показником інтенсивності раннього розвитку була довжина коренів проростків, вимірювання якої проводили з третьої доби експерименту.

Отримані результати засвідчили наявність частотно-залежного ефекту: для огірка, гороху та пшениці більш виражену стимулюючу дію демонструвала частота 10 кГц порівняно з 1 кГц і контролем. Горох посівний виявився найбільш чутливим тест-об'єктом: на фінальному етапі середня довжина коренів у варіанті 10 кГц становила 5,25 см, тоді як у контролі – 1,9 см. Для квасолі встановлено фазову реакцію: на початкових етапах акустична дія супроводжувалася пригніченням росту порівняно з контролем, однак на пізніших етапах спостерігався перехід до стимуляції. Отримані дані підтверджують перспективність акустичної стимуляції як потенційного екологічного інструменту регуляції раннього росту культурних рос-

лин та вказують на необхідність подальшого уточнення оптимальних параметрів частоти і режиму експозиції для різних видів.

Ключові слова: акустична стимуляція, частота звуку, проростки, довжина кореня, *Phaseolus vulgaris* L., *Cucumis sativus* L., *Pisum sativum* L., *Triticum vulgare* Vill.

Вступ. Насіння та його якість є одним із ключових чинників, що визначають рівень врожайності та якість сільськогосподарської продукції, оскільки саме насіння виступає носієм біологічних і сортових властивостей майбутньої рослини (Шульгіна (Ред.), 1989). Підвищення врожайності за умов мінімізації витрат і зменшення антропоїчного навантаження на довкілля є одним із ключових викликів сучасного агровиробництва. Сьогодні особливого розвитку набувають підходи органічного землеробства, у межах яких обмежується або забороняється використання синтетичних добрив, пестицидів і регуляторів росту (Камінський, 2014; Ласло, 2009). За таких умов актуальним є пошук альтернативних методів стимуляції ростових процесів, які поєднували б доступність, економічність та екологічну безпечність.

Серед перспективних фізичних чинників впливу на розвиток рослин розглядають акустичні коливання. Низкою досліджень показано, що рослини виявляють виражену реакцію на акустичні стимули, які здатні модифікувати їхній фізіологічний стан та впливати на інтенсивність ростових процесів. Такі ефекти було продемонстровано в роботах різних закордонних дослідницьких груп (Chowdhury, Lim, & Bae, 2014; Creath & Schwartz, 2004; Gagliano, Mancuso, & Robert, 2012; Uchida, & Yamamoto, 2002). Однак сучасні наукові дані щодо параметрів такого впливу, зокрема частотної залежності та видової специфіки реакції, залишаються фрагментарними.

У вітчизняних наукових дослідженнях переважно зосереджено увагу на вивченні впливу ультразвукового випромінювання на ріст і розвиток окремих видів рослин. Так, у роботах низки авторів (Мельник, Ружинська, Фесенко, & Ільєнко, 2018) експериментально підтверджено позитивний вплив ультразвукового опромінення певної частоти на ріст і розвиток зерен пшениці (*Triticum aestivum* L.) та ячменю (*Hordeum vulgare* L.). Показано, що ефективність ультразвукового впливу залежить від поєднання частоти випромінювання, потужності випромінювача та тривалості обробки насінневого матеріалу. Встановлення оптимальних параметрів ультразвукового опромінення є визначальним чинником досягнення стимулюючого ефекту, тоді як відхилення від оптимуму може призводити до зниження інтенсивності ростових процесів. Ймовірно, в основі виявлених ефектів лежить активація метаболічних і фізіологічних процесів у клітинах зародка. Разом з тим питання впливу звукових коливань чутного діапазону на наступні етапи онтогенезу рослин потребують подальшого дослідження.

З огляду на те, що відмінності між звуковими сигналами значною мірою визначаються їх амплітудно-частотними характеристиками, було висунуто гіпотезу про неоднаковий вплив звукових коливань різної частоти на ранні етапи розвитку насіння різних культур. Особливий науковий інтерес становить визначення таких частотних параметрів, які здатні виступати ефективними стимуляторами проростання та росту проростків без застосування хімічних регуляторів росту.

Метою дослідження є експериментальне вивчення впливу звукових коливань фіксованої частоти (1 кГц і 10 кГц) на показники проростання насіння та морфофізіологічні особливості раннього розвитку проростків культурних рослин.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні як тест-об'єкти використано насіння чотирьох видів культурних рослин, поширених у сільськогосподарській практиці та таких, що відрізняються біологічними особливостями проростання і раннього розвитку. Зокрема, досліджували насіння квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L.) сорту «Сідерал», огірка звичайного (*Cucumis sativus* L.) сорту «Конкурент», гороху посівного (*Pisum sativum* L.) сорту «Шуга бон» та пшениці звичайної (*Triticum vulgare* Vill.) сорту «Смутлянка».

Для кожної культури було закладено три експериментальні варіанти: контрольний, у якому насіння не піддавалося додатковому акустичному впливу, та два дослідні варіанти із

застосуванням звукових коливань фіксованої частоти – 1 кГц (1000 Гц) і 10 кГц (10000 Гц). Кожен варіант досліду мав триразову повторність, що забезпечувало підвищення достовірності отриманих результатів. Кількість насіння в кожній ємності становила 14 насінин для квасолі, 7 – для огірка, 10 – для гороху та 34 – для пшениці.

Пророщування насіння здійснювали в однакових герметичних пластикових ємностях на фільтрувальному папері. Усі контрольні та дослідні варіанти перебували в ідентичних умовах освітлення та температурного режиму; температура повітря впродовж усього експерименту становила 19 °С. Кількість води для зволоження фільтрувального паперу визначалася відповідно до рекомендованих норм для кожної культури й була однаковою для контрольних і дослідних варіантів у межах одного тест-об'єкта.

Звукові коливання створювалися за допомогою динамічних драйверів вбудованих в ноутбук Acer Aspire 3 A315-44P. Акустичний вплив здійснювали щоденно протягом 3 годин, починаючи з моменту замочування насіння; процедура проводилася в один і той самий часовий інтервал доби, що дозволяло мінімізувати вплив добових ритмів. Інтенсивність звукових коливань у зоні розміщення ємностей вимірювали шумоміром Venetech GM 1352 і вона становила в середньому 82 дБ. Рівень фонового шуму, який постійно діяв як на контрольні, так і на дослідні варіанти, не перевищував 36 дБ.

Моніторинг проростання насіння розпочинали з першої доби експерименту. Вимірювання довжини коренів проростків здійснювали, починаючи з третьої доби пророщування, з подальшими регулярними обліками відповідно до етапів дослідження. Усі числові дані фіксували у спеціально підготовлених бланках спостережень окремо для кожної повторності та кожного варіанта досліду.

Статистичну обробку результатів проводили з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel 2019. На кожному етапі дослідження для кожного експериментального варіанта визначали середні значення показників і стандартну похибку середнього, що забезпечило оцінку варіативності результатів та їх статистичної достовірності.

Результати та їх обговорення.

Отримані результати підтвердили, що звуковий фактор може виступати модифікатором ранніх ростових процесів, однак прояв ефекту є частотно-залежним і видоспецифічним. Для більшості досліджуваних тест-об'єктів встановлено стабільну тенденцію зростання інтенсивності росту коренів проростків у ряду: 10 кГц > 1 кГц > контроль (табл.1). Така закономірність може бути зумовлена зростанням ефективності передачі механічної енергії звукових коливань клітинним структурам із підвищенням частоти сигналу, що призводить до активації ростових процесів. Імовірно, стимулюючий ефект звукових коливань реалізується через зміну фізико-хімічних властивостей клітинних мембран, зокрема підвищення їх проникності, що сприяє інтенсифікації іонного транспорту та активації метаболічних процесів у клітинах апікальної меристеми кореня. Підвищення частоти звукового сигналу може посилювати ці ефекти, забезпечуючи більш виражену ростову відповідь.

Водночас реакція рослин на акустичну стимуляцію має виражений видоспецифічний характер. Зокрема, у *Phaseolus vulgaris* L. зафіксовано нетипову фазову динаміку росту коренів, що проявлялася у відсутності чіткої стимуляції на ранніх етапах і поступовому зростанні ефекту на пізніших фазах проростання. Така особливість може бути пов'язана з морфологічними характеристиками насіння квасолі, зокрема більшими розмірами зародка та особливостями водопоглинання.

У проростків *Cucumis sativus* L. сорту «Конкурент» позитивний вплив звукових коливань фіксованої частоти спостерігався вже на початковому етапі дослідження (07.11.2025), що свідчить про високу чутливість даного виду до акустичних стимулів (табл.1, рис. 1). Найвищі значення довжини коренів у варіанті з частотою 10 кГц на всіх етапах спостережень вказують на переважно стимулюючу дію високочастотного звукового сигналу в межах досліджуваного діапазону.

**Динаміка росту коренів проростків досліджуваних культур
за різних режимів акустичної стимуляції, см**

Об'єкт дослідження (вид, сорт)	Варіант	07.11.2025	10.11.2025	15.11.2025	17.11.2025
<i>Cucumis sativus</i> L. «Конкурент»	Контроль	0,1 ± 0,01	1,8 ± 0,12	4,77 ± 0,21	-
	1 кГц	0,2 ± 0,02	2,8 ± 0,15	5,57 ± 0,24	-
	10 кГц	0,31 ± 0,02	3,4 ± 0,18	6,98 ± 0,27	-
<i>Pisum sativum</i> L. «Шуга бон»	Контроль	0 ± 0,00	0,19 ± 0,02	1,9 ± 0,11	-
	1 кГц	0,1 ± 0,01	0,65 ± 0,05	4,09 ± 0,19	-
	10 кГц	0,15 ± 0,01	1,4 ± 0,08	5,25 ± 0,23	-
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. «Сідерал»	Контроль	0,46 ± 0,03	0,68 ± 0,04	0,7 ± 0,05	0,72 ± 0,05
	1 кГц	0,3 ± 0,03	0,3 ± 0,03	0,77 ± 0,06	1,1 ± 0,07
	10 кГц	0,3 ± 0,03	0,33 ± 0,03	0,91 ± 0,06	1,23 ± 0,08
<i>Triticum vulgare</i> Vill. «Смуглянка»	Контроль	0,34 ± 0,03	4,3 ± 0,20	7,45 ± 0,28	-
	1 кГц	0,53 ± 0,04	5,2 ± 0,23	9,1 ± 0,31	-
	10 кГц	1,14 ± 0,06	6,7 ± 0,26	9,6 ± 0,33	-

Примітка: «-» — облік не проводився.

Помірна варіативність середніх значень показників росту свідчить про достатню відтворюваність експериментальних даних і дозволяє розглядати виявлені закономірності як біологічно значущі, а не випадкові коливання.

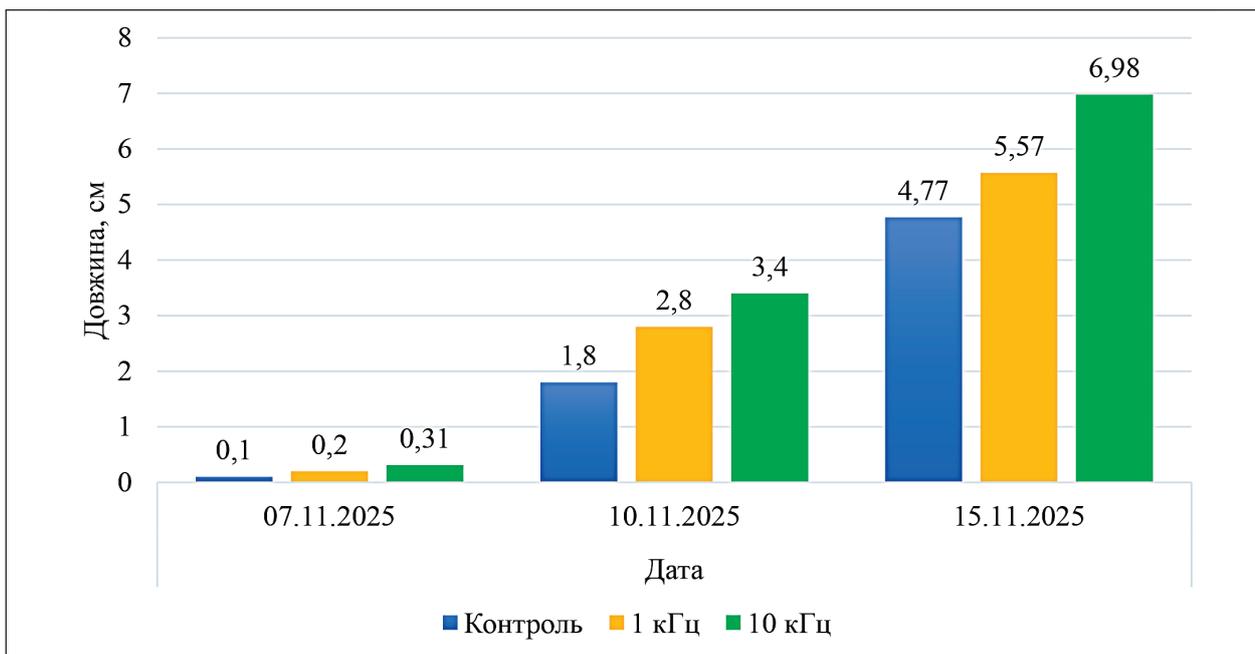


Рис. 1. Динаміка росту коренів проростків *Cucumis sativus* L. сорту «Конкурент».

Pisum sativum L. сорту «Шуга бон» продемонстрував найвищу чутливість до дії акустичних коливань серед досліджуваних тест-об'єктів. Уже на ранній фазі проростання у варіантах зі звуковим впливом спостерігалось формування коренів, тоді як у контрольному варіанті на першому етапі обліку ріст кореневої системи не реєструвався (рис. 2). У подальші терміни спостережень обидві досліджувані частоти (1 і 10 кГц) забезпечували статистично значуще збільшення довжини коренів порівняно з контролем, що свідчить про загальну стимулюючу дію акустичних сигналів на ранні ростові процеси *P. sativum*. Водночас характер і інтенсивність відповіді залежали від частоти звукового впливу. Частота 1 кГц зумовлювала помірний, але стабільний приріст кореневої системи протягом усього періоду спостережень, постійно перевищуючи контрольні значення.

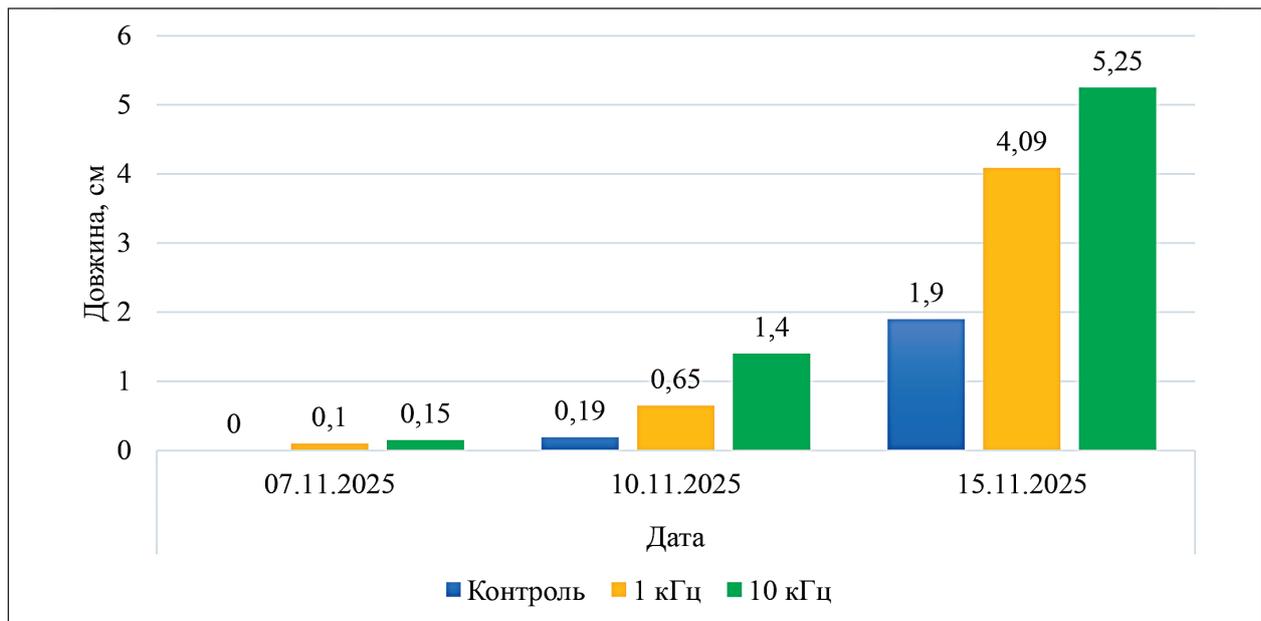


Рис. 2. Динаміка росту коренів проростків *Pisum sativum* L. сорту «Шуга бон».

Найбільш виражений ефект зафіксовано у варіанті з частотою 10 кГц, де стимуляція росту коренів носила інтенсивний характер. На фінальному етапі обліку середня довжина коренів у цьому варіанті досягла 5,25 см, що більш ніж у 2,5 раза перевищувало відповідний показник контрольного варіанту (1,90 см). Отримані результати свідчать про високу ефективність високочастотної акустичної стимуляції для інтенсифікації росту кореневої системи *Pisum sativum* L. на ранніх етапах онтогенезу.

З практичної точки зору *Pisum sativum* L. може розглядатися як перспективний модельний об'єкт для подальших досліджень оптимізації параметрів акустичного впливу, зокрема тривалості експозиції, інтенсивності сигналу та комбінування частот. Висока чутливість даної культури до звукових коливань забезпечує чітко виражену ростову відповідь, що створює передумови для отримання відтворюваного біологічного ефекту.

Ріст кореневої системи *Phaseolus vulgaris* L. сорту «Сідерал» характеризувався відмінною динамікою реакції на акустичний вплив порівняно з *Cucumis sativus* L. та *Pisum sativum* L. На початкових етапах експерименту у варіантах із застосуванням звукових частот 1 і 10 кГц спостерігалось уповільнення росту коренів відносно контрольного варіанта, що може свідчити про первинну стресову реакцію рослин на акустичний стимул.

Починаючи з третього етапу спостережень, характер ростової відповіді змінювався: у варіантах зі звуковим впливом фіксувався перехід від інгібування до стимуляції росту кореневої системи. За частоти 1 кГц середні значення довжини коренів перевищували контрольні показники, тоді як у варіанті з частотою 10 кГц стимулюючий ефект був більш вираженим. На фінальному етапі обліку середня довжина коренів у варіанті 10 кГц досягла 1,23 см, що суттєво перевищувало контрольне значення (0,72 см). Виявлена фазова динаміка ростової відповіді свідчить про зміну характеру дії акустичного чинника після періоду адаптації рослин і вказує на потенційну стимулюючу роль звукових коливань за умов пролонгованого або відтермінованого впливу (рис. 3).

Таким чином, отримані результати дозволяють припустити, що на ранніх етапах проростання акустичний чинник для *Phaseolus vulgaris* L. може виконувати роль стресового впливу, що зумовлює тимчасове пригнічення росту кореневої системи. У подальшому відбувається адаптація рослин до акустичного сигналу, після чого дія звукових коливань трансформується у стимулюючу. Виявлена динаміка вказує на залежність біологічного ефекту акустичного впливу від стадії розвитку рослин і тривалості експозиції. Отримані дані мають потенційне прикладне значення, оскільки свідчать про доцільність відтермінованого засто-

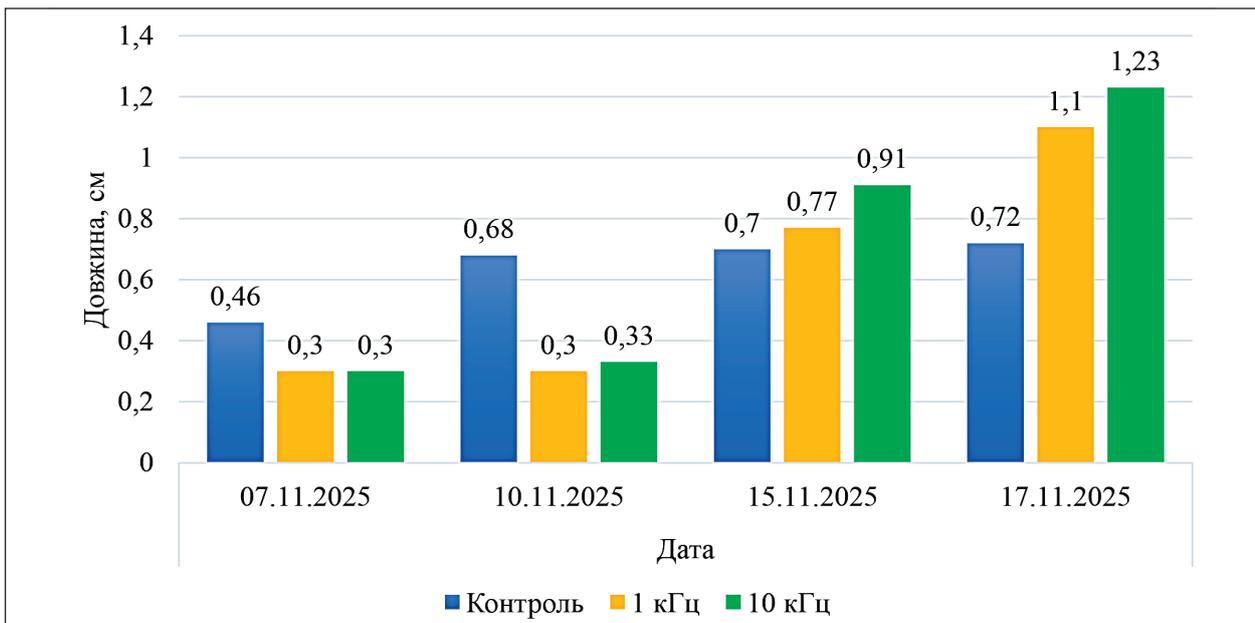


Рис. 3. Динаміка росту коренів проростків *Phaseolus vulgaris* L. сорту «Сідерал».

сування акустичної стимуляції для *Phaseolus vulgaris* L., а не її використання безпосередньо з моменту замочування насіння.

Triticum vulgare Vill. сорту «Смуглянка» демонструвала стимуляцію ростових процесів у варіантах із частотами 1 і 10 кГц на всіх етапах обліку.

Водночас інтенсивність ефекту була менш вираженою порівняно з *Cucumis sativus* L. та *Pisum sativum* L., що свідчить про помірну чутливість даного виду до акустичних коливань. На фінальному етапі дослідження середня довжина коренів у дослідних варіантах становила 9,6 см (10 кГц) і 9,1 см (1 кГц) проти 7,45 см у контрольному варіанті, що вказує на стабільний стимулюючий вплив із перевагою височастотного режиму (рис. 4).

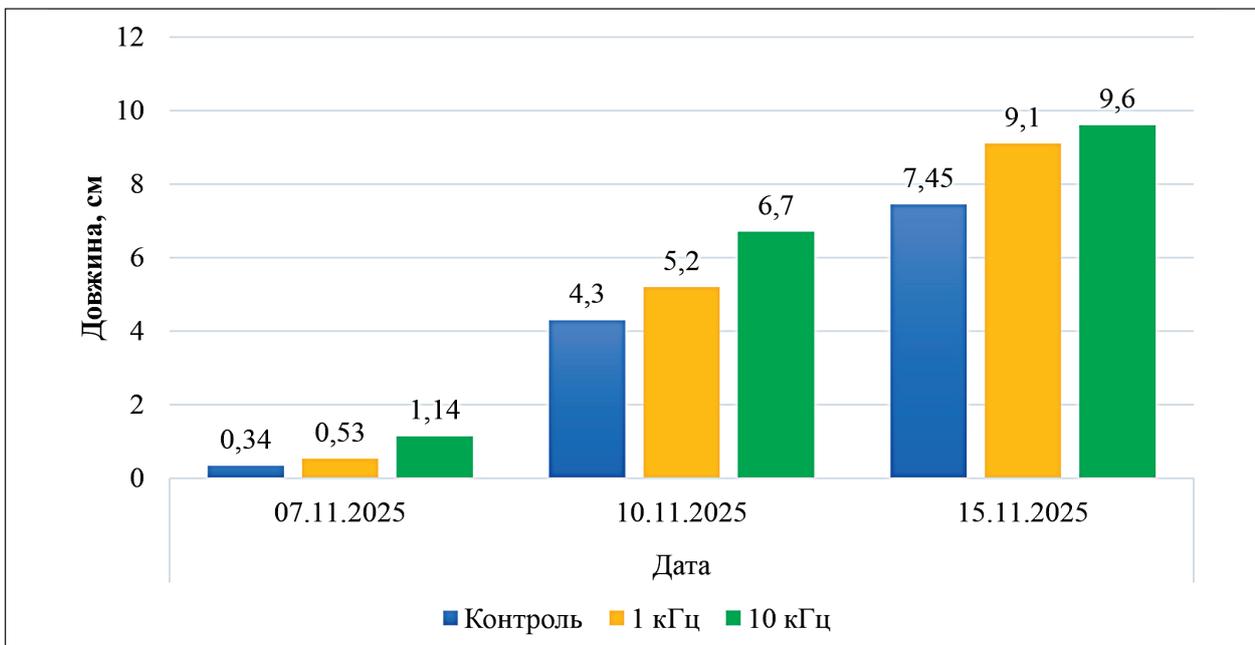


Рис. 4. Динаміка росту коренів проростків *Triticum vulgare* Vill. сорту «Смуглянка».

Висновки.

Установлено, що звукові коливання фіксованої частоти в діапазоні 1–10 кГц здатні модифікувати перебіг ранніх етапів онтогенезу культурних рослин, зокрема впливати на інтенсивність росту кореневої системи проростків.

Виявлений ефект має чітко виражений частотно-залежний і видоспецифічний характер. Для більшості досліджуваних культур встановлено закономірність зростання інтенсивності росту коренів у ряду: 10 кГц > 1 кГц > контроль.

Найвищу чутливість до акустичної стимуляції продемонстрував *Pisum sativum* L. сорту «Шуга бон», у якого звуковий вплив сприяв ранньому формуванню кореневої системи та суттєвому зростанню її довжини порівняно з контрольним варіантом, особливо за частоти 10 кГц.

Для *Phaseolus vulgaris* L. встановлено фазову динаміку ростової відповіді на акустичний вплив: на початкових етапах проростання звукові коливання можуть виконувати роль стресового чинника, що зумовлює тимчасове пригнічення росту коренів, тоді як на пізніших етапах спостерігається перехід до стимуляції ростових процесів.

Triticum vulgare Vill. характеризувалася стабільною, але помірною ростовою відповіддю на звукові коливання обох досліджуваних частот, із незначною перевагою режиму 10 кГц, що свідчить про відносно нижчу чутливість даного виду до акустичної стимуляції порівняно з іншими тест-об'єктами.

Отримані результати вказують на залежність біологічного ефекту акустичних коливань не лише від їх частоти, але й від виду рослин і стадії розвитку, що необхідно враховувати при подальшій оптимізації режимів звукової стимуляції для практичного застосування.

Перспективи подальших досліджень. Отримані результати розширюють уявлення про роль акустичних факторів як потенційних регуляторів росту рослин на ранніх етапах онтогенезу та підтверджують доцільність подальшого пошуку оптимальних частотних режимів звукової стимуляції для різних видів культурних рослин. Звукові коливання фіксованої частоти можуть розглядатися як перспективний фізичний чинник регуляції ростових процесів проростків, ефективність якого визначається як параметрами акустичного впливу, так і біологічними особливостями виду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Довідник по овочівництву закритого ґрунту / Л. М. Шульгіна, Г. Л. Бондаренко, М. О. Складаревський та ін; за ред. Л. М. Шульгіної. Київ : Урожай. 1989. 246 с.
- Камінський В. Органічне землеробство – шлях до продовольчої безпеки. *Віче*. 2014. № 9. С. 58–61. URL: <https://veche.kiev.ua/journal/4161/>
- Ласло О. О. Органічне землеробство – шлях до екологічно безпечної продукції. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 1. С. 137–139. URL: https://www.pdau.edu.ua/visnykpdau/2009/1_2009/pdf/r4_storinka_1_2009.pdf#page=19
- Мельник В. М., Ружинська Л. І., Фесенко С. В., Ільєнко В. В. Вплив ультразвукового випромінювання на ріст зернових культур. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2018. № 20. С. 69–74. URL: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2018-20-4423>
- Chowdhury M, Lim H, Bae H. Update on the Effects of Sound Wave on Plants. *Research in Plant Disease*. 2014. Vol. 20 (1). P. 1–7. URL: https://www.researchgate.net/publication/272661579_Update_on_the_Effects_of_Sound_Wave_on_Plants
- Creath K, Schwartz G. Measuring effects of music, noise, and healing energy using a seed germination bioassay. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*. 2004. № 10 (1). P. 113–122. URL: https://www.researchgate.net/publication/8675023_Measuring_Effects_of_Music_Noise_and_Healing_Energy_Using_a_Seed_Germination_Bioassay
- Gagliano M, Mancuso S, Robert D. Towards understanding plant bioacoustics. *Trends in Plant Science*. 2012. № 17 (6). P. 323–325. URL: https://www.researchgate.net/publication/221973850_Towards_understanding_plant_bioacoustics
- Uchida A, Yamamoto K. Effects of mechanical vibration on seed germination of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Plant and Cell Physiology*. 2002. № 43 (6). P. 647–651. URL: https://www.academia.edu/25891688/Effects_of_Mechanical_Vibration_on_Seed_Germination_of_Arabidopsis_thaliana_L_Heynh

THE EFFECT OF SOUND VIBRATIONS OF DIFFERENT FREQUENCIES ON THE EARLY STAGES OF CULTIVATED PLANT ONTOGENESIS

Sahaidak V., Homlia L., Pererva V., Kononenko D. Herus O.

Poltava V. G. Korolenko National Pedagogical University

*The article presents the results of an experimental study of the effect of fixed-frequency sound vibrations on the early stages of cultivated plant seedling development. The aim of the study was to determine whether the acoustic factor has a frequency-dependent effect and whether different species/varieties react differently to sound stimulation. The test objects were seeds of *Phaseolus vulgaris* L. of*

the “Sideral” variety, *Cucumis sativus* L. of the “Konkurent” variety, *Pisum sativum* L. of the “Shuha Bon” variety, and *Triticum vulgare* Vill. of the “Smuhlianka” variety. The experiment included a control group (without additional sound exposure) and two test groups with exposed to 1 kHz and 10 kHz. Sound vibrations were applied daily for 3 hours a day, starting from seed soaking; the sound intensity in the exposure zone was 82 dB, and the background noise level was 36 dB. All variants were kept under the same lighting conditions and at a temperature of 19 °C in sealed containers on filter paper. The main quantitative indicator of the early development intensity was the length of the sprout roots, which was measured from the third day of the experiment.

The results obtained confirmed the presence of a frequency-dependent effect: for cucumbers, peas, and wheat, a frequency of 10 kHz demonstrated a more pronounced stimulating effect compared to 1 kHz and the control. Pea seeds proved to be the most sensitive test object: at the final stage, the average root length in the 10 kHz variant was 5.25 cm, while in the control variant it was 1.9 cm. A phase response was established for beans: in the initial stages, the acoustic effect was accompanied by growth inhibition compared to the control, but in the later stages, a transition to stimulation was observed. The data obtained confirm the promise of acoustic stimulation as a potential ecological tool for regulating the early growth of cultivated plants and indicate the need for further refinement of the optimal frequency and exposure parameters for different species.

Key words: acoustic stimulation, sound frequency, seedlings, root length, *Phaseolus vulgaris* L., *Cucumis sativus* L., *Pisum sativum* L., *Triticum vulgare* Vill.

REFERENCES

- Chowdhury, M, Lim, H, & Bae, H. (2014). Update on the Effects of Sound Wave on Plants. *Research in Plant Disease*, 20 (1), 1-7. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/272661579_Update_on_the_Effects_of_Sound_Wave_on_Plants
- Creath, K, & Schwartz, G. (2004). Measuring effects of music, noise, and healing energy using a seed germination bioassay. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 10 (1), 113-122. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/8675023_Measuring_Effects_of_Music_Noise_and_Healing_Energy_Using_a_Seed_Germination_Bioassay
- Gagliano, M, Mancuso, S, & Robert, D. (2012). Towards understanding plant bioacoustics. *Trends in Plant Science*, 17 (6), 323-325. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/221973850_Towards_understanding_plant_bioacoustics
- Kaminskyi, V. (2014). Orhanichne zemlerobstvo – shliakh do prodovolchoi bezpeky [Organic farming – the path to food security]. *Viche* [Viche], 9, 58-61. Retrieved from <https://veche.kiev.ua/journal/4161/> [in Ukrainian].
- Laslo, O. O. (2009). Orhanichne zemlerobstvo – shliakh do ekolohichno bezpechnoi produktsii [Organic farming – the path to environmentally safe products]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii* [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy], 1, 137-139. Retrieved from [in Ukrainian].
- Melnyk, V. M., Ruzhynska, L. I., Fesenko, S. V., & Iliencko, V. V. Vplyv ultrazvukovoho vpyrominiuvannia na rist zernovykh kultur [The effect of ultrasonic radiation on the growth of grain crops]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal “Internauka”* [International scientific journal “Internauka”], 1 (20), 69-74. Retrieved from <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2018-20-4423> [in Ukrainian].
- Shulhina, L. M. (Ed.). (1989). *Dovidnyk po ovochivnytstvu zakrytoho gruntu* [Reference book on greenhouse vegetable growing]. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
- Uchida, A, Yamamoto, K. (2002). Effects of mechanical vibration on seed germination of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Plant and Cell Physiology*, 43 (6), 647-651. Retrieved from https://www.academia.edu/25891688/Effects_of_Mechanical_Vibration_on_Seed_Germination_of_Arabidopsis_thaliana_L_Heynh

Одержано 25.12.2025 р.

Прийнято до друку 26.01.2026 р.

УДК 633.15:575.224.2:632.111

DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352474>

Д. С. Тимчук

Луганський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Івана Банка, 3, Полтава, 36000, Україна
dstymchuk@yahoo.com
ORCID: 0000-0002-4198-8372

Н. Ф. Тимчук

Луганський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Івана Банка, 3, Полтава, 36000, Україна
tym1952@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6523-9966

Л. Я. Харченко

Устимівська дослідна станція рослинництва IP НААН
вул. Академіка Вавилова, 15, с. Устимівка, Кременчуцький район,
Полтавська область, 3974, Україна
udsr@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3962-1416

ВМІСТ ГЛІЦЕРИДІВ ЛІНОЛЕВОЇ КИСЛОТИ В ОЛІЯХ ЕНДОСПЕРМОВИХ МУТАНТІВ КУКУРУДЗИ ПРИ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПОВІТРЯ В ПЕРІОД ДОСТИГАННЯ

*Наведено результати дослідження залежності ефектів ендоспермових мутацій кукурудзи *sh2*, *su1* та *su2* за вмістом лінолеату від температурних умов періоду достигання. Матеріалом для досліджень послуговували по 10 неспоріднених за походженням ліній на основі кожної мутації, які вирощувалися протягом трьох років в зоні Степу України. Аналіз жирнокислотного складу олії проводився модифікованим газо-хроматографічним методом Пейскера. Оцінку взаємодії генотип : довкілля за вмістом лінолеату здійснювали з використанням алгоритму Еберхарда-Рассела. Встановлено, що лінії – носії мутацій *sh2*, *su1* та *su2* вирізняються від кукурудзи звичайного типу суттєво зниженим вмісту лінолеату. Рівень цієї ознаки у носіїв кожної мутації, як правило, зростає в умовах більш низьких температур повітря в період достигання. У різних ліній на основі однієї мутації вміст лінолеату варіював в залежності від генотипу лінії і характеру взаємодії генотип : довкілля. У носіїв кожної ендоспермової мутації виділено два типи ліній з різними нормами реакції на коливання кліматичних умов вирощування. У ліній одного типу спостерігалися суттєві змінення вмісту лінолеату при коливаннях температурного режиму вирощування, тоді як лінії іншого типу в таких же умовах проявляли досить стабільний рівень ознаки.*

Ключові слова: кукурудза, ендоспермові мутанти, лінолева кислота, умови вирощування.

Вступ. Практичне створення джерел високоякісних олій з використанням природного генетичного різноманіття кукурудзи ускладнюють два принципові обмеження. Першим є полігенна природа жирнокислотного складу олії (Rajendran, Chaudhary, & Mahajan, 2017), другим – суттєва залежність цих ознак від ґрунтово – кліматичних умов вирощування (Imran et al., 2024).

На особливу увагу як потенційні джерела підвищеного вмісту і покращеного жирнокислотного складу олії заслуговують носії моногенних ендоспермових мутацій кукурудзи (Boyer, & Hannah, 2001). Їх використання в цій якості має суттєві переваги перед іншими шляхами вирішення проблеми. Вони полягають, в тому, що ендоспермові мутації кукурудзи мають природне походження (Raven, 2005), є менделюючими генетичними факторами, викликають утворення специфічних фенотипів насіння, незалежних від умов вирощування і носії цих мутацій вирізняються корисними зміненнями біохімічного скл насіння (Shannon, Garwood, & Boyer, 2009; Tracy, Shuler, & Dodson-Swenson, 2019).

Експериментально встановлено, що природні мутації структури ендосперму викликають суттєве підвищення вмісту незамінних амінокислот в білку, перерозподіл фракційного складу крохмалю у бік підвищення вмісту амілози або амілопектину, а також збільшення вмісту водорозчинних фракцій вуглеводів (Hartings, Fracasetti, & Motto, 2012; Larkins, 2019).

Показано також, що носії окремих ендоспермових мутацій вирізняються підвищеним вмістом гліцеридів олеїнової та пальмітинової кислот (D. Tymchuk, Sadovnichenko, N. Tymchuk, Potapenko, & Torianik, 2021; Tymchuk, 2023). Однак вплив ендоспермових мутацій кукурудзи на вміст гліцеридів лінолевої кислоти до цього часу не був предметом спеціальних досліджень.

Відомо, що ця кислота є основним компонентом жирнокислотного складу кукурудзяної олії (Baldin et al., 2018) і в певних кількостях викликає позитивний фізіологічний ефект (Jandacek, 2017). Окрім того, олії з високим вмістом лінолевої кислоти є досить розповсюдженим промисловим джерелом олійної сировини (Salimon, Salih, & Yousif, 2012; Barrera-Alellano, Badan-Ribeiro, & Serna-Saldivar, 2019).

Однак високий вміст лінолевої кислоти не завжди є сприятливим. Відомо, що ця кислота схильна до переокисного окислювання (Belinato, Canale, & Totten, 2011) і проміжні продукти цього процесу викликають небажані наслідки для здоров'я людини (Mercola, & D'Adamo, 2023). Тому не тільки підвищення, але й зниження вмісту гліцеридів лінолевої кислоти в кукурудзяній олії є практично значущим. Але в обох випадках практичне поліпшення кукурудзи за вмістом лінолевої кислоти потребує наявності надійних генетичних джерел, які б забезпечували і стабільно високий і стабільно низький вміст лінолеату в широкому діапазоні кліматичних умов вирощування.

Відомо, що провідним кліматичним фактором, який викликає коливання жирнокислотного складу олії у олійних культур, є температура повітря в період досягання насіння (Canvin, 2011). Тому виникає необхідність визначення ефектів ендоспермових мутацій кукурудзи за вмістом лінолеату при коливаннях температурних умов цього періоду.

Матеріали і методи. Матеріалом для досліджень була серія інбредних ліній кукурудзи – носіїв ендоспермових мутацій *sh2*, *su1*, *su2*, які викликають суттєве підвищення вмісту олеїнової кислоти в оліях (D. Tymchuk, Sadovnichenko, N. Tymchuk, Potapenko, & Torianik, 2021).

Носії кожної мутації було представлено 10 неспорідненими за походженням лініями. В якості контролів використовувалися 10 ліній кукурудзи звичайного типу.

Польові досліді проводилися на селекційно – насінницькій станції «НАСКО», яка розташована у Ново-Каховському районі Херсонської області і знаходиться в зоні Степу України. Географічні координати локації проведення польових дослідів - 46,7545° п.ш., 33,3486° с.д.

Лінії кукурудзи вирощували протягом трьох років з різними температурними режимами вегетації і, зокрема, температурами повітря в період досягання насіння. За спостереженнями метеостанції м. Нова Каховка (синоптичний індекс 33869), середня температура цього періоду у першому році випробувань становила 19,9°C, у другому – 21,7°C, а у третьому – 23,1°C.

Проведення польових дослідів проводили згідно методики Національного центру генетичних ресурсів рослин України (Hurieva et al., 2003). Лінії кукурудзи вирощували на десятигнізdnих ділянках площею 4,9 м², розташованих у пунктирній схемі посіву з шириною міжрядь 70 см і відстанню між рослинами в рядку 35 см. Повторність польового досліду двократна, розміщення ділянок в блоках ліній кожного типу – методом рендомізованих повторень.

Для біохімічного аналізу використовували насіння ліній, отримане виключно шляхом контрольованого запилення. Контроль алейного стану мутантних генів структури ендосперму проводили за фенотипом наніння (Shannon, Garwood, & Boyer, 2009).

Аналіз жирнокислотного складу олії проводили модифікованим газо-хроматографічним методом Пейскера (D. Tymchuk, Sadovnichenko, N. Tymchuk, Potapenko, & Torianik, 2021).

Отримані результати піддавали статистичній обробці методами дисперсійного та кореляційного аналізу (Horvat, Molnar, & Minkovych, 2019).

Порівняння середніх по варіантах досліду за вмістом лінолеату здійснювали за допомогою найменшої істотної різниці для 5% рівня значущості ($HP_{0,05}$), а оцінку тісноти взаємозв'язку між вмістом лінолеату та інших жирних кислот – шляхом обчислення коефіцієнтів лінійної кореляції (r).

Для оцінки взаємодій генотип: довкілля за вмістом лінолеату використовували статистичну програму, засновану на алгоритмі Еберхарда – Рассела (Changizi, Choucan, Heravan, Bihanta, & Darvish, 2014). З її використанням для кожної лінії обчислювали генотипові ефекти (E_i), які відображають середню величину ознаки за роки випробувань, коефіцієнти лінійних регресій (R_i), які характеризують відгук генотипу на коливання температур повітря в період дозрівання і дисперсії відхилення від лінії регресії (S_i^2), які відображають надійність оцінок екологічної стабільності ліній. Для встановлення достовірності відхилень від лінії регресії обчислювали емпіричні значення G-критерія Кохрена ($G_{\text{факт}}$), які порівнювали з табличними ($G_{0,95}$).

Лінії кукурудзи звичайного типу і лінії-носії кожної мутації ранжували за значеннями E_i і R_i на 3 групи, в яких найменший ранг був властивий лініям з більш високими середніми рівнями ознаки і його меншою залежністю від коливань температури повітря протягом періоду дозрівання насіння.

Результати та їх обговорення. Отримані результати показали наявність суттєвих відмінностей носіїв різних ендоспермових мутацій між собою та від кукурудзи звичайного типу за вмістом лінолеату в олії (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст лінолеату в оліях ліній кукурудзи звичайного типу і ліній-носіїв різних ендоспермових мутацій, середнє за трирічними оцінками 10 ліній кожного типу

Типи ліній	Вміст лінолеату в олії, %			HP _{0,05} для порівняння ліній одного типу
	Мінімальний	Максимальний	Середній	
Звичайний	56,7	61,4	59,3	1,1
Носії мутації <i>sh1</i>	52,1	58,5	55,1	1,3
Носії мутації <i>sh2</i>	38,6	45,5	42,0	1,7
Носії мутації <i>su1</i>	38,8	45,7	42,3	1,7
Носії мутації <i>su2</i>	44,8	48,9	47,1	1,3
Носії мутації <i>wx</i>	51,5	55,6	53,6	1,1
HP _{0,05}			1,7	

Носії всіх проаналізованих в досліді мутацій за вмістом гліцеридів лінолевої кислоти поступалися кукурудзі звичайного типу. Однак ступінь зниження вмісту лінолеату у носіїв різних мутацій відрізнявся. У носіїв мутацій *sh1* та *wx* вміст лінолеату в оліях був суттєво вищим, ніж у носіїв мутації *su2*, а вона в свою чергу перевищувала за цією ознакою носіїв мутацій *sh2* та *su1*. За оцінками середніх групових найбільш значне зниження вмісту лінолеату було властиве носіям мутацій *sh2*, *su1* та *su2* і його рівень досягав 29,2%.

Отримані в досліді результати показали також, що різні лінії – носії однієї мутації дуже відмінні між собою за вмістом лінолеату в олії і найбільша різниця між мінімальним і максимальним рівнями вмісту лінолеату у носіїв однієї мутації становила 6,9%.

Як свідчать отримані результати, іншим фактором, який викликає мінливість вмісту лінолеату в олії кукурудзи, є кліматичні умови вирощування. У кукурудзи звичайного типу, а також носіїв всіх проаналізованих мутацій найбільш високий вміст лінолеату було зареєстровано в умовах першого року випробувань, а найбільш низький – в умовах третього року (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст лінолеату в оліях ліній кукурудзи звичайного типу і ліній-носіїв різних ендоспермових мутацій в роки з різними температурними умовами періоду досягання, середнє за щорічними оцінками 10 ліній кожного типу

Типи ліній	Вміст лінолеату в олії, %			НІР _{0,05} для порівняння середніх за кожний рік
	Перший рік	Другий рік	Третій рік	
Звичайний	60,1	59,3	58,5	0,6
Носії мутації <i>sh1</i>	56,3	54,6	54,3	0,7
Носії мутації <i>sh2</i>	43,6	41,3	41,0	1,0
Носії мутації <i>su1</i>	43,3	42,7	40,8	0,9
Носії мутації <i>su2</i>	48,0	47,0	46,2	0,7
Носії мутації <i>wx</i>	54,6	53,6	52,6	0,6

Ці результати надають підстави пов'язувати мінливість вмісту лінолеату в оліях проаналізованих форм кукурудзи саме із річною специфікою температурного режиму періоду дозрівання. За даними метеостанції м.Нова Каховка (синоптичний індекс 33869) перший рік випробувань вирізнявся найбільш низькими температурами в цей період, а третій рік – найбільш високими.

Таким чином отримані результати свідчать про зворотню залежність між температурою повітря в період досягання і вмістом лінолевої кислоти в оліях звичайної кукурудзи і її ендоспермових мутантів. Однак ця залежність не була ані лінійною ані монотонною.

В ході трирічного випробування було встановлено, що різні лінії на основі однієї мутації дуже відмінні між собою як за середнім вмістом гліцеридів лінолевої кислоти, так і за характером його мінливості під впливом температури в період досягання.

Серед ліній – носіїв мутації *sh2* найбільш високий вміст лінолеату мали лінії SS-385 та SS-387, а найбільш низький вміст – лінії SS-53, SS-390 та SS-566. Сильну залежність вмісту лінолеату від коливань умов вирощування було зареєстровано у ліній SS-384, SS-387 та SS-390. Навпаки, лінії SS-53, SS-383 та SS-385 проявили значно більшу стабільність в різних температурних умовах періоду досягання (табл. 3).

Таблиця 3

Оцінки генотипових ефектів та екологічної стабільності за вмістом лінолеату у ліній кукурудзи – носіїв мутації *sh2*, результати трирічних випробувань

Лінії	Середній в	Генотиповий ефект, E_i	Ранг	Регресія, R_i	Ранг	Дісперсія ознаки по роках, S^{2*}
SS-49	41,8	-0,20	2	0,50	2	5,69
SS-53	38,1	-3,90	3	0,11	1	3,50
SS-383	42,7	0,76	2	0,12	1	3,78
SS-384	42,3	0,36	2	1,96	3	6,66
SS-385	45,5	3,50	1	0,09	1	7,19
SS-386	42,3	0,33	2	0,75	2	3,46
SS-387	45,4	3,43	1	1,72	3	0,85
SS-389	43,7	1,70	2	0,92	2	1,57
SS-390	39,4	-2,57	3	2,26	3	7,51
SS-566	38,6	-3,40	3	1,57	2	1,20
НІР _{0,05}	1,7	2,33	X	0,65	X	X

* Примітка: $G_{\text{факт.}} = 0,1806$; $G_{\text{табл.}} = 0,4450$.

У проаналізованих в дослідях носіїв мутації *su1* спостерігалися схожі закономірності мінливості вмісту лінолеату. Найбільш високі генотипові ефекти за цією ознакою було зареєстровано у ліній МС-73, МС-266 та МС-719, а найбільш низькі – МС-58, МС-375 та МС-713. Лінії МС-58, МС-266 та МС-381 продемонстрували широкий розмах мінливості ознаки

в різних кліматичних умовах вирощування, а лінії МС-73 та МС-713 – досить стабільний рівень вмісту лінолеату в цих умовах (табл. 4).

Таблиця 4

Оцінки генотипових ефектів та екологічної стабільності за вмістом лінолеату у ліній кукурудзи – носіїв мутації *su1*, результати трирічних випробувань

Лінії	Середнє	Генотиповий ефект, E_i	Ранг	Регресія, R_i	Ранг	Дисперсія ознаки по роках, S^2
МС-58	38,8	-3,49	3	1,50	3	0,03
МС-73	45,7	3,41	1	-0,48	1	2,62
МС-266	44,3	2,07	1	1,51	3	0,49
МС-270	43,2	0,91	2	1,29	2	0,12
МС-375	40,4	-1,83	3	0,90	2	1,52
МС-380	43,3	1,04	2	1,11	2	0,87
МС-381	41,8	-0,46	2	1,72	3	0,16
МС-401	42,1	-0,13	2	1,03	2	0,00
МС-713	39,2	-3,09	3	0,38	1	3,04
МС-719	43,8	1,57	1	1,02	2	0,01
НІР _{0,05}	1,7	1,08	X	0,33	X	X

* Примітка: $G_{\text{факт}} = 0,3431$; $G_{\text{табл.}} = 0,4450$.

В експериментальній вибірці носіїв мутації *su2* самий високий середній вміст лінолеату було встановлено у ліній АС-11, АС-28 та АС-52, а самий низький – у ліній АС-32 та АС-70. У ліній АС-16, АС-37 та АС-52 спостерігалася широка мінливість вмісту ліноленату в різних кліматичних умовах вирощування, тоді як лінії АС-32 та АС-43 в аналогічних умовах проявили значно вищу екологічну стабільність ознаки (табл. 5).

В кожній проаналізованій експериментальній вибірці ліній на основі однієї ендоспермової мутації зустрічалися, хоча і досить рідко, лінії, які поєднували високі або низькі генотипові ефекти з високою екологічною стабільністю ознаки. В наших досліджах до їх числа можна було віднести, зокрема, лінії – носії мутації *sh2* SS-385 та SS-53, лінії – носії мутації *su1* МС-73 та МС-713, а також лінії – носії мутації *sh2* АС-52 та АС-32.

Із суто практичного погляду такі лінії є дуже привабливими для селекції, оскільки забезпечують стабільний рівень вмісту лінолеату при коливаннях кліматичних умов вирощування.

Таблиця 5

Оцінки генотипових ефектів та екологічної стабільності за вмістом лінолеату у ліній кукурудзи – носіїв мутації *su2*, результати трирічних випробувань

Лінії	Середнє	Генотиповий ефект, E_i	Ранг	Регресія, R_i	Ранг	Дисперсія ознаки по роках, S^2
АС-11	48,5	1,43	1	0,58	2	0,63
АС-13	46,8	-0,23	2	0,89	2	0,19
АС-16	47,0	-0,03	2	1,55	3	2,62
АС-28	48,4	1,30	1	1,25	2	0,10
АС-32	44,8	-2,30	3	0,29	1	0,62
АС-37	47,7	0,63	2	1,50	3	0,63
АС-43	46,1	-0,93	2	0,20	1	1,26
АС-44	47,1	0,03	2	1,34	2	0,42
АС-52	48,9	1,87	1	1,62	3	0,00
АС-70	45,3	-1,77	3	0,78	2	1,29
НІР _{0,05}	1,3	1,01	X	0,47	X	X

* Примітка: $G_{\text{факт}} = 0,3372$; $G_{\text{табл.}} = 0,4450$.

Отримані в наших дослідках результати показали, що вміст лінолевої кислоти у носіїв кожної з проаналізованих мутацій вирізняється кількісною мінливістю, що підтверджує дані про полігенний тип регуляції цієї ознаки (Yang et al., 2010). Однак поряд з цим отримані результати свідчать про суттєві відмінності за вмістом лінолеату між носіями різних мутацій.

Відомо, що лінолева кислота утворюється в результаті одноетапної реакції десатурації олеїнової і ця реакція каталізується специфічною десатуразою FAD-2 (Vanhecke, Wood, Stymme, Singh, & Green, 2013). При цьому рецесивні алелі локусів FAD-2 викликають депресію активності цього фермента, підвищення вмісту олеїнової кислоти і зниження вмісту лінолевої (Dar, Choudhury, Arumugam, & Kancharla, 2017). Функціональний взаємозв'язок між вмістом цих компонентів жирнокислотного складу в наших дослідках було підтверджено і наявністю високосуттєвої негативної кореляції між вмістом олеату та лінолеату ($r = -0,92-0,96$).

Показано, що носії мутацій *su1* та *su2* відрізняються від кукурудзи звичайного типу значно підвищеним вмістом олеату (D. Tymchuk, Sadovnichenko, N. Tymchuk, Potapenko, & Torgianik, 2021), тому зниження у них вмісту лінолеату уявляється цілком зрозумілим.

Однак нема ніяких підстав пов'язувати ці змінення жирнокислотного складу олії з безпосереднім біохімічним ефектом мутантних генів *su1* та *su2*. Відомо, що обидва ці гени регулюють активність окремих реакцій утворення крохмалю і регульовані ними ферменти не приймають участі в утворенні жирних кислот (Wang, Henry, Golbert, 2014; Zhuang, Zhang, Xiao, Zhang, & Fang, 2022).

Тому найбільш вірогідною причиною підвищення вмісту олеату і зниження вмісту лінолеату у носіїв цих мутацій є просторове зчеплення мутантних генів *su1* та *su2* з відповідними олеат – кодуєчими локусами.

На користь цього припущення свідчить ідентифікація найбільш експресивних олеат – кодуєчих локусів в 4 та 6 хромосомах (Belo et al., 2008; Wassom, Mikkelineni, Bohn, & Rocheford, 2008), тобто в тих самих хромосомах, в яких локалізовані і ендоспермові гени *su1* та *su2* (Coe, & Shaeffer, 2005).

Цілком можливо, що підвищення вмісту олеату і зниження вмісту лінолеату у носіїв мутації *sh2* теж викликає просторове зчеплення цього мутантного гену з олеат – кодуєчим локусом, однак наявність локусу з подібним ефектом в 3 хромосомі поки що не зареєстровано (Yang et al., 2010). Тому принципово не можна виключати можливості підвищення вмісту олеату і зниження вмісту лінолеату випадковою комбінацією полігенів, локалізованих в інших хромосомах.

Отримані в дослідках результати свідчать також про суттєвий вплив на вміст лінолевої кислоти кліматичного режиму періоду досягання і, зокрема, зниження вмісту лінолеату при підвищених температурах цього періоду.

Показано, що цей ефект пов'язаний з температурними умовами здійснення реакції десатурації олеїнової, кислоти внаслідок якої утворюється лінолеат. Біохімічний механізм цього явища полягає в зниженні інтенсивності цього процесу через депресію активності десатурази FAD-2 (Li et al., 2015). Однією з найважливіших умов процесу десатурації є високий вміст молекулярного кисню в тканинах, які здійснюють синтез жирних кислот (Pelly, 2012). При підвищенні температури в період синтезу запасних ліпідів концентрація кисню в цих тканинах знижується і саме це вважається причиною зниження активності FAD-2 і, як наслідок, підвищення вмісту олеїнової кислоти і зниження вмісту лінолевої (Rolletschek et al., 2007).

Отримані в наших дослідках результати свідчать також, що норми реакції різних ліній – носіїв однієї мутації за вмістом лінолевої кислоти на односпрямовані змінення температурного режиму досягання дуже відмінні між собою. І найбільш вірогідними причинами існування цих відмінностей можна вважати нетотожні змінення активності різних ізоформ FAD-2 під впливом температур (Zhao et al., 2019) і різної експресивності локусів FAD-2 у

різних форм одного виду при схожому температурному режимі вирощування (Menard et al., 2017).

Висновки. Лнії – носії мутацій *sh2*, *su1* та *su2* вирізняються від кукурудзи звичайного типу суттєво зниженим вмісту лінолеату. Рівень цієї ознаки у носіїв кожної мутації, як правило, зростає в умовах більш низьких температур повітря в період досягання. У різних ліній на основі однієї мутації вміст лінолеату варіює в залежності від генотипу лінії і характеру взаємодій генотип : довкілля. У носіїв кожної ендоспермової мутації існують два типи ліній з різними нормами реакції на коливання кліматичних умов вирощування. У ліній одного типу спостерігаються суттєві змінення вмісту лінолеату при коливаннях температурного режиму вирощування, тоді як лінії іншого типу в таких же умовах проявляють стабільний рівень ознаки.

LINOLEIC ACID GLYCERIDE CONTENT IN OILS OF ENDOSPERM MUTANTS OF CORN AT DIFFERENT AIR TEMPERATURES DURING THE MATURATION PERIOD

Tymchuk D.¹, Tymchuk N.², Kharchenko L.³

^{1,2} Luhansk Taras Shevchenko National University

³Ustymivka Experimental Station of Plant Production of the PPI NAAS of Ukraine

*The results of the study of the dependence of the effects of endosperm mutations of corn *sh2*, *su1*, and *su2* on the content of linoleate on the temperature conditions of the maturation period are presented. The material for the study consisted of 10 unrelated lines based on each mutation, which were grown for three years in the Steppe zone of Ukraine. The fatty acid composition of the oil was analysed using a modified Peisker gas chromatography method. The assessment of genotype-environment interactions in terms of linoleate content was carried out using the Eberhard-Russell algorithm. It was established that lines carrying mutations *sh2*, *su1*, and *su2* differ from ordinary corn by significantly reduced linoleate content. The level of this trait in carriers of each mutation, as a rule, increased in conditions of lower air temperatures during the ripening period. In different lines based on one mutation, the linoleate content varied depending on the genotype of the line and the nature of the genotype: environment interactions. In carriers of each endosperm mutation, two types of lines with different reaction rates to fluctuations in climatic growing conditions were distinguished. In lines of one type, significant changes in linoleate content were observed with fluctuations in the temperature regime of growing, while lines of another type showed a fairly stable level of the trait under the same conditions.*

Key words: corn, endosperm mutants, linoleic acid, growing conditions

REFERENCES

- Baldin, M., Ying, Y., Fan, Y., Roth, G., Casper, D. P., & Harvatine, K. J. (2018). Characterization of linoleic acid (C18:2) concentration in commercial corn silage and grain hybrids. *Journal of Dairy Science*, 101 (1), 222-232. DOI: 10.3168/jds.2017-12972
- Barrera-Arellano, D., Badan-Ribeiro, A. P., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn oil: composition, processing, and utilization. In S. O. Serna-Saldivar (Ed.), *Corn: chemistry and technology: monography* (pp. 593-613). Duxford, UK: Woodhead Publ. DOI: 10.1016/B978-0-12-811971-6.00021-8.
- Belinato, G., Canale, L. C. F., & Totten, G. E. (2011). Effect of antioxidants on oxidative stability and quenching performance of soybean oil and palm oil quenchants. *Journal of ASTM International*, 8 (9), 1-14. DOI: 10.1520/JAI103376.
- Belo, A., Zheng, P., Luck, S., Shen, B., Meyer, D. J., Li, B. ... Rafalski, A. (2008). Whole genome scan detects an allelic variant of *fad2* associated with increased oleic acid levels in maize. *Molecular Genetics and Genomics*, 279 (1), 1-10. DOI: 10.1007/s00438-007-0289-y.
- Boyer, C. D., & Hannah, L. C. (2001). Kernel mutants of corn. In A. R. Hallauer (Ed.), *Specialty corns: monography* (pp. 8-40). Boca Raton, London, New York, Washington, DC: CRC Press. DOI: 10.1201/9781420038569.ch1.
- Canvin, D. T. (2011). The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oil seed crops. *Canadian Journal of Botany*, 43 (1), 63-69. DOI: 10.1139/b65-008.
- Changizi, M., Choucan, R., Heravan, E. M., Bihanta, M. R., & Darvish, F. (2014). Evaluation of genotype : environment interaction and stability of corn hybrids and relationship among univariate parametric methods. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 94 (7), 1255-1267. DOI: 10.4141/CJPS2013-386.
- Coe, E. H., & Schaeffer, M. L. (2005). Genetic, physical, maps and database resources for maize. *Maydica*, 50 (3), 285-303.
- Dar, A. A., Choudhury, A. R., Arumugam, N., & Kancharla, P. K. (2017). The *FAD2* gene in plants: occurrence, regulation and role. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1789. DOI: 10.3389/fpls.2017.01789.
- Hartings, H., Fracasetti, M., & Motto, M. (2012). Genetic enhancement of grain quality-related traits in maize. In Y. O. Ciftci (Ed.), *Transgenic plants: advances and limitations: monography* (pp. 191-218). Rijeka: InTech. DOI: 10.13140/2.1.2561.5369.
- Horvat, A. A., Molnar, O. O., & Minkovych, V. V. (2019). *Metody obrobky eksperymentalnykh danykh z vykorystanniam MS Excel [Methods of processing experimental data using MS Excel]: navchalnyi posibnyk*. Uzhhorod: Hoverla [in Ukrainian].

- Hurieva, I. A., Riabchun, V. K., Litun, P. P., Stepanova, V. P., Vakulenko, S. M., Kuzmishyna, N. V. ... Belkin, O. O. (2003). *Metodychni rekomendatsii polovoho ta laboratornoho vvychnnia henetychnykh resursiv kukurudzy* [Methodological recommendations for field and laboratory studies of corn genetic resources]. (2 nd ed, supplemented). Kharkiv: National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine [in Ukrainian].
- Imran, M., Lee, S.-G., Park, S.-Y., Park, H.-M., Kim, E.-H., Oh, S.-W. ... Kim, M.-J. (2024). Influence of environmental factors and genotype on natural variation in the chemical composition of maize seeds. *Sustainability*, 16, 10451. DOI: 10.3390/su162310451.
- Jandacek, R. (2017). Linoleic acid: a nutritional quandary. *Healthcare*, 5, 25. DOI: 10.3390/healthcare5020025.
- Larkins, B. A. (2019). Proteins of the kernel. In S. O. Serna-Saldivar (Ed.), *Corn: chemistry and technology*: monography (pp. 319-336). Duxford, UK: Woodhead Publ. DOI: 10.1016/B978-0-12-811971-6.00021-7.
- Li, Q., Zheng, Q., Shen, W., Cram, D., Fowler, B., Wei, Y., & Zou, J. (2015). Understanding the biochemical basis of temperature-induced lipid pathway adjustments in plants. *The Plant Cell*, 27 (1), 86-103. DOI: 10.1105/tpc.114.134338.
- Menard, G. N., Moreno, J. M., Bryan, F. M., Munoz-Azcarate, O., Kelly, A. A., Hassani-Pak, K. ... Eastmond, P. (2017). Genome wide analysis of fatty acid desaturation and its response to temperature. *Plant Physiology*, 173 (3), 1594-1605. DOI: 10.1104/pp.16.01907.
- Mercola, J., & D'Adamo, C. R. (2023). Linoleic acid: a narrative review of the effects of increased intake in the standard American diet and associations with chronic disease. *Nutrients*, 15, 3129. DOI: 10.3390/nu15143129.
- Pelly, J. W. (2012). Fatty acid and triglyceride metabolism. In J. W. Pelly (Ed.), *Elsevier's integrated review biochemistry*: monography (2nd ed.). (pp. 81-89). Philadelphia: Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-323-03410-4.50016-x.
- Rajendran, A., Chaudhary, D., & Mahajan, V. (2017). Corn oil research and improvement: a review. *Journal of Crop and Weed*, 13 (2), 247-252. Retrieved from <https://www.cropandweed.com/archives/2017/vol13issue2/13-2-44.pdf>
- Raven, J. A. (2005). Cellular location of starch synthesis and evolutionary origin of starch genes. *Journal of Phycology*, 41 (6), 1070-1072. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2005.00157.x.
- Rolletschek, H., Borisjuk, L., Sanchez-Garcia, A., Gotor, C., Romero, L. C., Martinez-Rivas, J. M., & Mancha, M. (2007). Temperature-dependent endogenous oxygen concentration regulates microsomal oleate desaturase in developing sunflower seeds. *Journal of Experimental Botany*, 58 (12), 3171-3181. DOI: 10.1093/jxb/erm154.
- Salimon, J., Salih, N., & Yousif, E. (2012). Industrial development and applications of plant oils and their biobased oleochemicals. *Arabian Journal of Chemistry*, 5 (2), 135-145. DOI: 10.1016/j.arabjch.2010.08.007.
- Shannon, J. C., Garwood, D. L., & Boyer, C. D. (2009). Genetics and physiology of starch development. In J. BeMiller, & R. Whistler (Eds.), *Starch: chemistry and technology*: monography (3rd ed.). (pp. 23-82). Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New-York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo: Elsevier - Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-746275-2.00003-3.
- Tracy, W. F., Shuler, S. L., & Dodson-Swenson, H. (2019). The use of endosperm genes for sweet corn improvement. In I. Goldman (Ed.), *Plant breeding reviews: book of scientific papers* (Vol. 43, pp. 215-241). Hoboken, NJ: Wiley & Sons. DOI: 10.1002/9781119616801.ch6.
- Tymchuk, D. S., Sadovnichenko, I., Tymchuk, N., Potapenko, H., & Torianik, I. (2021). Oleic acid glycerides content in the oils of maize endospermic mutants and its dependence on temperature during ripening. In *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact and Applied Sciences*, 75, 5 (734), 403-410. DOI: 10.2478/prolas-2021-0059.
- Tymchuk, D. S. (2023). Palmitic acid glyceride content in maize lines - carriers of the *wx* and *sh1* mutations depending on the air temperature during the ripening period. *Acta Agrobotanica*, 76 (1), 169047. DOI: 10.5586/aa/169047.
- Vanhercke, T., Wood, C. C., Stymme, S., Singh, S. P., & Green, A. G. (2013). Metabolic engineering of plant oils and waxes for use as industrial feedstocks. *Plant Biotechnology Journal*, 11 (2), 197-210. DOI: 10.1111/pbi.12023.
- Wang, K., Henry, R. J., Golbert, R. G. (2014). Causal relations among starch biosynthesis, structure and properties. *Springer Science Review*, 2, 15-33. DOI: 10.1007/s40362-014-0016-0
- Wassom, J. J., Mikkelineni, V., Bohn, M. O., & Rocheford, T. R. (2008). QTL for fatty acid composition of maize kernel oil in Illinois High Oil x B73 backcross-derived lines. *Crop Science*, 48 (1), 69-78. DOI: 10.2135/cropsci2007.04.0208.
- Yang, X., Guo, Y., Yan, J., Zhang, J., Song, T., & Rocheford, T. (2010). Major and minor QTL and epistasis contribute to fatty acid compositions and oil concentration in high-oil maize. *Theoretical and Applied Genetics*, 120 (3), 665-678. DOI: 10.1007/s00122-009-1184-1.
- Zhao, X., Wei, J., He, L., Zhang, Y., Zhao, Y., Xu, X. ... Xu, J. (2019). Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature. *Genes*, 10, 445. DOI: 10.3390/genes10060445.
- Zhuang, X.-Y., Zhang, Y.-H., Xiao, A.-F., Zhang, A.-H. & Fang, B.-S. (2022) Key enzymes in fatty acid synthesis pathway for bioactive lipids biosynthesis. *Frontiers in Nutrition*, 9, 851402. DOI: 10.3389/fnut.2022.851402.

Одержано 16.12.2025 р.
Прийнято до друку 23.12.2025 р.

УДК 581.48.143:635.657

DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352476>

О. О. Ткачук

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського
вул. Острозького, 32. Вінниця, 21100, Україна
ORCID: 0000-0002-6649-7975

О. А. Шевчук

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського
вул. Острозького, 32. Вінниця, 21100, Україна
ORCID: 0000-0003-3727-9239

С. В. Поливаний

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського
вул. Острозького, 32. Вінниця, 21100, Україна
stepan.polivaniy@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8457-8894

О. О. Ходаніцька

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського
вул. Острозького, 32. Вінниця, 21100, Україна
ORCID: 0000-0001-5887-1755

О. А. Матвійчук

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського
вул. Острозького, 32. Вінниця, 21100, Україна
ORCID: 0000-0002-3695-0433

ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ТА МОРФОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОСЛИН *CICER ARIETINUM* L. ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІСТРЕГУЛЮЮЧИХ ПРЕПАРАТІВ

Вивчали вплив рістрегулюючих препаратів Крезацін ВР, Рівал, Епін-Екстра та Циркон на лабораторну схожість насіння та морфометричні показники рослин нуту звичайного (*Cicer arietinum* L.) сорту Тріумф.

Передпосівна обробка насіння нуту звичайного регуляторами росту рослин викликала зростання показників посівних якостей насіння і їх морфобіометричних показників.

Вплив рістрегулюючих препаратів на енергію проростання та лабораторну схожість насіння нуту звичайного визначався видом препарату. Найкращий ефект було виявлено за використання рістрегулюючих препаратів Епін-Екстра та Циркон, які підвищували енергію проростання, в порівнянні з контролем, на 15,4 і 9,0 % і схожість насіння – на 13,8 і 9,5 % відповідно. Підвищення інтенсивності проростання насіння відмічено і при застосуванні препарату Рівал: енергія проростання зростала на 5,1 %, а схожість – на 11,3 %. При застосуванні препарату Крезацін ВР величина енергії проростання була на рівні контролю, а показник лабораторної схожості зростав на 6,3 %.

Встановлено, що рістрегулюючі препарати сприяли більш дружньому проростанню насіння нуту. За передпосівної обробки насіння препаратами Циркон, Епін-Екстра та Рівал дружність проростання зростала на 13,8 %, 9,5 % та 9,2 % відповідно. Найменший ефект даного показника відмічено за використання препарату Крезацін ВР (+2,5 %).

Відмічено позитивний вплив рістрегулюючих препаратів на морфологічні показники рослин нуту на початковому періоді їх росту та розвитку.

Застосування рістрегулюючих препаратів на насінні нуту звичайного призводило до збільшення варіювання довжини проростків і довжини зародкових корінців, що відобразилося на розмаху варіації даних показників. Усі дослідні варіанти за розмахом варіювання довжини проростка та довжини зародкового корінця перевищували контроль відповідно на 5,6–11,7 % та 1,3–39,6 %. Це могло відбутися за рахунок стимуляції більш слабких ембріонів.

Ключові слова: нут звичайний (*Cicer arietinum* L.), регулятори росту рослин, схожість, морфогенез, енергія проростання, ріст і розвиток, проросток.

Вступ. Дефіцит білка – одна з найбільш важливих проблем у сучасному сільськогосподарському виробництві. Нестача повноцінного рослинного білка призводить до погіршення забезпечення населення продуктами харчування, перевитрати кормів та підвищення собівартості тваринницької продукції.

Із зернобобових культур у нашій державі найбільшого поширення набули горох та соя. Але в останні роки посівні площі під цими культурами скоротилися через складнощі при збиранні, накопичення специфічних хвороб та шкідників, а також зі зміною кліматичних умов. Тому для стійкого виробництва повноцінного рослинного білка необхідно ширше впроваджувати перспективні зернобобові культури, такі як нут та чину, обробіток яких дозволить значно стабілізувати виробництво високобілкового зерна та підвищити стійкість виробництва (Бушулян, & Січкач, 2018).

Особлива значимість нуту полягає, насамперед, у його здатності фіксувати азот повітря. Завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями (у тому числі посиленому інокуляцією насіння спеціалізованими препаратами), нут збагачує ґрунт доступним азотом. З цієї причини він є незамінним попередником для зернових та інших небобових культур. Крім того, нут має глибоку кореневу систему, що дозволяє йому ефективно засвоювати елементи живлення та використовувати мінеральні сполуки з глибоких шарів ґрунту, які є важкодоступними для культур із поверхневою кореневою системою, таких як злаки (Мазур, Дідур, Панцирева & Мордванюк, 2021; Гончар, 2023).

Нут – найпосухостійкіша зернобобова культура, що відрізняється стійкістю до більшості хвороб та шкідників, до яких сприйнятливі інші культури родини бобових. Боби при дозріванні не розтріскуються, культура не вилягає і придатна для механізованого збирання. Вегетаційний період її короткий, тому для зернових культур нут є цінним попередником.

Включення нуту в сівозміни дозволить повніше використовувати переваги плодозміни, підвищити родючість ґрунту та загальну врожайність наступних культур (Пущак, 2018).

Бушулян О. В. та Січкач В. І. (2011) стверджують, що особливе значення в розробленні технологій вирощування нуту займають гербіциди, оскільки дана культура є чутливою до забур'яненості посівів, особливо на ранніх етапах органогенезу. Однак гербіциди чинять негативний вплив на агрофітоценози та природні фітоценози. Тому актуальним є пошук шляхів зниження негативної дії хімічних речовин на посіви культури, серед яких слід виокремити часткову заміну останніх на біологічні препарати природного походження – бактеріальні та із ристрегулювальною дією.

Посівні якості насіння та морфологічні параметри з використанням біопрепаратів досліджені на багатьох бобових культурах: сої (Ходаніцька, Погоріла, Шевчук, Ткачук & Рудик, 2024), горосі (Ходаніцька, Шевчук, Ткачук, Погоріла & Матвійчук, 2023; Шевчук, Поліваний, Ходаніцька, Ткачук & Матвійчук, 2021), сочевиці і квасолі (Ходаніцька, Шевчук & Ткачук, 2021) та інших.

Проте в посівах нуту дія сучасних регуляторів росту рослин не достатньо досліджена. В зв'язку з цим метою даного дослідження було вивчити вплив різних біопрепаратів на якісні показники насіння та морфологічні характеристики рослин *Cicer arietinum* L.

Матеріал та методи. В якості об'єкта дослідження використовували нут звичайний сорту Тріумф.

Посівні характеристики (схожість і енергію проростання) насіння визначали із чистої фракції насіння (по 50 штук). Показники енергії проростання насіння визначали на третю добу, а схожість – на сьому добу (ДСТУ 4138-2002). Насіння нуту замочували у водних розчинах з розрахунку: Крезацін ВР – 0,015 мл/л, Рівал – 1 мл/л; Епін-Екстра – 0,025 г/л; Циркон – 1 мл/л. Замочування насіння контрольного варіанту проводилося у водопровідній воді.

Насіння пророщували в чашках Петрі у термостаті з постійною температурою 20°C. В якості субстрату використовували фільтрувальний папір. Досліди здійснювали у 6-кратній повторності.

Морфологічні показники рослин нуту та їх біомасу визначали одночасно з лабораторною схожістю через кожні три – п'ять – сім днів.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили методом аналізу з порівнянням середніх арифметичних та значущості різниці між ними на персональному комп'ютері із використанням спеціальних пакетів прикладних програм типу Excel, Statistika (Крушельницька, 2003).

Результати та їх обговорення. В ході проведеного дослідження виявлений вплив обробки насіння рістрегулюючими препаратами на енергію проростання (табл. 1, рис. 1). При порівнянні з контролем по досліджуваних варіантах відмічено наступне підвищення показника енергії проростання насіння: для препарату Епін-Екстра показник зростав на 15,4 %, Циркон – на 9,0 %, Рівал – на 5,1 %. Достовірного підвищення показника енергії проростання не виявлено за використання рістрегулюючого препарату Крезацін ВР.

Таблиця 1

Показники посівних якостей насіння нуту сорту Тріумф за дії рістрегулюючих препаратів

Варіанти досліджу	Енергія проростання		Лабораторна схожість		Дружність проростання	
	%	± % до контролю	%	± % до контролю	%	± % до контролю
Контроль	78	–	80	–	28,3	–
Крезацін ВР	78	0	85	+5	29,0	+0,7
Циркон	85	+7	92	+12	32,2	+3,9
Епін-Екстра	90	+12	95	+15	31,0	+2,7
Рівал	82	+4	89	+9	30,9	+2,6

Аналогічний вплив препаратів відзначено і при оцінці їх дії на величину лабораторної схожості насіння, але відмінності щодо варіантів тут проявилися краще, ніж відносно енергії проростання. Так, обробка насіння препаратом Епін-Екстра сприяла, порівняно з контролем, збільшенню лабораторної схожості насіння на 18,8 %, а препаратами Циркон та Рівал – на 15,0 та 11,3 %, відповідно. Крезацін ВР проявив дещо менший вплив на інтенсивність ростових процесів, у порівнянні з іншими досліджуваними препаратами. Величина енергії проростання у цьому досліджуваному варіанті була на рівні контролю, а показник лабораторної схожості зростав на 6,3 % у порівнянні з контрольним варіантом.

Слід відмітити, що всі застосовані нами рістрегулюючі препарати сприяли більш дружньому проростанню насіння нуту і підвищували цей показник. Під час передпосівної обробки насіння препаратами Циркон, Епін-Екстра та Рівал дружність проростання зростала

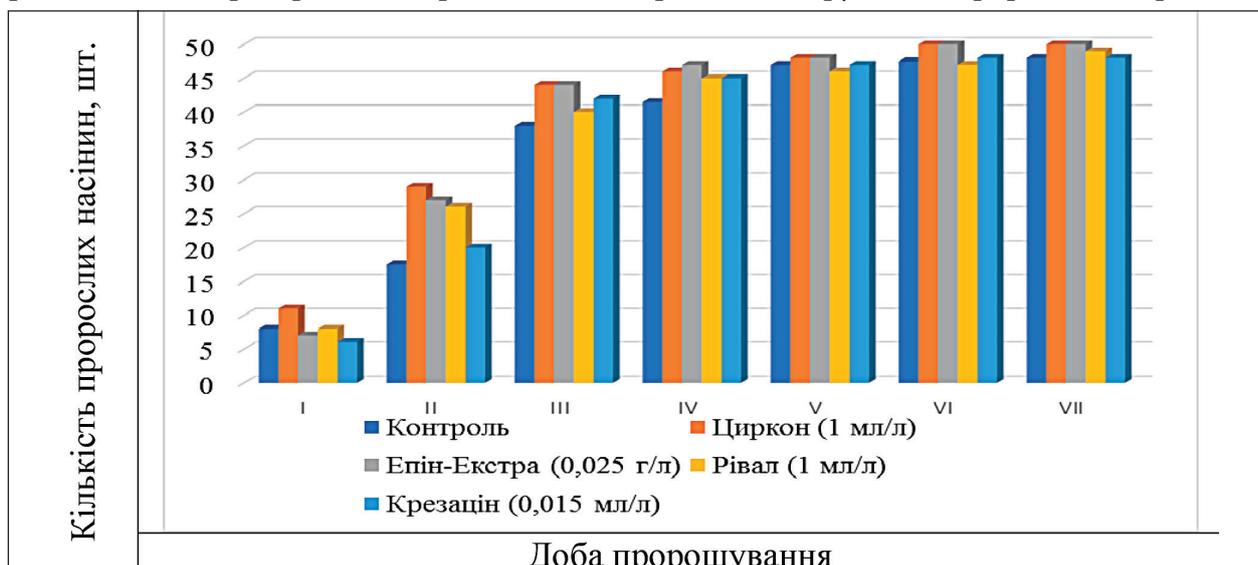


Рис. 1. Вплив рістрегулюючих препаратів на інтенсивність проростання насіння нуту.

на 13,8 %, 9,5 % та 9,2 % відповідно. Найменший ефект даного показника відмічено за використання препарату Крезацін ВР (+2,5 %).

Отже, вплив рістрегулюючих препаратів на енергію проростання та лабораторну схожість насіння нуту сорту Тріумф визначався видом препарату. Найкращий ефект було виявлено за використання препаратів Епін-Екстра та Циркон. Підвищення інтенсивності проростання насіння відмічено і при застосуванні препарату Рівал, у варіанті ж із вирощуванням Крезаціну ВР величина енергії проростання була на рівні контролю, а показник лабораторної схожості зростав на 6,3 %.

Вивчення особливостей ростових процесів сільськогосподарських рослин під час використання рістрегулюючих препаратів у конкретних умовах певної ґрунтово-кліматичної зони є дуже актуальним, оскільки є матеріальною основою підвищення потенційної продуктивності рослин під впливом досліджуваних чинників.

У дослідженні відмічено позитивний вплив рістрегулюючих препаратів на морфологічні показники рослин нуту на початковому періоді їх росту та розвитку (табл. 2).

Відмічено, що за обробки насіння нуту препаратами Циркон та Епін-Екстра довжина проростка порівняно з контрольним варіантом збільшувалася на 8,3 %, а під час застосування Рівалу – на 13,5 %. У варіанті з препаратом Крезацін ВР проросток був меншим, ніж у контролі, на 5,8 %. Водночас відзначено позитивний вплив даного препарату на довжину зародкового корінця, яка тут склала 10,8 см при 9,7 см у контролі, тобто збільшилась на 11,3 %. Обробка насіння нуту Цирконом, Епіном–Екстра та Рівалом також сприяла збільшенню довжини зародкового корінця. Це збільшення щодо контролю відповідно склало 5,2; 6,2 та 8,2 %.

Таблиця 2

Морфологічні показники рослин нуту сорту Тріумф за дії рістрегулюючих препаратів

Варіанти досліджу	Довжина проростка, см	Довжина зародкового корінця, см
Контроль	9,6±0,6	9,7±0,6
Крезацін ВР	9,2±0,7*	10,8±0,4
Циркон	10,4±0,6*	10,2±0,6*
Епін–Екстра	10,4±0,6*	10,3±0,4*
Рівал	10,9±0,4*	10,5±0,6*

Примітка: * – різниця між контролем і дослідом достовірна для $P \leq 0,05$.

Обробка насіння нуту регуляторами росту призводила до збільшення варіювання довжини проростків і довжини зародкових корінців, що відобразилося на розмаху варіювання даних показників. Усі варіанти за розмахом варіювання довжини проростка та довжини зародкового корінця перевищували контроль відповідно на 5,6–11,7 % та 1,3–39,6 %. Це могло відбутися за рахунок стимуляції більш слабких ембріонів.

Розрахунки виявили сильний кореляційний зв'язок збільшення біомаси 100 паростків, 100 зародкових корінців та 100 проростків із впливом регуляторів росту. При цьому частка участі рістрегулюючих препаратів у варіюванні біомаси склала відповідно 65,5 %, 55,9 % та 62,5 % (табл. 3).

Встановлено, що рістрегулюючі препарати впливали на суху біомасу проростків нуту. Так, за використання препаратів Циркон, Крезацін ВР та Рівал маса сухої речовини проростків збільшувалася на 2,2 %, 1,1 % та 9,8 % відповідно, у порівнянні з контрольним варіантом. Обробка насіння препаратом Епін-Екстра призводила до зниження даного показника на 8,2 %.

Всі досліджувані регулятори росту рослин сприяли збільшенню сухої біомаси 100 зародкових корінців рослин нуту. Застосування препаратів Крезацін ВР, Циркон, Епін-Екстра та Рівал викликало збільшення даного показника на 11,6 %, 5,5 %, 2,4 % та 27,4 % відповідно.

**Вплив рістрегулюючих препаратів на накопичення
сухої біомаси проростками нуту сорту Тріумф**

Варіант досліду	Суха біомаса			Співвідношення органів у біомасі проростків, %	
	100 паростків, г	100 зародкових корінців, г	100 проростків, г	паростки	зародкові корінці
Контроль	1,83±0,10	1,64±0,03	3,47±0,11	52,7	47,3
Крезацін ВР	1,68±0,08*	1,83±0,13*	3,51±0,11*	47,9	52,1
Циркон	1,87±0,07	1,73±0,20*	3,60±0,26*	51,9	48,1
Епін-Екстра	1,85±0,12	1,68±0,17	3,53±0,25*	52,4	47,6
Рівал	2,01±0,06*	2,09±0,21*	4,10±0,23*	49,0	51,0

Примітка: * – різниця між контролем і дослідом достовірна для $P \leq 0,5$.

Виявлено, що досліджувані регулятори росту рослин викликали збільшення сухої біомаси 100 проростків рослин нуту. Застосування препаратів Крезацін ВР, Циркон, Епін-Екстра та Рівал призводило підвищення даного показника на 1,2 %, 3,7 %, 1,7 % та 18,2 % відповідно.

Аналіз досліджень показав, що у порівнянні з контролем статистично достовірно збільшення біомаси 100 паростків, 100 зародкових корінців та 100 проростків відзначалося тільки у варіанті з препаратом Рівал.

Вплив рістрегулюючих препаратів на співвідношення органів у біомасі рослин нуту визначалося видом препарату. Так, Циркон та Епін-Екстра в порівнянні з контролем практично не вплинули на співвідношення паростків і зародкових корінців у біомасі проростка. Крезацін ВР та Рівал більшою мірою впливали на накопичення біомаси зародкових коренів, ніж паростків, що привело, в порівнянні з контролем, до збільшення їх частки у біомасі рослин.

Висновки. Встановлено, що передпосівна обробка насіння нуту сорту Тріумф рістрегулюючими препаратами підвищувала показники енергії проростання та схожості насіння. За обробки насіння препаратами Епін-Екстра, Циркон і Рівал лабораторна схожість та енергія проростання зростала на 18,8 % та 15,4 %, 15,0 % та 9,0 % і 11,3 % та 5,1 % відповідно у порівнянні з контролем. Крезацін ВР проявив дещо менший вплив на інтенсивність ростових процесів. Достовірного підвищення показника енергії проростання за використання препарату Крезаціну ВР не виявлено.

Рістрегулюючі препарати сприяли більш дружньому проростанню насіння нуту. Під час передпосівної обробки насіння препаратами Циркон, Епін-Екстра та Рівал дружність проростання зростала на 13,8 %, 9,5 % та 9,2 % відповідно. Найменший ефект даного показника відмічено за використання препарату Крезацін (+2,5 %).

Обробка насіння нуту регуляторами росту призводила до збільшення варіювання довжини проростків і довжини зародкових корінців, що відобразилося на розмаху варіювання даних показників. Усі дослідні варіанти за розмахом варіювання довжини проростка та довжини зародкового корінця перевищували контроль відповідно на 5,6–11,7 % та 1,3–39,6 %. Це, за нашим припущенням, відбулося за рахунок стимуляції більш слабких ембріонів.

Отримані результати свідчать про доцільність подальшого поглибленого вивчення впливу рістрегулюючих препаратів на ріст, розвиток і продуктивність нуту. Перспективними напрямками подальших досліджень є оцінка дії різних норм і способів застосування регуляторів росту не лише на посівні якості насіння, а й на формування рослин упродовж вегетаційного періоду, зокрема на розвиток кореневої системи, фотосинтетичну активність і елементи структури врожаю. Окрему увагу слід приділити дослідженню реакції різних сортів нуту на застосування рістрегулюючих препаратів з метою встановлення сортоспецифічних особливостей та оптимізації технологій вирощування культури, а також взаємодії

регуляторів росту з мікробіологічними препаратами та елементами мінерального живлення, що може сприяти підвищенню ефективності використання поживних ресурсів ґрунту і стабільності врожайності нуту в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бушулян О. В., Січкач В. І. Нут – зернобобова культура для Півдня. *Farmer*. 2018. № 4. С. 66–68.
- Бушулян О. В., Січкач В. І. Сучасна технологія вирощування нуту: метод, рекомендації. Одеса: СГІ-НЦНС, 2011. 31 с. URL: https://ukraine-pulse.org/images/doc/modern_technology_of_growing_chickpea.pdf
- Гончар М. В. Дослідження сортових ресурсів нуту (*Cicer arietinum* L.) в Україні. *Аграрні інновації*. 2023. № 22. С. 31–35. DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.5>
- ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01] URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465
- Крушельницька О. В. Методологія та організація наукових досліджень: навч. посіб. Київ: Кондор, 2003. 192 с.
- Мазур В. А., Дідур І. М., Панцирева Г. В., Мордванюк М. О. Економічна ефективність технологічних прийомів вирощування нуту. *Сільське господарство та лісництво*. 2021. № 21. С. 24–33. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2021_21_4.
- Пушак В. І. Продуктивність сортів нуту залежно від норм висіву в умовах Лісостепу Західного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2018. Вип. 28. С. 104–111. URL: https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/234/205
- Ходаніцька О. О., Погоріла, Л. Г., Шевчук О. А., Ткачук О. О., Рудик О. В. Врожайність сої за впливу мікробних препаратів. *Корми і кормовиробництво*. 2024. № 97. С. 77–84. Khodanitska, O. O., Pohorila, L. H., Shevchuk, O. A., Tkachuk, O. O., & Rudyk, O. V. (2024). Rproductivity of soybeans under the influence of microbial preparations. *Feeds and Feed Production*, (97), 77-84. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202497-08>
- Ходаніцька О. О., Шевчук О. А., Ткачук О. О. Вплив стимуляторів росту на проростання бобових культур. *Грааль науки*. 2021. № 7. С. 125–130. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/grail-of-science/article/view/14286>
- Ходаніцька О. О., Шевчук О. А., Ткачук О. О., Погоріла Л. Г., Матвійчук О. А. Особливості проростання насіння гороху озимого за дії регуляторів росту. *Корми і кормовиробництво*. 2023. Вип. 95. С. 88–96. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/a5bb/13daf3704b4b818dedabc07382fc4e002e6f.pdf>
- Шевчук О. А., Поливаний С. В., Ходаніцька О. О., Ткачук О. О., Матвійчук О. А. Дія бактеріального та стимулюючого препаратів на проростання насіння гороху ярого. *Біологія та екологія*. 2021. Т. 7, № 2. С. 55–61. URL: <http://dspace.pnpu.edu.ua/handle/123456789/19909>

SEED QUALITY AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *CICER ARIETINUM* L. PLANTS USING GROWTH REGULATORS

Tkachuk O., Shevchuk O., Polyvanyi S., Khodanitska O., Matviichuk O.

Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University

*The effect of growth regulators Krezatsin BP, Rival, Epin-Extra and Zircon on laboratory seed germination and morphometric indicators of chickpea plants (*Cicer arietinum* L.) of the Triumph variety was studied.*

Pre-sowing treatment of chickpea seeds with plant growth regulators caused an increase in the indicators of seed quality and their morphobiometric indicators.

The effect of growth regulators on germination energy and laboratory germination of chickpea seeds was determined by the type of preparation. The best effect was found when using growth regulators Epin-Extra and Zircon, which increased germination energy, compared to the control, by 15,4 and 9,0 % and seed germination by 13,8 and 9,5 %, respectively. An increase in the intensity of seed germination was also noted when using the preparation Rival: germination energy increased by 5,1 %, and germination – by 11,3 %. When using Krezatsin BP, the germination energy value remained at the control level, and the laboratory germination index increased by 6,3 %.

It was found that growth regulators contributed to more synchronous germination of chickpea seeds. With pre-sowing treatment of seeds with Zircon, Epin-Extra and Rival, the germination uniformity increased by 13,8 %, 9,5 % and 9,2 %, respectively. The smallest effect of this indicator was noted when using the Krezatsin BP preparation (+2,5 %).

A positive effect of growth regulators on the morphological indicators of chickpea plants was observed during the initial period of their growth and development.

The use of plant growth regulators on chickpea seeds led to an increase in the variation of the length of seedlings and the length of embryonic roots, which was reflected in the range of variation of these indicators. All experimental variants exceeded the control in terms of the range of variation of seed-

ling length and embryonic root length by 5,6-11,7 % and 1,3-39,6 %, respectively. This was due to the stimulation of weaker embryos.

Key words: chickpea (*Cicer arietinum* L.), plant growth regulators, germination, morphogenesis, germination energy, growth and development, seedling.

REFERENCES

- Bushulian, O. V., & Sichkar, V. I. (2011). *Suchasna tekhnolohiia vyroshchuvannia nutu* [Modern technology for growing chickpeas]. Odesa: SHI-NTsNS. Retrieved from https://ukraine-pulse.org/images/doc/modern_technology_of_growing_chickpea.pdf [in Ukrainian].
- Bushulian, O. V., & Sichkar, V. I. (2018). Nut – zernobobova kultura dlia Pivdnia [Chickpeas – a leguminous crop for the South]. *Farmer*, 4, 66-68 [in Ukrainian].
- Honchar, M. V. (2023). Doslidzhennia sortovykh resursiv nutu (*Sicer arietinum* L.) v Ukraini [Research on chickpea (*Cicer arietinum* L.) varietal resources in Ukraine]. *Ahrarni innovatsii* [Agrarian Innovations], 22, 31-35. DOI <https://doi.org/10.32848/ahrar.innov.2023.22.5> [in Ukrainian].
- Khodanitska, O. O., Pohorila, L. H., Shevchuk, O. A., Tkachuk, O. O., & Rudyk, O. B. (2024). Vrozhainist soi za vplyvu mikrobykh preparativ [Rproductivity of soybeans under the influence of microbial preparations]. *Kormy i kormovyrobnytstvo* [Feeds and Feed Production], 97, 77-84. Retrieved from <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202497-08> [in Ukrainian].
- Khodanitska, O. O., Shevchuk, O. A., & Tkachuk, O. O. (2021). Vplyv stymulatoriv rostu na prorostannia bobovykh kultur [The effect of growth stimulants on the germination of leguminous crops]. *Hraal nauky* [Grail of Science], 7, 125-130. Retrieved from <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/grail-of-science/article/view/14286> [in Ukrainian].
- Khodanitska, O. O., Shevchuk, O. A., Tkachuk, O. O., Pohorila, L. H., & Matviichuk, O. A. (2023). Osoblyvosti prorostannia nasinnia horokhu ozymoho za dii rehulatoriv rostu [Features of winter pea seed germination under the influence of growth regulators]. *Kormy i kormovyrobnytstvo* [Feed and Feed Production], 95, 88-96. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/a5bb/13daf3704b4b818dedabc07382fc4e002e6f.pdf> [in Ukrainian].
- Krushelnyska, O. V. (2003). *Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen* [Methodology and organization of scientific research]. Kyiv: Kondor [in Ukrainian].
- Mazur, V. A., Didur, I. M., Pantsyryeva, H. V., & Mordvaniuk, M. O. (2021). Ekonomichna efektyvnist tekhnolohichnykh pryomiv vyroshchuvannia nutu [Economic efficiency of technological methods of chickpea cultivation]. *Silske hospodarstvo ta lisnytstvo* [Agriculture and Forestry], 21, 24-33. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2021_21_4 [in Ukrainian].
- Pushchak, V. I. (2018). Produktivnist sortiv nutu zalezno vid norm vysivu v umovakh Lisostepu Zakhidnoho [Productivity of chickpea varieties depending on sowing rates in the conditions of the Western Forest-Steppe]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika* [Podilsky Visnyk: Agriculture, Technology, Economics], 28, 104-111. Retrieved from https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/234/20 [in Ukrainian].
- Shevchuk, O. A., Polyvani, S. V., Khodanitska, O. O., Tkachuk, O. O., & Matviichuk, O. A. (2021). Diia bakterialnoho ta stymuliuchoho preparativ na prorostannia nasinnia horokhu yarooho [The effect of bacterial and stimulating preparations on the germination of spring pea seeds]. *Biolohiia ta ekolohiia* [Biology and Ecology], 7 (2), 55-61. Retrieved from <http://dspace.pnpu.edu.ua/handle/123456789/19909> [in Ukrainian].
- State Standard of Ukraine (2002). *Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti* [Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality]. DSTU 4138-2002. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465 [in Ukrainian].

Одержано 21.10.2025 р.
Прийнято до друку 17.12.2025 р.

УДК 591.85:598.28/29

DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352477>

А. Ю. Кравцова

Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди

вул. Алчевських, 29, м. Харків, 61002, Україна

anastasiiia.kravtsova@hnpu.edu.ua

ORCID: 0009-0002-2471-1862

ПОКАЗНИКИ ЛЕЙКОЦИТАРНОЇ ФОРМУЛИ КРОВІ ТА ГЕТЕРОФІЛ-ЛІМФОЦИТАРНОГО ІНДЕКСУ ПРЕДСТАВНИКІВ РЯДУ *PASSERIFORMES*

У статті описано результати аналізу лейкоцитарної формули та гетерофіл-лімфоцитарного індексу представників різних видів ряду Горобцеподібні (*Passeriformes*) з двох локацій – Національного природного парку (НПП) «Гомільшанські ліси» та регіонального ландшафтного парку (РЛП) «Нижньоворсклянський». У НПП «Гомільшанські ліси» досліджено 53 особини 8 видів з 4 родин птахів ряду Горобцеподібні (*Passeriformes*). У РЛП «Нижньоворсклянський» було досліджено 78 особин 10 видів з 7 родин горобцеподібних птахів. Установлено, що найбільш кількісними є показники лімфоцитів – від $45,33 \pm 9,02$ у зяблика звичайного (НВП) до $73,15 \pm 3,35$ у синиці великої (ГЛ) та гетерофіли, які мали значення в межах від 30–38%, що узгоджується з референтними значеннями для *Passeriformes*. Лейкоцитарна формула представників ряду Горобцеподібні (*Passeriformes*) у НПП «Гомільшанські ліси» перебувала у межах референтних значень. Гетерофіл-лімфоцитарний індекс мав низький і середній рівень, тобто на даній ділянці був відсутній фізіологічний стрес. Лейкоцитарна формула досліджених горобцеподібних птахів у РЛП «Нижньоворсклянський» перебувала у межах референтних значень, за винятком вільшанки з показником моноцитів $11,25 \pm 1,37$, що вказує на можливий інфекційний процес при оптимальному гетерофіл-лімфоцитарному індексу. За показниками гетерофіл-лімфоцитарного індексу підвищені показники відмічені у зяблика звичайного $1,01 \pm 0,42$, що може свідчити про виражений стресовий вплив. Отримані дані розширюють наявні знання про фізіологічні показники представників *Passeriformes* та створюють основу для подальших досліджень у галузі екологічної фізіології та охорони птахів

Ключові слова: лейкоцитарна формула, гетерофіли, лімфоцити, гетерофіл-лімфоцитарний індекс, фізіологічний стрес.

Вступ. Лейкоцитарна формула та гетерофіл-лімфоцитарний індекс (Н/Л) є ключовими гематологічними показниками, що відображають стан здоров'я, рівень стресу та імунну реактивність птахів. Гетерофіли та лімфоцити, як найбільш динамічні та чутливі лейкоцитарні популяції, змінюють свої кількісні пропорції залежно від впливу внутрішніх і зовнішніх факторів – інфекцій, фізіологічного стресу, віку, умов середовища. Саме тому аналіз лейкоцитарної формули в комплексі зі співвідношенням Н/Л дозволяє виявляти фізіологічні порушення, оцінювати стан імунної системи та діагностувати приховані стресові фактори у диких популяціях. Узагальнення наукових даних (Davis, Maney, & Maerz, 2008; Jones, 2015; Maxwell, & Robertson, 1998) свідчить, що Н/Л є стабільним, чутливим та інформативним показником для оцінки хронічного стресу, а його інтерпретація у поєднанні з характеристиками окремих типів лейкоцитів дає цілісне уявлення про фізіологічний статус особини.

Незважаючи на незначну кількість робіт (Drahulian, Chaplygina, & Savynska, 2018; Davis, Maney, & Maerz, 2008; Skwarska, 2018), інтерпретація лейкоцитарної формули у диких птахів залишається проблемною, оскільки нормальні діапазони кількісних показників лейкоцитів

суттєво відрізняються між видами, віковими групами, сезонами та екологічними умовами. Це ускладнює відбір індикаторів стресу та створення універсальних діагностичних критеріїв.

Гетерофіли – центральні клітини вродженого імунітету – швидко реагують на будь-які зміни внутрішнього середовища, а їх співвідношення з лімфоцитами є одним із найбільш стабільних маркерів фізіологічного стресу. Для горобцеподібних, як екологічно пластичних, але чутливих до антропогенних впливів птахів, цей показник є особливо інформативним (Maxwell, & Robertson, 1998).

Урбанізація, шум, радіаційне забруднення, зміни клімату, паразитарний прес та зниження якості середовищ існування призводять до хронічного стресу у птахів. Н/Л індекс дозволяє виявляти фізіологічні порушення, які не проявляються зовні, але мають значний вплив на виживання й репродуктивний успіх популяцій (Skwarska et al., 2022; Carbó-Ramírez, & Zuria, 2017; Davis, Maney, & Maerz, 2008).

Наукові дослідження показують, що Н/Л пов'язаний з міграційними навантаженнями, конкуренцією у виводку (Muriel, Vida, & Gil, 2020), сезонними змінами фізіологічного стану, паразитарними захворюваннями та навіть поведінковими характеристиками (наприклад, репертуаром співу) (Sepp, Sild, & Hörak, 2010). Отже, цей індекс може слугувати універсальним інструментом для комплексного аналізу стану особини.

Вивчення лейкоцитарної формули та Н/Л дає змогу оцінювати не лише індивідуальний стан, але й загальний фізіологічний «фон» популяції, що є важливим для видів, які переживають вплив стресорів середовища або входять у вразливі групи (Carbó-Ramírez, & Zuria, 2017; Sepp, Sild, & Hörak, 2010).

Аналіз сучасних літературних джерел доводить, що дослідження лейкоцитарної формули та гетерофіл-лімфоцитарного індексу горобцеподібних птахів є надзвичайно актуальним. Дослідження цих показників у горобцеподібних має як фундаментальне значення для розуміння імунології та фізіології птахів, а також для екологічного моніторингу, оцінки добробуту диких популяцій і розробки природоохоронних заходів.

Мета дослідження. Визначити та проаналізувати показники лейкоцитарної формули крові та гетерофіл-лімфоцитарного індексу (Н/Л) горобцеподібних птахів, що мешкають на території НПП «Гомільшанські ліси» та РЛП «Нижньоворсклянський», з метою оцінки їх фізіологічного стану, рівня стресового навантаження та особливостей імунної реактивності під впливом природних та антропогенних факторів цих екосистем.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проведено у Національному природному парку «Гомільшанські ліси» (ГЛ) у Харківській області і у регіональному ландшафтному парку «Нижньоворсклянський» (НВП) Полтавської області у квітні 2023 і 2024 року відповідно. Матеріалом для досліджень слугували мазки крові, які зібрані у польових умовах у НПП «Гомільшанські ліси» та були представлені 53 особинами 8 видами 4 родини горобцеподібних птахів, мав таке видове різноманіття: синиця велика (*Parus major* Linnaeus, 1758) – 20 особин, дрізд співочий (*Turdus philomelos* Brehm, 1831) – 10 особин, зяблик звичайний (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758) – 11 особин, зеленяк звичайний (*Chloris chloris* Linnaeus, 1758) – 3 особини, дрізд чорний (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) – 3 особини, костогриз звичайний (*Coccothraustes coccothraustes* Linnaeus, 1758) – 2 особини, вільшанка (*Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758) – 2 особини, щиглик (*Carduelis carduelis* Linnaeus, 1758) – 2 особини.

У Нижньоворсклянському парку було досліджено 78 особин 10 видів 7 родин горобцеподібних птахів, а саме: дрізд співочий (*Turdus philomelos* Brehm, 1831) – 26 особин, дрізд чорний (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) – 13 особин, зеленяк звичайний (*Chloris chloris* Linnaeus, 1758) – 16 особин, зяблик звичайний (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758) – 3 особини, костогриз звичайний (*Coccothraustes coccothraustes* Linnaeus, 1758) – 2 особини, вільшанка (*Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758) – 5 особин, вівсянка звичайна (*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758) – 3 особини, горобець польовий (*Passer montanus* Linnaeus, 1758) – 4 особини, синиця велика

(*Parus major* Linnaeus, 1758) – 4 особини, сойка звичайна (*Garrulus glandarius* Linnaeus, 1758) – 2 особини.

Відлов птахів здійснювався за допомогою орнітологічних павутичних сіток, забір крові відбирали із підкрилової вени, згодом виготовляли мазки крові на чистих, знежирених скельцях (Campbell, & Grant, 2022).

Мазки висушували на повітрі до повного висихання, після цього проводили фіксування за допомогою метанолу (Owen, 2011).

Фарбування мазків виконували завдяки експрес методу Лейкоциф 200 (LDF 200) згідно інструкції. За допомогою світлового мікроскопу «Optica» відбувався розрахунок лейкоцитарної формули, суть якого полягає у розрахунку 100 клітин та визначення їх відсоткового співвідношення. Статистична обробка результатів проводилася у програмному забезпеченні Microsoft Office Excel 2016 у якому відбувався розрахунок середньої арифметичної величини (M), середньої арифметичної похибки та середнього арифметичного відхилення.

Дослідження проводилися з дотриманням норм біоетики відповідно до вимог «Конвенції про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі» (Бернська конвенція, 1979). Відповідно до положень «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для дослідних та інших наукових цілей» (Страсбург, 1986), а також Закон України «Про тваринний світ» ВВР, 2002, № 14, ст. 97. Закон України «Про захист тварин від жорстокого поводження» ВВР, 2006, № 27, ст. 230 і Положення про Комітет з питань етики (біоетики) (Нормативний документ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України. Наказ від 19.11.2012 р. № 1287).

Результати та їх обговорення. Лейкоцити у птахів поділяються на 5 типів: гетерофіли, базофіли, еозинофіли, лімфоцити та моноцити. Гетерофіл являється найпоширенішим гранулоцитом, який виявлений у периферичній крові (рис.1). Ядро містить грубо згорнутий хроматин і зазвичай має два-три сегменти, цитоплазма безбарвна. Гетерофілія може бути пов'язана з гострими або хронічними запальними та інфекційними захворюваннями, стресом або може бути виявлена у молодих птахів (Jones, 2015).

Еозинофіли мають округлу форму з блідо-блакитною цитоплазмою. Гранули еозинофілів здебільшого округлі, хоча розмір, форма і колір можуть відрізнятися у різних видів птахів. У порівнянні з гранулами гетерофілів, еозинофільні гранули мають яскравіший колір, така різниця пояснюється вищою концентрацією аргініну в гранулах еозинофілів. Етіологія еозинофілії у птахів часто може бути нез'ясованого генезу. Еозинофілія може бути пов'язана з пошкодженням тканин, паразитарними захворюваннями або алергічним станом, але це не завжди так, еозинопенія рідко зустрічається у птахів. Базофіли зустрічаються в мазках крові птахів в малих кількостях. Базофільні гранули в цитоплазмі мають невеликі розміри. Їхню участь в запальних та алергічних реакціях, зокрема при респіраторних захворюваннях та хламідійних інфекціях (Jones, 2015).

Лімфоцити мають кругле ядро, а також високе ядерно-цитоплазматичне співвідношення, становлять до 70% циркулюючих лейкоцитів, поділяються за розміром на малі, середні та великі лімфоцити. Малі або середні лімфоцити є найпоширенішими з 3 типів лімфоцитів у периферичній крові (рис. 2). Лімфоцитоз не є звичайним явищем у птахів, хоча явне збільшення може спостерігатися при певних інфекційних захворюваннях. Лімфопенія може виникати у випадку вираженого збільшення гетерофілів.

Моноцити мають найбільші розміри у порівнянні з іншими лейкоцитами та різну форму, їх часто плутають з великими лімфоцитами, ядро кругле, дволопате, цитоплазма синьо-сіра. Моноцити є фагоцитарними клітинами, потрапляючи в тканини, вони трансформуються в макрофаги (Jones, 2015).

Нами було проведено розрахунки лейкоцитарної формули крові досліджених видів птахів. У (табл. 1) наведено показники лейкоцитарної формули крові різних представників видів ряду Горобцеподібні (Passeriformes). Для кожного виду подано середні значення ($M \pm m$) відносного вмісту основних видів лейкоцитів: гетерофілів, еозинофілів, моноцитів,

лімфоцитів і базофілів, де окремо визначено для ділянки «ГЛ» («Гомільшанські ліси») та «НВП» («Нижньоворсклянський» парк). Також було визначено гетерофіл-лімфоцитарний індекс (Г/Л), який є інформативним показником фізіологічного стресу у птахів (табл. 1).

Аналіз показників лейкоцитарної формули ряду Горобцеподібні (Passeriformes) показав, що найбільш поширеними клітинами були лімфоцити з пропорціями від $45,33 \pm 9,02$ у зяблика звичайного (НВП) до $73,15 \pm 3,35$ у синиці великої (ГЛ).

У більшості видів відсоток лімфоцитів у лейкограмі перевищує 50%, що є типовим для диких птахів. Частка гетерофілів у більшості досліджених видів коливається в межах від 30-38%, що узгоджується з референтними значеннями для Passeriformes. Виняток становить синиця велика, у якої в обох парках зафіксовано значно нижчий рівень гетерофілів ($21,75 \pm 3,26$ та $23 \pm 2,73\%$ відповідно), що може вказувати на імунологічну специфіку виду. Рівень еозинофілів сигналізує про алергічні та паразитарні навантаження. Значення коливаються від $0,8 \pm 0,50$ у синиці великої (ГЛ) до $4,66 \pm 0,66$ у зяблика звичайного (НВП), проте значення залишаються низькими, що характерно для здорових птахів.

Частка моноцитів у більшості досліджених видів помірна і складає від $3,09 \pm 0,60$ до $7,5 \pm 0,5$ (табл. 1). Вищі значення спостерігаються у зеленяка звичайного $8,72 \pm 0,73$ і дрозда співочого $8,78 \pm 0,53$ з території НВП. У вільшанки з НВП зафіксовано найбільші показники моноцитів – $11,25 \pm 1,37$, що може бути зумовлено активнішою участю моноцитів у фагоцитозі у весняний період. Базофіли у більшості видів зберігаються на рівні $\leq 1\%$, найбільші значення спостерігали у горобця польового $3 \pm 0,57$ і синиці великої $3 \pm 1,22$ обидва види з НВП, хоча і вони також відповідають нормальним показникам.

Гетерофіл-лімфоцитарний індекс мав найнижчі значення у синиці великої $0,30 \pm 0,05$ і $0,36 \pm 0,06$ у (ГЛ і НВП), що свідчить про низький рівень стресу та вказує на підвищену стресостійкість або інший тип фізіологічної адаптації. У більшості видів індекс коливається в межах 0,4–0,77, що характерно для відносно стабільного фізіологічного стану. Підвищені показники відмічені у зяблика звичайного (до $1,01 \pm 0,42$ у НВП), що може сигналізувати про виражений стресовий вплив.

Загалом лейкоцитарна формула представників ряду Горобцеподібні перебувала у межах референтних значень, за винятком вільшанки з показником моноцитів $11,25 \pm 1,37$ (табл. 1), що вказує на можливий інфекційний процес, хоча у даного виду гетерофіл-лімфоцитарний індекс знаходився у межах норми.

Отримані дані аналізу лейкоцитарної формули горобцеподібних птахів загалом узгоджуються з попередніми дослідженнями, що описують широкий спектр фізіологічних відповідей на дію вікових,

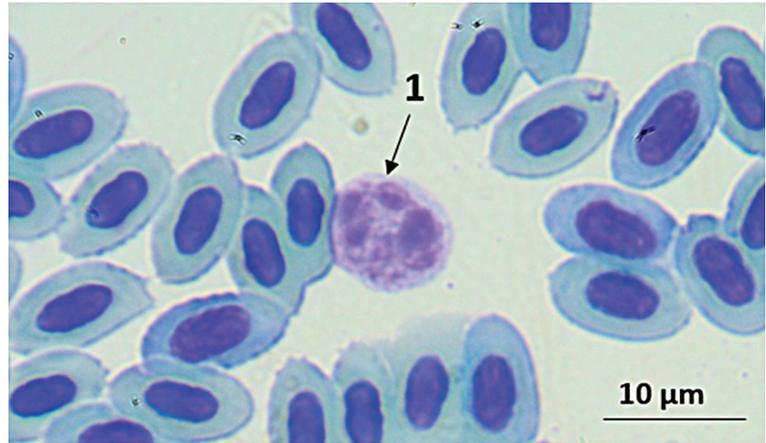


Рис. 1. Мазок крові вільшанки (*Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758). Гістонпрепарат (Лейкоциф 200, x1000). 1 – гетерофіл.

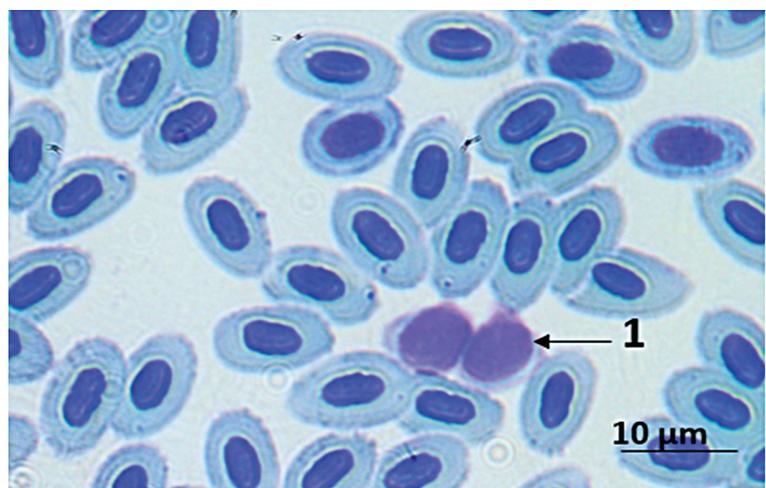


Рис. 2. Мазок крові зеленяка звичайного (*Chloris chloris* Linnaeus, 1758). Гістонпрепарат (Лейкоциф 200, x1000). 1 – лімфоцит.

Таблиця 1

Показники лейкоцитарної формули крові Passeriformes (M±m)

Вид n(ГЛ)/n(НВП)	Гетерофіли		Еозинофіли		Моноцити		Лімфоцити		Базофіли		Г/Л індекс	
	ГЛ	НВП	ГЛ	НВП	ГЛ	НВП	ГЛ	НВП	ГЛ	НВП	ГЛ	НВП
Дрізд співочий <i>Turdus philomelos</i> 10/26	33,9 ± 1,53	36,05 ± 1,57	1,3 ± 0,34	3,36 ± 0,31	3,5 ± 0,65	8,78 ± 0,53	60,1 ± 1,36	50,21 ± 1,81	1,2 ± 0,26	1,57 ± 0,25	0,57 ± 0,03	0,75 ± 0,06
Дрізд чорний <i>Turdus merula</i> 3/13	33,66 ± 4,80	36,55 ± 2,39	1,33 ± 0,88	1,88 ± 0,26	4,33 ± 1,20	8,33 ± 0,40	60,33 ± 6,69	51,88 ± 1,98	0,33 ± 0,33	1,33 ± 0,47	0,59 ± 0,16	0,72 ± 0,07
Зеленяк звичайний <i>Chloris chloris</i> 3/16	32 ± 2,64	33,90 ± 2,83	1,66 ± 0,33	2,90 ± 0,39	4,33 ± 0,88	8,72 ± 0,73	61,66 ± 2,96	52,90 ± 3,21	0,33 ± 0,33	1,54 ± 0,41	0,52 ± 0,07	0,69 ± 0,09
Зяблик звичайний <i>Fringilla coelebs</i> 11/3	31 ± 2,62	38,66 ± 9,82	1,27 ± 0,40	4,66 ± 0,66	3,09 ± 0,60	8,66 ± 0,33	64,18 ± 2,39	45,33 ± 9,02	0,45 ± 0,20	2,66 ± 0,88	0,50 ± 0,05	1,01 ± 0,42
Костоприз звичайний <i>Coccothraustes coccothraustes</i> 2/2	32,5 ± 3,5	35,5 ± 1,5	1,5 ± 0,5	2,5 ± 0,5	5 ± 1	7,5 ± 0,5	59,5 ± 2,5	54 ± 2	1,5 ± 0,5	0,5 ± 0,5	0,54 ± 0,08	0,65 ± 0,05
Вільшанка <i>Erythacus rubecula</i> 2/5	30 ± 3	36,25 ± 3,01	1,5 ± 0,5	3,5 ± 0,64	5 ± 1	11,25 ± 1,37	63 ± 2	48 ± 2,64	0,5 ± 0,5	1 ± 0,40	0,47 ± 0,06	0,77 ± 0,09
Вівсянка звичайна <i>Emberiza citrinella</i> 0/3	-	34 ± 4	-	1 ± 0	-	6 ± 1	-	56,5 ± 3,5	-	2,5 ± 0,5	-	0,60 ± 0,10
Горобець польовий <i>Passer montanus</i> 0/4	-	30,66 ± 6,76	-	3 ± 0,57	-	8,33 ± 0,88	-	55 ± 6,11	-	3 ± 0,57	-	0,60 ± 0,21
Слищія велика <i>Parus major</i> 20/4	21,75 ± 3,26	23 ± 2,73	0,8 ± 0,50	2,5 ± 0,64	3,55 ± 0,86	6 ± 1,22	73,15 ± 3,35	65,5 ± 4,33	0,75 ± 0,53	3 ± 1,22	0,30 ± 0,05	0,36 ± 0,06
Сойка звичайна <i>Garrulus glandarius</i> 0/2	-	25,5 ± 5,5	-	3 ± 1	-	7 ± 2	-	63 ± 3	-	1,5 ± 0,5	-	0,40 ± 0,10
Шиглик <i>Carduelis carduelis</i> 2/0	22,5 ± 4,5	-	1,5 ± 0,5	-	4 ± 1	-	71,5 ± 5,5	-	0,5 ± 0,5	-	0,32 ± 0,08	-

сезонних, екологічних та антропогенних чинників. Відомо, що перебіг постембріонального розвитку супроводжується зниженням частки лімфоцитів та збільшенням вмісту гетерофілів і моноцитів, що відзначено для *Parus major* у природних популяціях (Drahulian, Charlygina, & Savynska, 2018). Це відповідає загальним уявленням про формування імунної системи у птахів та поступовий перехід до більшої ролі неспецифічних механізмів імунітету.

Порівняння показників лейкоцитарної формули з даними інших авторів свідчить про значну мінливість імунологічних параметрів, що відображають як видові особливості, так і вплив умов середовища. Встановлено, що базові рівні лейкоцитів у *Parus major* знаходяться у діапазоні, подібному до результатів (Davis, Maney, & Maerz, 2008), а співвідношення гетерофілів до лімфоцитів (Г/Л індекс) демонструє статеві відмінності (Skwarska, 2018). Це підкреслює значення репродуктивної фізіології як фактора, здатного модулювати стресові та імунні реакції.

Аналіз екологічних чинників у різних видів вказує на високу чутливість лейкоцитарних параметрів до умов середовища. Так, у зеленяків утримання в неволі не спричиняє зростання Г/Л індексу, що свідчить про їхню здатність ефективно адаптуватися до змінених умов (Sepp, Sild, & Hõrak, 2010). Водночас інші види демонструють виразну реакцію на градієнти урбанізації: у міських популяціях вищі рівні лімфоцитів, еозинофілів і Г/Л індексу пов'язують з підвищеним інфекційним та антропогенним тиском (Carbó-Ramírez, & Zuria, 2017; Ribeiro, Baesse, Cury, & de Melo, 2020; Ribeiro et al., 2022). Це дозволяє розглядати лейкоцитарний профіль як інформативний інструмент для оцінки якості середовища та ступеня антропогенного впливу.

Дослідження птахів у природних екосистемах також показують ключову роль сезонних змін. У *Parus major* Г/Л індекс максимальний у період розмноження й першого линання (Pap, Vágási, & Tökölyi, 2010), що підтверджує фізіологічну ціну репродуктивної активності. Подібні тенденції виявлено й у інших видів, де сезонні коливання пов'язують зі змінами енергетичного навантаження, кліматичних умов та доступності їжі (Jakubas, Wojczulanis-Jakubas, & Glac, 2011; Banbura et al., 2013; Skwarska et al., 2022).

Крім того, імунологічні експерименти підтверджують, що штучне підсилення імунної відповіді наприклад, імунізація *Brucella abortus* спричиняє зростання Г/Л індексу у *Parus major* (Krams et al., 2012), що вказує на універсальність цього показника як маркера імунної активації та стресу. У диких популяціях його ефективність доведена також у скельних патагонських папуг (Plischke, Quillfeldt, & Lubjuhn, 2009) та інших видів, де Г/Л індекс корелює з кліматичними змінами (Quero, Zarco, Ordovini, Méndez, & Gorla, 2025).

Загалом, літературні дані підтверджують, що лейкоцитарний профіль і співвідношення гетерофілів до лімфоцитів є чутливим індикатором фізіологічного стану здатними відображати широкий спектр стресорів – від вікових та сезонних до екологічних і антропогенних. Це робить їх цінним інструментом у функціональній екології, орнітології та біомоніторингу, зокрема при оцінці стану популяцій у динамічно змінюваних природних і урбанізованих ландшафтах.

Висновки. Проведене дослідження лейкоцитарної формули та гетерофіл-лімфоцитарного індексу (H/L) у представників ряду Горобцеподібні (Passeriformes), що мешкають на території НПП «Гомільшанські ліси» та РЛП «Нижньоворсклянський», дозволило комплексно оцінити їхній фізіологічний стан, імунну реактивність та рівень стресового навантаження під впливом природних і антропогенних чинників. Отримані дані свідчать, що лейкоцитарна формула більшості досліджених видів перебуває у межах референтних значень для диких птахів, а домінування лімфоцитів та помірна частка гетерофілів підтверджують стабільний функціональний стан імунної системи. Водночас окремі відхилення, зокрема підвищений вміст моноцитів у вільшанки та підвищений H/L індекс у зяблика звичайного, можуть свідчити про локальні інфекційні або стресові впливи середовища.

Гетерофіл-лімфоцитарний індекс показав високу інформативність як маркер хронічного стресу: найнижчі значення у синиці великої вказують на значну стресостійкість виду, тоді як у більшості інших представників індекс залишався у межах, що відповідають задовільному фізіологічному стану. Порівняння з даними літератури підтверджує, що зміни лейкоцитарних параметрів у горобцеподібних відображають комплексний вплив вікових, сезонних, екологічних та антропогенних факторів.

Результати дослідження засвідчують, що аналіз лейкоцитарної формули у поєднанні з Н/Л індексом є ефективним інструментом для моніторингу здоров'я диких популяцій птахів. Ці показники дозволяють своєчасно виявляти фізіологічні порушення, оцінювати якість середовища існування та визначати потенційні стресори, що особливо важливо в умовах зростання антропогенного тиску. Отримані дані можуть бути використані для подальших екологічних, фізіологічних та природоохоронних досліджень, а також для розробки комплексних програм моніторингу стану птахів у природних екосистемах України.

INDICATORS OF THE LEUKOCYTE FORMULA OF BLOOD AND THE HETEROPHIL-LYMPHOCYTE INDEX OF REPRESENTATIVES OF THE ORDER PASSERIFORMES

Kravtsova A.

H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Kharkiv, Ukraine

The article describes the results of the analysis of the leukocyte formula and heterophil-lymphocyte index of representatives of various species of the order Passeriformes from two locations – the National Nature Park (NNP) “Homilshanski Forests” and the regional landscape park (RLP) “NyzhnioVorsklianskyi”. In the “Homilshanski forests” national nature park, 53 individuals of 8 species from 4 families of birds of the order Passeriformes were studied. In the “NyzhnioVorsklianskyi” regional landscape park, 78 individuals of 10 species from 7 families of passerine birds were studied. It was found that the most quantitative indicators were lymphocytes – from 45.33 ± 9.02 in the common chaffinch (NVP) to 73.15 ± 3.35 in the great tit (GL) and heterophiles, which had values ranging from 30-38%, which is consistent with the reference values for Passeriformes. The leukocyte formula of representatives of the order Passeriformes in the “Homilshanski forests” national nature park was within the reference values. The heterophil-lymphocyte index was low to moderate, indicating that there was no physiological stress in this area. The leukocyte formula of the passerine birds studied in the “NyzhnioVorsklianskyi” regional landscape park was within the reference values, with the exception of the willow warbler, with a monocyte count of 11.25 ± 1.37 , indicating a possible infectious process with an optimal heterophil-lymphocyte index. According to the heterophil-lymphocyte index, elevated values were observed in the common chaffinch (1.01 ± 0.42), which may indicate a pronounced stress effect. The data obtained expand the existing knowledge about the physiological indicators of Passeriformes and create a basis for further research in the field of ecological physiology and bird conservation.

Keywords: leukocyte formula, heterophils, lymphocytes, heterophil-lymphocyte index, physiological stress.

REFERENCES

- Banbura, J., Skwarska, J., Banbura, M., Gladalski, M., Holysz, M., Kalinski, A. ... Zielinski, P. (2013) Spatial and Temporal Variation in Heterophil-toLymphocyte Ratios of Nestling Passerine Birds: Comparison of Blue Tits and Great Tits. *PLoS ONE*, 8 (9), 1-8. doi: 10.1371/journal.pone.0074226. eCollection 2013.
- Campbell, T. W., & Grant, K. R. (2022). *Exotic Animal Hematology and Cytology*. 5th ed. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9781119660293>.
- Carbó-Ramírez, P., & Zuria, I. (2017). Leukocyte profile and body condition of the house finch (*haemorhous mexicanus*) in two sites with different levels of urbanization in central mexico. *Ornitología Neotropical*, 28, 1-10. doi: 10.58843/orneo.v28i0.218.
- Davis, A. K., Maney, D. L., & Maerz, J. C. (2008). The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. *Functional Ecology*, 22, 760-772. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x.
- Drahulian, M., Chaplygina, A., & Savynska, N. (2018). Clinical blood analysis of the great tit *Parus major*. *ScienceRise*, 3, 11-14. doi: 10.15587/2313-8416.2018.127387.
- Jakubas, D., Wojczulanis-Jakubas, K., & Glac, W. (2011). Variation of the Reed Bunting (*Emberiza schoeniclus*) Body Condition and Haematological Parameters in Relation to Sex, Age and Season. *Annales Zoologici Fennici*, 48 (4), 243-250. doi: 10.5735/086.048.0405.

- Jones, M. P. (2015). Avian hematology. *Clinics in laboratory medicine*, 35 (3), 649-659. doi: 10.1016/j.cll.2015.05.013.
- Konventsia pro okhoronu dykoi flory ta fauny i pryrodnykh seredovyshch isnuvannia v Yevropi* [Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats]. (1979). Bern. Retrieved from <https://rm.coe.int/16802efd67> [in Ukrainian].
- Krams, I., Vrublevska, J., Cirule, D., Kivleniece, I., Krama, T., Rantala, M. J. ... Hörak, P. (2012). Heterophil/lymphocyte ratios predict the magnitude of humoral immune response to a novel antigen in great tits (*Parus major*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 161 (4), 422-428. doi: 10.1016/j.cbpa.2011.12.018.
- Maxwell, M. H., & Robertson, G. W. (1998). The avian heterophil leucocyte: a review. *World's Poultry Science Journal*, 54 (2), 155-178. doi: 10.1079/wps19980012
- Muriel, J., Vida, C., & Gil, D. (2020). Ontogeny of leukocyte profiles in a wild altricial passerine. *Journal of Comparative Physiology B*, 191, 195-206. doi: 10.1007/s00360-020-01323-z.
- Owen, J. (2011). Collecting, processing, and storing avian blood: a review. *Journal of Field Ornithology*, 82 (4), 339-354. doi: 10.1111/j.1557-9263.2011.00338.x
- Pap, P. L., Vágási, C. I., & Tökölyi, J. (2010). Variation in haematological indices and immune function during the annual cycle in the Great Tit *Parus major*. *Ardea*, 98 (1), 105-112. doi: 10.5253/078.098.0113.
- Plischke, A., Quillfeldt, P., Lubjuhn, T. (2009). Leucocytes in adult burrowing parrots *Cyanoliseus patagonus* in the wild: variation between contrasting breeding seasons, gender, and individual condition. *J Ornithol*, 151, 347-354. doi: 10.1007/s10336-009-0461-8.
- Quero, A., Zarco, A., Ordovini, D., Méndez, S., & Gorla, N. (2025). Hematological profiles of wild birds in the central Monte Desert, Argentina: first records. *Veterinaria México OA*, 12, 1-28. doi: 10.22201/fmvz.24486760e.2025.1400.
- Ribeiro, P. V. A., Baesse, C. Q., Cury, M. C., & de Melo, C. (2020). Leukocyte profile of the helmeted manakin, *Antilophia galeata* (Passeriformes: Pipridae) in a Cerrado forest fragment. *Zoologia*, 37, 1-9. doi: 10.3897/zoologia.37.e46441.
- Ribeiro, P. V. A., Gonçalves, V. F., de Magalhães Tolentino, V. C., Baesse, C. Q., Pires, L. P., Mendes Paniago, L. P., & de Melo, C. (2022). Effects of urbanisation and pollution on the heterophil/lymphocyte ratio in birds from Brazilian Cerrado. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 40204-40212. doi: 10.1007/s11356-022-19037-w.
- Sepp, T., Sild, E., & Hörak, P. (2010). Hematological Condition Indexes in Greenfinches: Effects of Captivity and Diurnal Variation. *Physiological and Biochemical Zoology*, 83 (2), 276-282. doi: 10.1086/648580.
- Skwarska, J. (2018). Variation of heterophil-to-lymphocyte ratio in the Great Tit *Parus major* – a review. *Acta Ornithologica*, 53 (2), 103-114. doi: 10.3161/00016454AO2018.53.2.001.
- Skwarska, J., Podstawczyńska, A., Bańbura, M., Gladalski, M., Kalinski, A., Markovski, M. ... Bańbura, J. (2022). Effects of ambient temperature during the nestling stage on a stress indicator in nestling pied flycatchers *Ficedula hypoleuca*. *International Journal of Biometeorology*, 66, 139-148. doi: 10.1007/s00484-021-02199-6.
- Yevropeiska konventsia pro zakhyst khrebetnykh tvaryn, shcho vykorystovuiutsia dlia doslidnykh ta inshykh naukovykh tsiliakh* [European convention on the protection of vertebrate animals used for research and other scientific]. (1986). Strasburh. Retrieved from: <https://rm.coe.int/16802efd6f> [in Ukrainian].

Одержано 02.12.2025 р.
Прийнято до друку 22.12.2025 р.

ІНФОРМАЦІЯ. ДИСКУСІЇ

ДО НАУКОВОЇ ДИСКУСІЇ ЩОДО ПУБЛІКАЦІЇ У ЖУРНАЛІ «БІОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ»

У межах редакційної практики фахового журналу категорії Б «Біологія та екологія» та відповідно до принципів відкритості наукової комунікації й академічної доброчесності редакційна колегія інформує про надходження звернення, що стосується однієї з публікацій журналу.

У томі 11, № 1 за 2025 рік було опубліковано статтю Махінька Р. Г. «Радіоактивне забруднення водойм: біоіндикація і адаптація водних організмів у віддалений період після Чорнобильської катастрофи».

До редакційної колегії журналу надійшов лист-звернення від колективу авторів, а саме:

Голяки Д. М. – директора УкрНДІСГР НУБіП України, кандидата сільськогосподарських наук, старшого дослідника;

Гудкова Д. І. – завідувача відділу водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України, доктора біологічних наук, професора, член-кореспондента НАН України;

Кагляна О. Є. – старшого наукового співробітника відділу водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України, кандидата біологічних наук, старшого наукового співробітника;

Кашпарова В. О. – головного наукового співробітника УкрНДІСГР НУБіП України, доктора біологічних наук, професора, члена Норвезької академії наук і літератури;

Левчука С. Є. – провідного наукового співробітника УкрНДІСГР НУБіП України, кандидата біологічних наук, старшого дослідника;

Процака В. П. – завідувача лабораторії радіоактивності природного середовища Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, кандидата технічних наук, старшого дослідника.

Зміст зазначеного листа наводиться нижче.

Редакція журналу “Біологія та екологія”
Полтавського національного
педагогічного університет
імені В.Г. Короленка
biozbirnyk@gmail.com
Копія:
Поліський національний університет
mail@polissiauniver.edu.ua
nataliia.melnyk@polissiauniver.edu.ua
МОН України,
Директорат вищої освіти та освіти
дорослих
dfpvo@mon.gov.ua

Шановна редакціє журналу «Біологія та екологія»!

Звертаємось до вас з приводу публікації в науковому журналі “Біологія та екологія” Полтавського національного педагогічного університету імені В.Г. Короленка (том 11, №1, 2025) статті Махінька Р. Г. “РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ: БІОІНДИКАЦІЯ І АДАПТАЦІЯ ВОДНИХ ОРГАНІЗМІВ У ВІДДАЛЕНІЙ ПЕРІОД ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ” (виконана на базі Поліського національного університету). В цій статті порушено норми академічної доброчесності, а саме вона побудована на сфабрикованих даних. Підтвердженням цього є такі факти:

- за твердженням автора відбір проб на водоймах проводився у 2024 р., але з початком війни фізичного доступу до оз. Глибоке (Локація 4) немає. Озеро знаходиться на лівому березі р. Прип'ять, а всі мости були знищені, а переправи не доступні для цивільного використання. Всі інші місця відбору проб, окрім локації 5, знаходяться в зоні відчуження, яка є територією з обмеженим доступом, і відбір проб науковцями може проводитись тільки у присутності супроводжуючої особи;
- якби автор відбирав проби то він би знав, що біля виселеного села Чистогалівка, р. Прип'ять не протікає, і загалом вся територія на якій «проводилось» дослідження відноситься адміністративно не до Житомирського Полісся, а до Київського;
- відібрати донні відклади у прибережній смузі каналу охолодження ЧАЕС проблематично, оскільки русло вкрито бетонними плитами;
- чутливість заявлених методів дослідження не дозволяє визначити питому активність радіонуклідів, принаймні в локаціях 1, 3, 5;
- автор не знайомий з особливостями поведінки радіонуклідів у поверхневих водах – питома концентрація радіонуклідів чорнобильського походження у проточних водоймах завжди нижче такої в закритих.

Аналізувати приведені сфабриковані результати немає сенсу. Щорічний моніторинг радіонуклідного забруднення водойм зони відчуження проводиться Державним спеціалізованим підприємством “ЕКОЦЕНТР” і результати за 2024 доступні для порівняння за посиланням: https://journal.uhmi.org.ua/pdf/UHMI_MHE_01_2025_Kiriev_Nikitina_Samoilov_Buntova_Fedorenko_Pylypchuk_Liaskivskiy_RADIATION_STATE_OF_THE_EXCLUSION_ZONE_OF_2024_79_97_1.pdf. Наприклад, актуальні концентрації цезію-137 та стронцію-90 у воді р. Прип'ять у 2024 р. за даними “ЕКОЦЕТРУ” були 0.05 і 0.09 Бк л⁻¹, відповідно. Пан Махінько «стверджує», що концентрації цезію-137 та стронцію-90 у воді р. Прип'ять в цей період були 95 і 60 Бк л⁻¹, відповідно.

Фабрикація результатів досліджень завдає шкоди репутації: журналу, який їх публікує; університету, в якому працює чи навчається автор; радіоекології, як науці, що пов'язана з

вивченням дії іонізуючих випромінювань на живі організми включно з людиною. Наразі основним порушення норм академічної доброчесності, на яке звертають увагу заклади освіти та наукові установи, є плагіат. Але він завдає шкоди вперш за все авторам. Фабрикація і фальсифікація ж завдають шкоди науці загалом.

Просимо вас розглянути наше звернення на засіданні редакційної колегії (Комісії з академічної доброчесності університету) і повідомити авторів цього звернення про результати.

Завчасно дякуємо за зворотній зв'язок.

Голяка Д. М., директор УкрНДІСГР НУБіП України, канд. с.-г. наук, старший дослідник, holiaka@nubip.edu.ua

Гудков Д. І. зав. відділу водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України, д-р біол. наук, професор, чл.-кор. НАН України, digudkov@gmail.com

Каглян О. Є., ст. н.с. відділу водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України, канд. біол. наук, старший науковий співробітник, alex_kt983@ukr.net

Кашпаров В. О., головний науковий співробітник УкрНДІСГР НУБіП України, д-р біол. наук, професор, член Норвезької академії наук і літератури, uiar.vak@gmail.com

Левчук С.Є., провідний науковий співробітник УкрНДІСГР НУБіП України, канд. біол. наук, старший дослідник, levchuk.s@nubip.edu.ua

Процак В.П., зав. лабораторії радіоактивності природного середовища УкрГМІ ДСНС України та НАН України, канд. тех. наук, старший дослідник protsak2013@gmail.com

Редакційна колегія журналу «Біологія та екологія», дотримуючись принципів академічної доброчесності, відкритості наукової дискусії та прозорості редакційної політики, запрошує фахівців у галузі біології, екології та радіоекології долучитися до експертного обговорення порушених у зверненні питань.

Коментарі, рецензійні зауваження та наукові позиції просимо надсилати на офіційну електронну адресу редакції журналу: biozbirnyk@gmail.com. Отримані матеріали будуть розглянуті редакційною колегією та, за згодою авторів, можуть бути оприлюднені у форматі наукової дискусії на сторінках журналу.

**Редакційна колегія журналу категорії Б
«Біологія та екологія»**

ДАНІ ПРО АВТОРІВ

ВЛАСОВ Ілля Григорович – аспірант кафедри біології та екології Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка.

ГАДНАДЬ Іштван Іштванович – доктор філософії з галузі природничі науки, доцент кафедри біології та хімії Закарпатського угорського університету імені Ференца Ракоці II.

ГАЛАГАН Оксана Костянтинівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка.

ГЕРУС Олексій Олександрович – вчитель 1 категорії ліцею №14 "Здоров'я" Полтавської міської ради.

ГОМЛЯ Людмила Миколаївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

ДЕРЕВ'ЯНКО Тетяна Василівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, здоров'я людини та фізичної реабілітації Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

ІЛЛАР Леонард Амброзійович – старший викладач кафедри біології та хімії Закарпатського угорського університету імені Ференца Ракоці II.

КОЛОЖВАРІ Степан Васильович – доктор філософії з галузі природничі науки, доцент кафедри біології та хімії Закарпатського угорського університету імені Ференца Ракоці II.

КОПОР Золтан Гейзович – науковий співробітник, асистент кафедри біології та хімії Закарпатського угорського університету імені Ференца Ракоці II.

КОНОНЕНКО Денис Андрійович – аспірант кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

КРАВЦОВА Анастасія Юрївна – аспірант кафедри зоології Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди.

ЛІТВИНОВА Богдана Вадимівна – здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка.

МАТВІЙЧУК Олександр Анатолійович – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.

МИХАЛЮК Ілона Михайлівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка.

ПЕРЕРВА Владислав Миколайович – аспірант кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

ПОЛИВАНИЙ Степан Володимирович – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.

САГАЙДАК Віталіна Романівна – аспірант, асистент кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

СТАНКОВИЧ Анна-Марія Петрівна – здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти кафедри біології та хімії Закарпатського угорського університету імені Ференца Ракоці II.

ТЕМНОХУД Гліб Юрійович – аспірант, кафедри біології, здоров'я людини та фізичної реабілітації Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

ТИМЧУК Дмитро Сергійович – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та агрономії Луганського національного університету імені Тараса Шевченка.

ТИМЧУК Наталія Федорівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та агрономії Луганського національного університету імені Тараса Шевченка.

ТКАЧУК Олеся Олександрівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.

ХАРЧЕНКО Любов Яківна – старший науковий співробітник Устимівської дослідної станції рослинництва ІР НААН України.

ХОДАНІЦЬКА Олена Олександрівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.

ЦИЦЮРА Неля Іванівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка.

ЧЕРНЯК Володимир Максимович – доктор біологічних наук, професор кафедри біології, екології та методик їх навчання Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка.

ШЕВЧУК Оксана Анатоліївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.

ВИМОГИ ДО АВТОРІВ

Науковий фаховий журнал «**Біологія та екологія**» публікує оригінальні матеріали за результатами досліджень у різних галузях біології та екології, а також короткі повідомлення, огляди і рецензії.

Робочі мови журналу – українська, англійська, німецька, польська. Порядок розміщення рукопису матеріалів:

◆ у верхньому лівому куті

(вирівнювання за лівим краєм, кожен підпункт із нового рядка без пробілів):

1) гриф УДК;

2) ініціали та прізвище автора (авторів);

3) повна назва установи, у якій виконано дослідження;

4) адреса для листування;

5) електронна адреса (стиль – курсив);

6) 16-значний ідентифікатор дослідника ORCID.

◆ через пробіл:

7) **назва роботи** (від центру прописними літерами, стиль – напівжирний);

8) **анотація та ключові слова** (5–7) українською мовою (для україномовної статті) або англійською мовою (для статті іншими, окрім української, мовами) (стиль – курсив, вирівнювання за шириною);

9) **основний текст статті** (мови тексту – українська, англійська, німецька, польська);

10) **список використаної літератури** (для статті українською мовою) або **References** (для статті іншими, окрім української, мовами);

11) **анотація англійською мовою** (або українською мовою, якщо основний текст статті подано англійською, німецькою чи польською мовами), що наводиться разом із такими елементами:

◆ назва статті (від центру прописними літерами, стиль напівжирний);

◆ ініціали та прізвища авторів (вирівнювання по центру, регістр – починати із прописних);

◆ назва установи, у якій виконано дослідження (вирівнювання по центру,

◆ регістр – починати із прописних);

◆ текст анотації та ключові слова, повністю ідентичні таким альтернативною мовою перед текстом статті (вирівнювання за шириною).

12) **References** (для статті українською мовою);

13) в окремому файлі – **відомості про авторів**.

Структура статті. Текст статті повинен містити такі розділи (обов'язкові для методичних та експериментальних статей).

Вступ. Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями, а також наступними дослідженнями та публікаціями. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Формулювання мети дослідження.

Матеріали та методи. Стислий опис шляхів і засобів отримання наукових результатів.

Результати та їх обговорення. Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням одержаних наукових результатів та їх обговорення.

Висновки. Короткий підсумок отриманих результатів. Наукова новизна, теоретичне і практичне значення, можливе впровадження, перспективи наукових розробок у даному напрямку.

Вимоги до оформлення статті:

- ◆ текстовий редактор Microsoft Word без автоматичного й ручного розподілу переносів;
- ◆ гарнітура – Times new Roman;
- ◆ кегль – 14 пт;
- ◆ міжрядковий інтервал – 1,5 пт;
- ◆ формат – А4;
- ◆ поля з усіх країв – по 2 см;
- ◆ відступ абзацу – 1,25 см;
- ◆ вирівнювання тексту – за шириною;
- ◆ обсяг публікації (разом із таблицями, рисунками, списком літератури і анотаціями) не повинен перевищувати 15 сторінок – для експериментальної статті або 20 сторінок – для оглядової статті; рукописи більшого обсягу приймаються тільки після попереднього узгодження з редколегією.

Таблиці великого розміру подаються на окремих сторінках, невеликого розміру розміщуються по тексту, від якого відділяються пробілом. Текст у таблицях набирається розміром 12 пт через один інтервал, назви таблиць виділяються напівжирним стилем. За необхідності до таблиць додаються пояснення або примітки.

Графічні об'єкти подаються у форматі *.eps (CMYK, GRAYSCALE), фотографії, діаграми та графіки – у форматі *.jpeg (300 dpi). Рисунки виконуються у відтінках сірого, у діаграмах та графіках рекомендується використовувати різнотекстурні заливки на основі чорного та білого кольорів, рамки та заливки фону не допускаються. Діаграми та графіки також додатково подаються у файлах тих програм, у яких були створені (*.doc, *.xls та ін.). Нумерація таблиць і графічних об'єктів (Таблиця 1, Рис. 1) та посилання на них по тексту (табл. 1, рис. 1) є обов'язковими. Заголовки таблиць та графічних об'єктів подаються кеглем шрифту основного тексту статті (14 пт) і виділяються **напівжирним стилем**.

Назви біологічних видів і родів у тексті подаються латиною і *виділяються курсивом*. Автори видів і родів наводяться лише при першому згадуванні виду і курсивом не виділяються.

Формули слід набирати у редакторі Microso[®] Equation, розмір знаків має бути співрозмірним шрифту основного тексту статті.

Фізичні величини наводяться в одиницях СІ. Значення фізичної величини і одиницю виміру (окрім % і °С) обов'язково розділяти пробілом, використовуючи для цього «нерозривний пробіл» – поєднання клавіш <Ctrl+Shi[®]+пробіл> (2 м, 15,5 кг).

Лапки використовувати лише друкарські: « ».

Для позначення апострофу потрібно використовувати символ «'» (поєднання клавіш <Alt+0146>).

У тексті слід розрізняти символи тире та дефіс. Використовувати потрібно тільки «коротке тире», у тому числі при позначенні діапазонів: С. 25–32; у листопаді–грудні; у 2012–2014 рр.; у табл. 1–2 і т.п. При наведенні діапазону між числами та тире пробіли не використовуються; в інших випадках перед і після тире слід вставляти один пробіл.

У десяткових дробах потрібно використовувати кому, а не крапку. Знак множення не до- пускається замінити літерою «х», а слід позначати символом «×».

Анотація повинна відбивати отримані результати і головні висновки статті та передавати читачеві основну її сутність. Мінімальний обсяг текстової частини анотації становить 1800 символів (разом із ключовими словами). Резюме всіма мовами має бути ідентичним.

Список використаних джерел має бути оформлений згідно вимог Національного стандарту України ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання» <http://lib.pnpu.edu.ua/les/dstu-8302-2015.pdf>.

Окремим блоком розміщується іншомовна використана література (англійською, французькою, польською, німецькою та ін.) за латинським алфавітом. Іншомовні джерела прописуються мовою оригіналу, але за вимогами ДСТУ 8302:2015.

Кожне джерело, яке наведено або процитовано в публікації, необхідно відобразити у списку використаних джерел. Не дозволяється включати у список використаних джерел публікації на які немає посилань і цитування у тексті статті.

Цитований матеріал наводиться в алфавітному порядку за прізвищем автора або назви джерела і не нумерується! Якщо зазначено кілька робіт одного й того ж автора, тоді записи розташовуються за алфавітом назв робіт.

Обов'язково потрібно вказувати **ідентифікатори DOI або URL** для всіх процитованих джерел, для яких вони існують.

Кожен бібліографічний опис джерела починається з нового рядка з вирівнюванням по ширині без відступів.

Якщо бібліографічний опис джерела займає кілька рядків, тоді перший рядок опису вирівнюється по ширині без відступів, а наступні рядки – з відступом у 1,25 см. (див. у наведених зразках опису документів).

References – транслітерований (прописаний латинськими літерами) список бібліографічних джерел. **References** наводиться окремим блоком і повністю повторює **список використаних джерел**. Іншомовні джерела, в разі їх наявності, у **References** не транслітеруються. **References** укладається згідно вимог міжнародного бібліографічного стандарту **APA** (Американська психологічна асоціація) (<http://www.apastyle.org/>), де всі кириличні назви статей та книг транслітеруються латинськими літерами (доцільно користуватися онлайн-конвертерами для української мови <https://slovyk.ua/translit.php>) та перекладаються англійською мовою.

Джерела інформації у **References** розміщуються в алфавітному порядку за прізвищем **автора (редактора/укладача, якщо немає автора)** – в цьому велика відмінність від **Списку використаних джерел**. Якщо матеріал не має автора, його необхідно розмістити за алфавітом назви. Бібліографічні описи не нумеруються!

Кожна транслітерована назва бібліографічного посилання має бути прописана курсивом і розширена англійським перекладом (назва статті, книги, журналу, конференції). При цьому переклад береться у квадратні дужки і розміщується одразу після транслітерованої назви. Якщо кілька робіт одного й того ж автора (редактора/упорядника), тоді записи розташовуються в хронологічному порядку за роками видання у порядку зростання.

У транслітерованих бібліографічних описах у дужках необхідно вказати мову оригіналу літературного джерела – **[in Ukrainian]**.

Цитування в тексті – внутрішньотекстове посилання містить інформацію про автора праці що цитується без ініціалів (редактора/укладача/назву цитованого джерела, якщо автор відсутній), рік видання та сторінковий інтервал (номери сторінок, з яких наводиться цитата). Сторінковий інтервал дозволяється не вказувати, якщо не наводиться цитата, а висловлюється якась ідея чи посилання на роботу в цілому.

Нижче наведено приклади бібліографічних описів документів для розміщення у **Списку використаних джерел, References** та приклади цитувань (внутрішньотекстове посилання) за різними типами матеріалів.

Окреме видання одного автора (книги)

Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біолого-екологічна характеристика видів : монографія. Дніпропетровськ : Вид-во ДНУ,

2005. 276 с.

Tarasov, V. V. (2005). *Flora Dnipropetrovskoi ta Zaporizkoi oblastei. Sudynni roslyny. Biolo-ho-ekolohichna kharakterystyka vydiv* [Flora of Dnipropetrovsk and Zaporizhzhya regions. Vascular plants. Biological and ecological characteristics of species]. Dnipropetrovsk: Vyd-vo DNU [in Ukrainian].

Цитування в тексті: Дослідження флори Дніпропетровської та Запорізької областей (Тарасов, 2005)..., або: ...беручи до уваги дослідження флори Тарасова (2005)...

Леонтьев Д. В. Флористичний аналіз у мікології : підручник. Харків : Основа, 2007. 160 с.

Leontiev, D. V. (2007). *Florystychnyi analiz u mikolohii* [Floristic analysis in mycology]. Kharkiv: Osnova [in Ukrainian].

Цитування в тексті: Підручник з флористичного аналізу у мікології (Леонтьєв, 2007), широко використовується у..., або : ...мікологічний аналіз Леонтьєва (2007)...

Окреме видання декількох авторів (до семи)

Некрутенко Ю. П., Чиколовець В. В. Денні метелики України : навчальний посібник. Київ : В. Раєвського, 2005. 232 с.

Nekrutenko, Yu. P., & Chykolovets, V. V. (2005). *Denni metelyky Ukrainy* [Day butterflies of Ukraine]. Kyiv: V. Raievskoho [in Ukrainian].

Цитування у тексті: Вивчаючи денних метеликів України Некрутенко та Чиколовець (2005) підтверджують гіпотезу..., або ...ілюстрований довідник-визначник денних метеликів України (Некрутенко, & Чиколовець, 2005)...

Маленко Я. В., Ворошилова Н. В., Кобрюшко О. О. Проблеми фундаментальної екології : курс лекцій. Кривий Ріг : КДПУ, 2023. 195 с. DOI: <https://doi.org/10.31812/123456789/7894>.

Malenko, Ya. V., Voroshylova, N. V., & Kobriushko, O. O. (2023). *Problemy fundamentalnoi ekolohii* [Problems of fundamental ecology]. Kryvyi Rih: KDPU. DOI: <https://doi.org/10.31812/123456789/7894> [in Ukrainian].

Цитування у тексті: Навчальний посібник Маленка, Ворошилова та Кобрюшко (2023) присвячено висвітленню проблематики фундаментальної екології як складової створення сучасної наукової картини світу..., або ...сутність, теоретичні та методологічні засади фундаментальної екології (Маленко, Ворошилова, & Кобрюшко, 2023, с. 53.)

Окреме видання (книги) до 8 авторів і більше

Дендрофлора України. Дикорослі та культивовані дерева й кущі. Покритонасінні : довідник / М. А. Кохно (ред.), Н. М. Трофименко, Л. І. Пархоменко, В. Г. Собко, В. К. Горб, С. В. Клименко, Г. Т. Гревцов С. І. Галкін та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. Ч. 2. 716 с.

Kokhno, M. A. (Ed.), Trofymenko, N. M., Parkhomenko, L. I., Sobko, V. H., Horb, V. K., Klymenko, S. V. ... Halkin, S. I. (2005). *Dendroflora Ukrainy. Dykorosli ta kulytvovani dereva y kushchi. Pokrytonasinni* [Dendroflora of Ukraine. Wild and cultivated trees and bushes. Angiosperms] (Vol. 2). Kyiv: Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].

Цитування у тексті: Багатий фото- та ілюстративний матеріал подано у довіднику з дендрофлори України подано Кохно та ін. (2005) дослідниками...; або ...Заслуговує уваги довідник з дендрофлори України (Кохно та ін., 2005) фахово виконаними ілюстративними матеріалами.

Книга за редакцією

Національний атлас України / НАН України; гол. ред. Л. Г. Руденко. Київ : ДНЗ «Картографія». 2009. 440 с.

Rudenko, L. H. (Ed.). (2009). *Natsionalnyi atlas Ukrainy* [National Atlas of Ukraine]. Kyiv: DNZ "Kartohrafiia" [in Ukrainian].

Цитування у тексті: Згідно з фізико-географічним районуванням місто Чернігів знаходиться у регіоні Чернігівського Полісся (Руденко (Ред.), 2009)...

Червона книга України. Тваринний світ / під заг. ред. І. А. Акімова ; НАН України. Київ : Глобалколсалтинг, 2009. 600 с.

Akimov, I. A. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Tvarynnyi svit* [Red Book of Ukraine.

Wildlife]. Kyiv: Hlobalkolsaltnh [in Ukrainian].

Цитування у тексті: П'ять видів досліджених нами денних метеликів занесені до Червоної книги України (Акімов (Ред.), 2009)...

Багатотомне видання (окремий том)

Вернадський В. І. Вибрані наукові праці академіка В. І. Вернадського. Т. 5 : Мінералогічна спадщина Володимира Івановича Вернадського / НАН України, Комісія з наук. спадщини акад. В. І. Вернадського, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка. Київ : Фоліант, 2012. 829 с.

Vernadskiy, V. I. (2012). *Vybrani naukovi pratsi akademika V. I. Vernadskoho. Mineralohichna spadshchyna Volodymyra Ivanovycha Vernadskoho* [Selected scientific works of academician V.I. Vernadsky. Mineralogical heritage of Vladimir Ivanovich Vernadsky] (Vol. 5). Kyiv: Foliant [in Ukrainian].

Цитування у тексті: Досліджуючи наукову спадщину академіка Вернадського (Вернадський, 2012, с. 364)

Екофлора України : в 5 т. / відп. ред. Я. П. Дідух. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. Т. 1. 284 с.

Didukh, Ya. P. (Ed.). (2000). *Ekoflora Ukrainy* [Ekoflora Ukraine] (Vol. 1). Kyiv: Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].

Цитування у тексті: досліджуючи екологічні особливості видів флори і рослинних угруповань України (Дідух (Ред.), 2000. с. 147)...

Автореферат або дисертація

Потоцька С. О. Природна і культивована дендрофлора міста Чернігова : дис. ... канд. біолог. наук : 03.00.05 / Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України. Київ, 2011. 435 с.

Pototska, S. O. (2011). *Pryrodna i kulytvovana dendroflora mista Chernihova* [Natural and cultivated dendroflora of Chernihiv] (PhD dissertation). National Botanical Garden named after M. M. Hryshko NAN Ukrainy, Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].

Цитування у тексті: За результатами оригінальних досліджень Потоцької (2011) встановлено, що у місті Чернігові...

Романюк Р. К. Теоретичні і методичні засади професійної підготовки вчителів біології до профільного навчання учнів : автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / наук. консультант О. Є. Антонова ; Житомир. держ. ун-т імені Івана Франка. Житомир, 2021. 42 с.

Romaniuk, R. K. (2021). *Teoretychni i metodychni zasady profesiinoi pidhotovky vchyteliv biolohii do profilnoho navchannia uchniv* [Theoretical and methodological bases of professional training of biology teachers for specialized education of students] (Extended abstract of PhD dissertation). Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr, Ukraine [in Ukrainian].

Цитування у тексті: У дисертаційній роботі (Романюк, 2021, с. 12) теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено...

Стаття з матеріалів конференції

Канарський Ю. В. Системні аспекти проблеми збереження різноманіття денних метеликів (Lepidoptera, Diurna). *Загальна і прикладна ентомологія в Україні* : тез. наук. конф. (15-19 серп. 2005 р.). Львів, 2005. С. 103–105.

Kanarskiy, Yu. V. (2005). Systemni aspekty problemy zberezhenntia riznomanittia dennnykh metelykiv (Lepidoptera, Diurna) [Systemic aspects of the problem of preserving the diversity of diurnal butterflies (Lepidoptera, Diurna)]. In *Zahalna i prykladna entomolohiia v Ukraini*: tez. nauk. konf. [General and applied entomology in Ukraine: thesis science conf.] (pp. 103-105). Lviv [in Ukrainian].

Цитування у тексті: спостереження за денними метеликами представлені у статті Канарського (2005)...

Юрченко А. О., Смоляр Н. О. Щодо біоіндикації гідрофільних біотопів Прирічкового парку (м. Полтава). *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване*

природокористування : матеріали VI міжнар. наук. конф. молодих вчених, м. Харків, 27-28 листоп. 2018 р. / ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Харків, 2018. С. 138–139.

Yurchenko, A. O., & Smoliar, N. O. (2018). Shchodo bioindykatsii hidrofilykh biotopiv Pryreic-hkovo parku (m. Poltava) [Regarding the bioindication of hydrophilic biotopes of the Prireic-hkovo Park (Poltava)]. In *Ekolohiia, neoekolohiia, okhorona navkolyshnoho seredovyscha ta zbal-ansovane pryrodokorystuvannia: materialy VI mizhnar. nauk. konf. molodykh vchenykh* [Ecology, Neoecology, Environmental Protection and Balanced Environmental Use: materials VI Inter-layer. science conf. young scientists] (pp. 138-139). Kharkiv: KhNU im. V. N. Karazina [in Ukrainian].

Цитування у тексті: помітний науковий доробок внесли науковці, досліджуючи Прирічковий парк (Юрченко, & Смоляр, 2018)...

Стаття з журналу

Куш О. Г., Злобіна О. В. Лектингістохімічна характеристика лімфоїдної тканини, асоційованої з плодовою частиною плаценти, наприкінці першого періоду вагітності у щурів. *Запорізький медичний журнал*. 2012. Вип. 3 (72). С. 89–91.

Kushch, O. H., & Zlobina, O. V. (2012). Lektynhistokhimichna kharakterystyka limfoidnoi tkanyny, asotsiiovanoi z plodovoiu chastynoiu platsenty, naprykintsi pershoho periodu vahitnosti u shchuriv [Lectingistochemical characteristic of lymphoid tissue associated with the fruit part of the placenta at the end of the first gestation period in rats]. *Zaporizkyi medychnyi zhurnal* [Zaporizhzhya Medical Journal], 3 (72), 89-91 [in Ukrainian].

Цитування у тексті: Дослідники Куш та Злобіна (2012) прийшли до висновку...

Акімов О. Є., Костенко В. О. Функціонування циклу оксиду азоту в слизовій оболонці шлунка щурів за надмірного комбінованого надходження нітрату та фториду натрію. *Український біохімічний журнал*. 2016. Т. 88, № 6. С. 70–75. doi:10.15407/ubj88.06.070.

Akimov, O. Ye., & Kostenko, V. O. (2016). Funktsionuvannia tsykladu oksydu azotu v slyzovii obolontsi shlunka shchuriv za nadmirnoho kombinovanoho nadkhodzhennia nitratu ta ftorydu natriiu [The functioning of the nitric oxide cycle in the gastric mucosa of rats with excessive combined intake of nitrate and sodium fluoride]. *Ukrainskyi biokhimichnyi zhurnal* [Ukrainian Biochemical Journal], 88 (6), 70-75. doi:10.15407/ubj88.06.070 [in Ukrainian].

Цитування у тексті: У статті розглядається функціонування циклу оксиду азоту в умовах хронічного надмірного комбінованого надходження фторидів та нітратів (Акімов, & Костенко, 2016)

Стаття зі збірника

Коломійчук В., Онищенко В. Фіторізноманіття регіонального ландшафтного парку «Пташиний Рай» (Київська область). *Сучасні фітосозологічні дослідження в Україні* : зб. наук. пр. з нагоди вшанування пам'яті видатного фітосозолога, проф. Т. Л. Андрієнко-Малюк (1938-2016 рр.). Київ, 2018. С. 20–25.

Kolomiichuk, V., & Onyshchenko, V. (2018). Fitoriznomanittia rehionalnoho landshaftnoho parku "Ptashyni Rai" (Kyivska oblast) [Phytodiversity of the regional landscape park «Bird's Paradise» (Kyiv region)]. In *Suchasni fitosozolohichni doslidzhennia v Ukraini: zb. nauk. pr. z nahody vshanutannia pam'iati vydat. fitosozoloha, prof. T. L. Andriienko-Maliuk (1938-2016)* [Modern phytosozological research in Ukraine: a collection of scientific papers on the occasion of honoring the memory of the outstanding phytosozologist, Doctor of Biology, Professor T. L. Andrienko-Malyuk (1938-2016)] (pp. 20-25). Kyiv [in Ukrainian].

Цитування у тексті: Вивчаючи фіторізноманіття ландшафтного парку «Пташиний Рай» (Коломійчук, & Онищенко, 2018, с. 24)...

Шевчук М. Й., Кузьмішина І. І., Коцун Л. О. Рідкісні види судинних рослин, що охороняються і рекомендовані до охорони у Волинській області. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : зб. наук. пр. Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки. Луцьк, 2011. Вип. 8. С. 116–123.

Shevchuk, M. Y., Kuzmishyna, I. I., & Kotsun, L. O. (2011). Ridkisni vydy sudynnykh roslin, shcho okhoroniaiutsia i rekomendovani do okhorony u Volynskii oblasti [Rare species of vascular

plants protected and recommended for protection in Volyn region]. In *Pryroda Zakhidnoho Polissya ta prylehlykh terytorii: zb. nauk. pr. Volyn. nats. un-t im. Lesi Ukrainky* [Nature of Western Polissya and adjacent territories: a collection of scientific papers of Volyn National University named after Lesya Ukrainka] (Is. 8, pp. 116-123). Lutsk [in Ukrainian].

Цитування у тексті: Природа Західного Полісся та прилеглих територій висвітлена в багатьох роботах українських науковців (Шевчук, Кузьмішина, & Коцун, 2011)...

Електронні ресурси

Червона книга України. Всі рослини Червоної книги України. URL: <https://redbook-ua.org/plants/region>

Chervona knyha Ukrainy. Vsi roslyny Chervonoj knyhy Ukrainy [Red Book of Ukraine. All plants of the Red Book of Ukraine] (2023). [in Ukrainian].

Цитування у тексті: (Червона книга України, 2023)

Перелік регіонально рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів рослин на території Рівненської області. URL: <https://ror.gov.ua/rishennya-oblasnoyi-radii-7-sklikannya/1229-pro-zatverdzhennya-pereliku-regionalno-ridkisnih-i-taki>

Perelik rehionalno ridkisnykh i takykh, shcho perebuvaiut pid zahrozoiu znyknennia, vydiv roslyn na terytorii Rivnenskoj oblasti [List of regionally rare plant species of Chernihiv region] (2018). [in Ukrainian].

Цитування у тексті: (Перелік регіонально рідкісних, 2018)

Іншомовні джерела

Cleypool C. J., Schurink B., Horst D. E., Bleys R. Sympathetic nerve tissue in milky spots of the human greater omentum. *Journal of Anatomy published by John Wiley&Sons Ltd on behalf of Anatomical Society*. 2020. № 236 (1). P. 156–164.

Cleypool, C. J., Schurink, B., Horst, D. E., & Bleys, R. (2020). Sympathetic nerve tissue in milky spots of the human greater omentum. *Journal of Anatomy published by John Wiley&Sons Ltd on behalf of Anatomical Society*, 236 (1), 156-164.

Цитування у тексті: (Cleypool, Schurink, Horst, & Bleys, 2020)

Reisner Y. Separation of antibody helper and antibody suppressor human T cells by using soybean agglutinin. *J. Natl. Acad. Sci USA*. 1980. Vol. 77 (11). P. 6778–6782.

Reisner, Y. (1980). Separation of antibody helper and antibody suppressor human T cells by using soybean agglutinin. *J. Natl. Acad. Sci USA*, 77 (11), 6778-6782.

Цитування у тексті: (Reisner, 1980, p. 6779).

Pronina O. M., Bilash S. M., Kobeniak M. M., Koptev M. M., Pirog-Zakaznikova A. V., Onipko V. V., Ischenko V. I. Morphometric features of the structural components of the hemomicrocirculatory bed in the perivulnar region of the caecum in wound defect sutured with polyfilament suture material. *Wiadomości Lekarskie*. 2021. Vol. 74, № 6. P. 1382–1388. DOI: 10.36740/WLek202106118.

Pronina, O. M., Bilash, S. M., Kobeniak, M. M., Koptev, M. M., Pirog-Zakaznikova, A. V., Onipko, V. V., & Ischenko, V. I. (2021). Morphometric features of the structural components of the hemomicrocirculatory bed in the perivulnar region of the caecum in wound defect sutured with polyfilament suture material. *Wiadomości Lekarskie*, 74 (6), 1382-1388. DOI: 10.36740/WLek202106118.

Цитування у тексті: (Pronina, Bilash, Kobeniak, Koptev, Pirog-Zakaznikova, Onipko, & Ischenko, 2021).

Flecknell P. Basic Principles of Anaesthesia. *Laboratory Animal Anaesthesia* / ed. P. Flecknell. 4th ed. Boston : Academic Press, 2016. Vol. 1. P. 1–75.

Flecknell, P. (2016). Basic Principles of Anaesthesia. In P. Flecknell (Ed.), *Laboratory Animal Anaesthesia* (4th ed.) (Vol. 1., pp. 1-75). Boston: Academic Press.

Цитування у тексті: (Flecknell, 2016).

Дані про авторів подаються окремим файлом за формою:

Інформація	Українською мовою	In English
прізвище, ім'я, по-батькові (повністю)		
ORCID		
науковий ступінь		
вчене звання		
посада, місце роботи (установа, структурний підрозділ)		
адреса для поштового листуван- ня (із поштовим індексом)		
контактні номери телефону (робочий, факс, мобільний)		
електронна пошта		

Якщо авторів декілька, форма заповнюється на кожного окремо.

Оплата за друк статті складає 75 грн. за сторінку + DOI 100 грн. Сканокопію квитанції про оплату публікації слід надіслати в редакцію електронною поштою після повідомлення про прийняття статті до друку.

БІОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ

Науковий журнал

Том 11

№ 2 • 2025

Редактор – *Л. П. Харченко*

Відповідальний редактор – *В. Р. Сагайдак*

Комп'ютерна верстка – *В. Р. Сагайдак*

Підписано до друку 28.01.2026. Формат 60x84/8.
Гарнітура Minion Pro. Папір офсетний. Друк офсетний.
Ум.-друк. арк. 14,76.

Наклад 100 прим. Зам. № 2147

Віддруковано в ПНПУ імені В. Г. Короленка,
вул. Остроградського, 2, м. Полтава, 36003
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
серія ДК № 3817 від 01.07.2010 р.