Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Український журнал природничих наук

№ 17

Науковий журнал,
заснований у 2022 році

Видавничий дім
«Гельветика»
2026

Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка (протокол 11 від 29.05.2026 року).

Головний редактор

Шелюк Юлія Святославівна – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Члени редакційної колегії:

Гарбар Олександр Васильович – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Жовнерчук Ольга Валентинівна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу акарології Інституту зоології імені І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України (Київ, Україна)

Капуста Анжей – PhD, начальник відділу іхтіології, гідробіології і гідроекології Національного науково-дослідного інституту внутрішнього рибальства, Ольштин, Польща

Кестутіс Арбачіускас – доктор наук, професор, головний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут, Центр природничих досліджень та Центр наук про життя Вільнюського університету, Литва

Киричук Галина – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Листван Катерина Євгеніївна – кандидат біологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу генетичної інженерії Інституту клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України (Київ, Україна)

Пацюк Марина Костянтинівна – доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна) (*відповідальний секретар*)

Семенюк Наталія Євгенівна – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу санітарної гідробіології та гідропаразитології Інституту гідробіології Національної академії наук України (Київ, Україна)

Студженас Вірмантас – PhD, старший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут «Центр природничих досліджень» (Вільнюс, Литва)

Хомутовська Наталя – PhD, науковий співробітник кафедри біології захисту рослин Шведського університету сільськогосподарських наук (Уппсала, Швеція)

Наукове періодичне видання

Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Шелюк Юлія].
Житомир: 2026. № 17. 322 с.

Реєстрація в Національній раді України з питань телебачення і радіомовлення (Рішення № 540 від 20.07.2023 р.).

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Житомирський державний університет імені Івана Франка
(вул. Велика Бердичівська, 40, м. Житомир, 10008, intel@zu.edu.ua, тел. (0412) 43-14-17)

Фахова реєстрація (категорія «Б»): Наказ МОН України № 491 від 27.04.2023 року (додаток 3)

Спеціальності: Е1 Біологія та біохімія, Е2 Екологія, Е3 Хімія, Е4 Науки про Землю,
С6 Географія та регіональні студії, Н1 Агрономія

Мови публікацій: українська, англійська.

Сайт видання: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Макетування: Кузнєцова Н. С.

В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.

Дата розміщення онлайн: 29.05.2026. Дата друку: 05.06.2026.
Формат 60x90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 37,43. Тираж 300. Замовлення 0526/563

Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

© Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2026

Ministry of Education and Science of Ukraine
Zhytomyr Ivan Franko State University

Ukrainian Journal of Natural Sciences

№ 17

Scientific journal,
founded in 2022

Publishing House
“Helvetica”
2026

Approved for publication by the Academic Council of Zhytomyr Ivan Franko State University
(protocol № 11 dated from 29.05.2026).

Editorial Board

Editor-in-chief

Shelyuk Yulia – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Members of the Editorial Board

Harbar Oleksandr – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Head of the Department of Ecology and Geography, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Zhovnerchuk Olha – PhD (Biology), Senior Scientist of the Department of Acarology, I. I. Schmalhausen Institute of Zoology of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Kapusta Andrzej – PhD, Head of the Department of Ichthyology, Hydrobiology and Aquatic Ecology, National Inland Fisheries Research Institute, Olsztyn, Poland

Kęstutis Arbačiauskas – Dr., Prof.,Chief Resercher, State Scientific Research Institute Nature Research Centre and Vilnius, University Life Sciences Center, Lithuania

Kyrychuk Halyna – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Lystvan Kateryna – PhD (Biology), Senior Research Associate, Senior Researcher at the Department of Genetic Engineering, Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Patsyuk Marina – Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine) (*Executive Secretary*)

Semenyuk Nataliya – Doctor of Sciences (Biology), Senior Research Associate, Senior Scientist of the Department of Sanitary Hydrobiology and Hydroparasitology, Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Stunzenas Virmantas – PhD, Senior Research, State Scientific Research Institute «Nature Research Center» (Vilnius, Lithuania)

Khomutovska Natalia – PhD, Postdoctoral Researcher of the Department of Plant Protection Biology, Swedish University of Agricultural Sciences (Uppsala, Sweden)

Scientific Periodical

Ukrainian Journal of Natural Sciences / [editor Sheliuk Yuliia].
Zhytomyr: 2026. № 15. 322 p.

Registered by the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine (Decision No. 540 dated 20.07.2023).

Media entity – Zhytomyr Ivan Franko State University
(10008, Zhytomyr, Velyka Berdychivska Str., 40, intel@zu.edu.ua, tel. (0412) 43-14-17).

Professional registration (category «B»): Decree of MES No. 491 (Annex 3) dated 27.04.2023

Specialties: E1 Biology and Biochemistry, E2 Ecology, E3 Chemistry, E4 Earth Sciences,
C6 Geography and Regional Studies, H1 Agriculture

Publication languages: Ukrainian, English.

Website: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Modelling: Kuznietsova N. S.

Authors' spelling and punctuation are preserved in the articles.

Published online: 29.05.2026. Print date: 05.06.2026.
Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman
Digital printing. Conventional printed sheets 37,43. Number of copies 300. Order 0526/563

Publishing House "Helvetica" 65101,
Ukraine, Odesa, 6/1 Inglizi St.
Telephone: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Certificate of a publishing entity ДК No 7623 dated 22.06.2022

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online
© Zhytomyr Ivan Franko State University, 2026

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

БІОЛОГІЯ

УДК 504.5:631.4:630*27(477.51)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.1

ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ РОСЛИН У СКЛАДІ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОСМУГ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Є. В. Асмаковський[1], О. І. Яковенко[2]

Повномасштабні бойові дії на території України спричинили формування нових осередків техногенного забруднення та посилили міграцію важких металів у ґрунтах. Найбільші їх концентрації відзначаються вздовж транспортних коридорів та прилеглих до них полезахисних лісосмуг. Відновлення ґрунтів у післявоєнний період у межах процесів ремедіації потребуватиме, зокрема, науково-обґрунтованого добору деревних видів, здатних зменшувати біодоступність і мобільність токсичних елементів, підтримувати ґрунтотворні процеси та забезпечувати стабільність суміжних із лісосмугами агроландшафтів. Мета роботи – узагальнити видовий склад деревних видів, зафіксованих у складі деревостанів полезахисних лісосмуг Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся, оцінити толерантність видів до важких металів, розкрити особливості їх акумуляції та основні механізми фіторемедіації. Дослідження має оглядово-аналітичний характер і ґрунтується на результатах польових досліджень 2019–2025 рр. у межах Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся. Оцінювання видів здатних до фіторемедіації виконано шляхом порівняльного узагальнення наукових публікацій іноземних та вітчизняних авторів. Встановлено, що у складі деревного ярусу полезахисних лісосмуг регіону досліджень присутні: Quercus robur L., Tilia cordata Mill., види роду Acer L. та Ulmus L., Fraxinus excelsior L., Robinia pseudoacacia L., Betula pendula Roth, види роду Populus L. та Salix L., Alnus glutinosa (L.) Gaertn., Pinus sylvestris L.,локально – Carpinus betulus L. і поодиноко Picea abies (L.) H.Karst. та представники родини Rosaceae. Встановлено, що для більшості розглянутих видів домінуючим є механізм фітостабілізації із локалізацією важких металів у коренях і корі, тоді як види роду Salix і Populus демонструють підвищений потенціал до фітоекстракції за рахунок швидкого набору біомаси та підвищеної здатності до транслокації забруднювачів у надземну біомасу. Встановлено здатність Alnus glutinosa, Robinia pseudoacacia до фітостимуляції за рахунок симбіотичних зв'язків з азотфіксувальними мікроорганізмами. Встановлено, що найбільший вплив на відновлення ґрунтів

[1] доктор філософії, науковий співробітник лабораторії екології ґрунтових мікроорганізмів (Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України, м. Чернігів)
e-mail: zhekasmakovsk1y@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7134-0545
[2] кандидат біологічних наук,
доцент кафедри екології, географії та природокористування
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів);
науковий співробітник сектору палеогеографії
(Інститут географії НАН України, м. Київ)
e-mail: ajakov2@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1417-6042

Лівобережного Полісся будуть становити змішані насадження лісосмуг регіону, які поєднують у собі механізми фітостабілізації, фітоекстракції та фітостимуляції.

Ключові слова: *фіторемедіація, деревні рослини, важкі метали, полезахисні лісосмуги, Чернігівське та Новгород-Сіверське Полісся.*

PHYTOREMEDIATION PROPERTIES OF WOODY PLANT SPECIES IN THE FIELD SHELTERBELTS OF CHERNIHIV REGION

Y. V. Asmakovskyi, O. I. Yakovenko

Full-scale hostilities in Ukraine have led to the formation of new foci of technogenic pollution and increased the migration of heavy metals in soils. Their highest concentrations are observed along transport corridors and adjacent forest protection strips. Soil restoration in the post-war period within the framework of remediation processes will require, among other things, a scientifically based selection of tree species capable of reducing the bioavailability and mobility of toxic elements, supporting soil-forming processes and ensuring the stability of agricultural landscapes adjacent to forest protection strips. The purpose of the work is to summarize the species composition of tree species recorded in the stands of forest protection strips of Chernihiv and Novhorod-Siversk Polissia, to assess the tolerance of species to heavy metals, to reveal the features of their accumulation and the main mechanisms of phytoremediation. The study is of a survey-analytical nature and is based on the results of field research in 2019–2025 within the Chernihiv and Novhorod-Siversk Polissia. The assessment of species capable of phytoremediation was carried out by means of a comparative generalization of scientific publications by foreign and domestic authors. It was established that the tree layer of the shelterbelts of the study region contains: Quercus robur L., Tilia cordata Mill., species of the genus Acer L. and Ulmus L., Fraxinus excelsior L., Robinia pseudoacacia L., Betula pendula Roth, species of the genus Populus L. and Salix L., Alnus glutinosa (L.) Gaertn., Pinus sylvestris L., locally – Carpinus betulus L. and occasionally Picea abies (L.) H.Karst. and representatives of the Rosaceae family. It was found that for most of the species considered, the dominant mechanism is phytostabilization with the localization of heavy metals in the roots and bark, while species of the genus Salix and Populus demonstrate an increased potential for phytoextraction due to the rapid accumulation of biomass and increased ability to translocate pollutants into aboveground biomass. The ability of Alnus glutinosa, Robinia pseudoacacia to phytostimulation due to symbiotic relationships with nitrogen-fixing bacteria was established. It was found that the greatest impact on the restoration of soils in Left-Bank Polissia will be mixed stands of forest belts in the region, which combine the mechanisms of phytostabilization, phytoextraction and phytostimulation.

Key words: *phytoremediation, woody plants, heavy metals, forest protection strips, Chernihiv and Novhorod-Siversk Polissia.*

Вступ

Повномасштабні бойові дії на території України сформували новий комплекс екологічних викликів, серед яких особливе місце посідає масштабне забруднення довкілля важкими металами. Найбільш інтенсивне техногенне навантаження спостерігається вздовж стратегічно важливих транспортних коридорів – автомобільних шляхів, залізниць та прилеглих до них полезахисних лісосмуг, що зазнали забруднення та пошкоджень різного ступеня. Унаслідок застосування озброєння різного типу, вибухів, пожеж, знищення військової техніки та руйнування інфраструктури відбувається надходження до ґрунтів токсичних сполук і хімічних елементів, зокрема важких металів та продуктів згоряння паливно-мастильних матеріалів (Коніщук та ін., 2025; WWF Україна …, 2025).

Додатковими джерелами забруднення є місця дислокації військових підрозділів, склади зберігання військового майна, переміщення військової техніки, військова логістика, а також пошкодження промислових об'єктів та сховищ відходів. Частина територій залишається замінованою, що ускладнює проведення екологічного моніторингу та відновлювальних робіт. Найбільшої трансформації та забруднення в регіоні зазнали лісосмуги, які наближені до зони бойових дій.

У післявоєнний період відновлення земельних ресурсів, забруднених унаслідок воєнних дій, стане одним із пріоритетних напрямів державної екологічної політики. Комплекс заходів з очищення ґрунтів від токсичних речовин об'єднується поняттям ремедіації, що передбачає застосування

фізичних, хімічних і біологічних методів з метою відновлення функціонального стану ґрунтових екосистем (Чорнобров та ін., 2024). Водночас традиційні способи рекультивації часто характеризуються високою вартістю та значним техногенним навантаженням (Арданов та ін., 2023).

У такому контексті зростає науковий та практичний інтерес до фіторемедіації як екологічно безпечної та економічно доцільної альтернативи інших методів ремедіації. Фіторемедіація – це біотехнологічний метод очищення ґрунтів, води й атмосферного повітря за допомогою рослин і асоційованих із ними мікроорганізмів, що забезпечує вилучення, стабілізацію або трансформацію забруднювальних речовин (Цицюра та ін., 2022; Чорнобров та ін., 2024). Основні механізми фіторемедіації наведено на рис. 1.

За оцінками дослідників, фіторемедіаційні підходи можуть бути у 5–13 разів економічно ефективнішими порівняно з традиційними технологіями очищення (Арданов та ін., 2023). Крім того, використання отриманої біомаси в енергетичних цілях створює передумови для часткової компенсації витрат і формування замкнутого кола функціонування ресурсо-ефективних відновлювальних систем (Борецька та ін., 2021).

Попри очевидні переваги, фіторемедіація має низку обмежень, зокрема тривалість процесу очищення, залежність від ґрунтово-кліматичних умов, інвазійні особливості окремих видів, а також чутливість до фітопатогенів і шкідників (Арданов та ін., 2023). Однак за умови розгляду процесу фіторемедіації в рамках поєднання екологічної та економічної ефективності, тривалість процесу може розглядатися не як критичний недолік, а як елемент довгострокової стратегії сталого відновлення забруднених територій.

Особливої актуальності набувають дослідження деревних рослин здатних до фіторемедіації у складі полезахисних лісосмуг, які виконують важливі екосистемні функції в агроландшафтах України (Дубина та ін., 2023; Чорнобров та ін., 2024). Вивчення їх здатності до процесів фіторемедіації є необхідним кроком для розроблення науково-обґрунтованих стратегій відновлення забруднених ґрунтів, а також суміжних

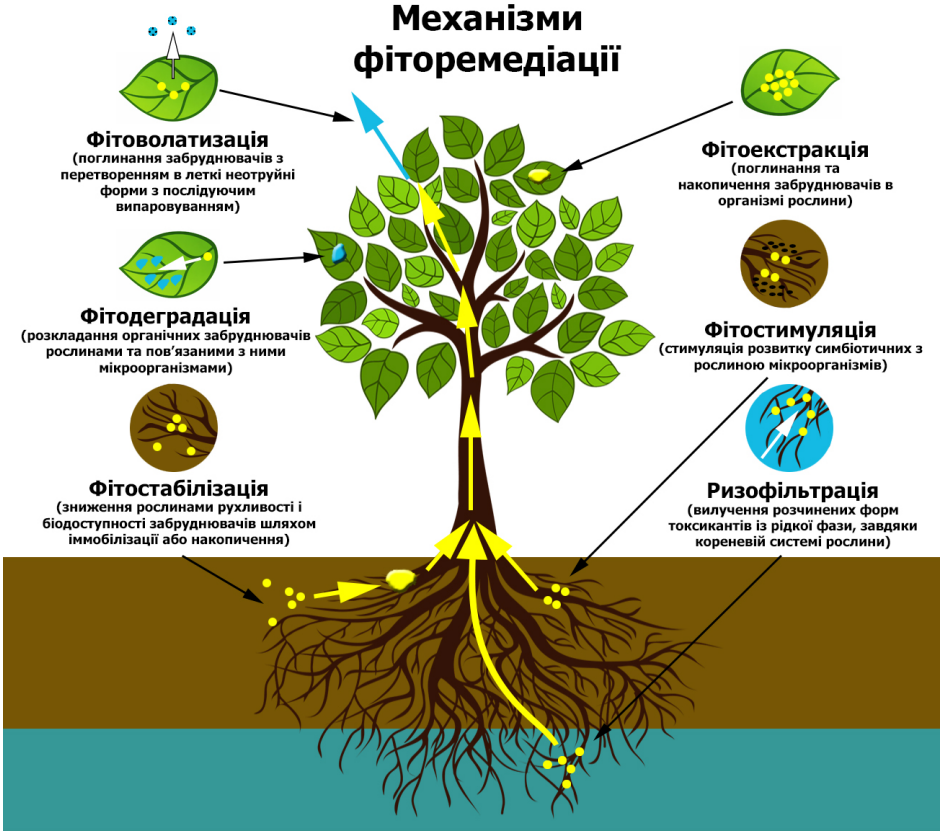


Рис. 1. Механізми фіторемедіації на прикладі деревної рослини (Чорнобров та ін., 2024) (у авторській редакції на основі застосунку Adobe Photoshop CS6)

агроекосистем та мінімізації довгострокових екологічних наслідків військової агресії у поствоєнний період.

Матеріал і методи

Дослідження має оглядово-аналітичний характер і ґрунтується на узагальненні результатів геоботанічних досліджень авторів, проведених у 2019–2025 рр. на території Чернігівської області в межах Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся (рис. 2).

Під час геоботанічних досліджень для фіксації деревних видів у складі полезахисних лісосмуг застосовували маршрутні методи (Якубенко та ін., 2018). Попередні маршрути складалися в застосунку Google Maps. Для навігації використовувався Iphone 11. За результатами польових досліджень був сформований перелік деревних таксонів, фактично представлених у складі лісосмуг регіону.

У межах дослідження розглянуто виключно рослини деревної життєвої форми – дерева; чагарникові та напівчагарникові види у рамках даної роботи не розглядалися. Кількісні показники участі видів (частота трапляння, проєктивне покриття, домінування, таксаційні параметри) не визначалися.

У контексті оцінювання фіторемедіаційних властивостей особливу увагу приділено важким металам, які характеризуються здатністю до біоакумуляції в органах рослин та потенційною токсичністю за підвищених концентрацій. До аналізу включено елементи, які традиційно відносять до важких металів ($\rho \geq 5$ г/см^3, атомний номер > 20) (Войціцький та ін., 2022).

Для оцінювання спроможності деревних видів до фіторемедіації використано загальнонаукові методи: аналіз, синтез, порівняння та системний підхід. Здатність видів до акумуляції важких металів, основні органи акумуляції, механізми фіторемедіації, толерантність до важких металів охарактеризовано на основі аналізу та порівняльного узагальнення наукових публікацій вітчизняних і зарубіжних авторів.

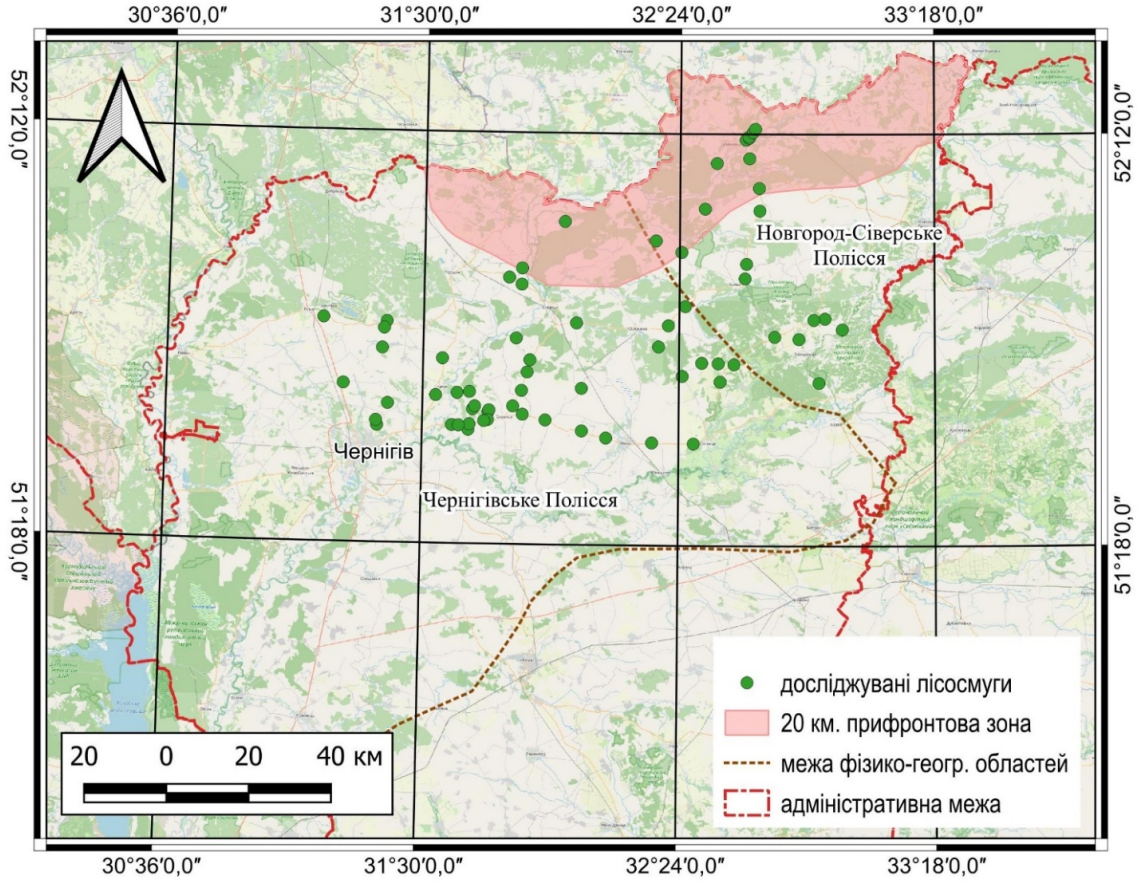


Рис. 2. Картосхема досліджуваних полезахисних лісосмуг (у авторській редакції на основі застосунку Qgis 3.40)

Актуальні таксономічні назви судинних рослин наведено у відповідності до інтернет-ресурсу World Flora Online (World …, 2026).

Картографічний та ілюстрований матеріал формувався за допомогою застосунків QGIS 3.40 та Adobe Photoshop CS6.

Результати

Регіон досліджень характеризується різноманітністю орографічних та кліматичних умов і високою часткою агроландшафтів у своїй структурі. У складі деревного ярусу полезахисних лісосмуг цього регіону зафіксовано комплекс аборигенних та інтродукованих деревних видів. Серед них відмічено *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., представники роду *Acer* L. (*Acer platanoides* L., *A. negundo* L., *A. campestre* L., *A. pseudoplatanus* L.), *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Betula pendula* Roth, види родів *Populus* L. (*Populus tremula* L., *P. alba* L., *P. nigra* L.), *Salix* L. (*Salix alba* L., *S. fragilis* L., *S. pentandra* L., *S. triandra* L., *S. caprea* L.), *Ulmus* L. (*Ulmus laevis* Pall., *U. glabra* Huds., *U. minor* Mill., *U. pumila* L.), *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. та *Pinus sylvestris* L. Подекуди у складі лісосмуг трапляється *Carpinus betulus* L., поодиноко – *Picea abies* (L.) Karst. Крім того, у складі насаджень лісосмуг представлені окремі види родини *Rosaceae*: *Malus sylvestris* L., *Pyrus pyraster* L., *Sorbus aucuparia* L. та види роду *Prunus* L. переважно на околицях або неподалік населених пунктів.

Більшість полезахисних лісосмуг регіону досліджень формуються на ґрунтах із помірним зволоженням. У таких умовах місцезростання в деревостанах лісосмуг домінують довговічні широколистяні види, зокрема *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus*, види роду *Acer* та *Ulmus*, які формують основу деревного ярусу більшості полезахисних насаджень. Значна тривалість життя, добре розвинена коренева система та здатність формувати стійкі, високопродуктивні деревні насадження і визначає їх важливу роль у довготривалих процесах відновлення забруднених ґрунтів.

Quercus robur характеризується вираженою толерантністю до широкого спектра важких металів, зокрема таких як As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn, а також здатністю їх акумулювати у різних органах рослини (Placek et al., 2016; Dadea et al., 2017; Mleczek et al., 2017; Корень, 2025; Nechita et al., 2025a). У процесах фіторемедіації провідна роль виду пов'язана з механізмами фітостабілізації, за рахунок чого, значна частина токсичних елементів зосереджується в кореневій системі та деревині. Також, важливу роль відіграють тонкі корені рослини, що ефективно акумулюють Cd і обмежують його транслокацію до надземних органів. Завдяки довговічності, значній біомасі та стійкості насаджень *Quercus robur* може розглядатися як один із ключових видів для довготривалого процесу фітостабілізації забруднених ґрунтів. На території досліджень також відмічено місцезростання інвазійного виду роду *Quercus* L. – *Quercus rubra* L., який буде характеризуватися подібними до *Quercus robur* властивостями, проте, можна констатувати, що завдяки більш швидкому росту та більшій надземній біомасі вид буде проявляти дещо більшу здатність до накопичення важких металів в листках, що свідчитиме про залучення механізму фітоекстракції.

Tilia cordata вирізняється значним потенціалом до фітостабілізації. Особливістю виду є здатність до акумуляції As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Tl, Sb, Sn, Sr, Zn (Dadea et al., 2017; Каравановић і Глібовицька, 2020; Budzyńska et al., 2024; Figas et al., 2025), причому основна частина важких металів зосереджується у кореневій системі та корі, що свідчить про переважання механізму фітостабілізації. Листя рослини може додатково акумулювати забруднювачі через атмосферне надходження. Екологічною особливістю даного виду є здатність до формування значної листяної підстилки, яка швидко мінералізується, що в свою чергу покращує структуру ґрунтів і активізує ґрунтову мікробіоту.

Fraxinus excelsior виявляє здатність до акумуляції Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Reza Sangi et al., 2008; Daghestani & Kolahi, 2024), причому більшість з перелічених важких металів локалізується у кореневій системі та корі. У свою чергу це свідчить про його роль у процесах фіторемедіації як фітостабілізуючого виду в умовах техногенного забруднення. Значна біомаса сприяє формуванню поживної листяної підстилки, яка покращує біологічну активності ґрунтів і стимулює розвиток ризосферних мікроорганізмів.

Carpinus betulus відзначається здатністю до механізму фітостабілізації забруднених ґрунтів. Вид здатний накопичувати As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn у кореневій системі (Dadea et al., 2017; Ореña et al., 2023), що

обмежує їх міграцію у ґрунтовому профілі. Щільна листкова поверхня також сприяє затриманню пилових частинок, виконуючи додаткову функцію біофільтрації атмосферного повітря.

Види роду *Acer* L. (*Acer platanoides*, *A. negundo*, *A. campestre*, *A. pseudoplatanus*) здатні до існування в різних ґрунтово-кліматичних умовах та акумуляції таких важких металів, як As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Dadea et al., 2017; Mleczek et al., 2017; Каравановић і Глібовицька, 2020; Елагіна та ін., 2022; Lovynska et al., 2023; Daghestani & Kolahi, 2024). Переважна частина вищезгаданих металів локалізується у кореневій системі та корі, що свідчить про фітостабілізаційну роль у процесах фіторемедіації, тоді як листки рослини залучені до процесів фітоекстракції за рахунок акумуляції важких металів листковою поверхнею. Завдяки розвиненій кореневій системі та значній листковій поверхні представники роду *Acer* позитивно впливають на фізико-хімічні властивості ґрунтів і мікробіологічну активність ризосфери. *Acer negundo* визначається особливою екологічною пластичністю та невибагливістю, однак через його інвазійні особливості, вид потребує обмеженого й контрольованого використання у процесах фіторемедіації в межах уже сформованих рослинних угруповань лісосмуг.

Види роду *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. glabra*, *U. minor*, *U. pumila*) також є типовими компонентами у зволожених та перезволожених лісосмугах регіону досліджень. Вони здатні до акумуляції As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Tl, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Mataruga et al., 2020; Ступак і Когут, 2025), причому переважна більшість наведених елементів локалізується у коренях і корі, що свідчить про домінування фітостабілізаційного механізму, завдяки чому, наведені види сприяють обмеженню їх міграції у ґрунтовому профілі.

У зволожених та перезволожених місцях, полезахисні лісосмуги формуються угруповання з переважанням видів, адаптованих до підвищеної вологості. До них належать *Alnus glutinosa*, види роду *Populus* та *Salix*, а також *Betula pendula*.

Alnus glutinosa є важливим видом у формуванні вологих та перезволожених екосистем Лівобережного Полісся, який здатний до механізмів фітостабілізації та фітостимуляції. У забруднених ґрунтах важкими металами, вона здатна акумулювати As, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Zn переважно у коренях і корі (Lorenc-Plucińska et al., 2013; Molnárová et al., 2018). Симбіоз виду із актиноміцетами роду *Frankia* забезпечує біологічну фіксацію азоту, що сприяє покращенню родючості ґрунтів і прискорює відновлення забруднених екосистем (Lorenc-Plucińska et al., 2013).

Види роду *Populus* (*Populus tremula*, *P. nigra*, *P. alba*) характеризуються швидким ростом та здатні до акумуляції Cd, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn (Pulford & Watson, 2003; Бессонова і Зайцева, 2008; Козловський, 2009; Борецька та ін., 2021; Di Stasio et al., 2025). Cd і Zn часто переносяться у надземну біомасу, що визначає роль тополь як фітоекстракторів, тоді як Pb і Cr переважно накопичуються у коренях. Швидкий ріст та висока екологічна пластичність даних видів, робить їх придатними для пришвидшених процесів фіторемедіації.

Види роду *Salix* (*Salix alba*, *S. fragilis*, *S. pentandra*, *S. triandra*, *S. caprea*) характеризуються швидким ростом, високим набором біомаси та здатністю до інтенсивної акумуляції Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn (Pulford & Watson, 2003; Бессонова і Зайцева, 2008; Козловський, 2009; Борецька та ін., 2021; Ореña et al., 2023; Di Stasio et al., 2025). Для деяких видів (*Salix alba*, *S. triandra*, *S. pentandra*) характерне активне накопичення Cd і Zn у надземній біомасі, що свідчить про здатність видів до фітоекстракції, тоді як *Salix fragilis*, *S. caprea* частіше виступають як фітостабілізатори. Проте, зазначене розмежування є умовним, оскільки в різних природних умовах та рівнях техногенного забруднення, наведені види можуть поєднувати дані механізми.

Особливістю *Betula pendula* є висока екологічна пластичність та швидкий ріст, що зумовлює її поширення в антропогенно трансформованих та деградованих екосистемах. Вид здатний до накопичення Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Козловський, 2009; Dadea et al., 2017; Mleczek et al., 2017; Каравановић і Глібовицька, 2020; Ореña et al., 2023; Świątek et al., 2024), причому основна частина металів концентрується у кореневій системі, що свідчить про фітостабілізаційний механізм рослини у процесах фіторемедіації. Часткове транспортування елементів у листя та кору визначає вид як фітоекстрактор. Завдяки широкій екологічній амплітуді *Betula pendula* здатна до існування у різних умовах місцезростання.

На деградованих і антропогенно-трансформованих територіях, на яких розташовані лісосмуги, важливу роль відіграють види з високою екологічною пластичністю, які здатні до швидкого росту та невибагливі до умов місцезростання. До них належать *Robinia pseudoacacia*, *Betula pendula*, а також деякі види роду *Acer*. Повторне згадування цих таксонів зумовлене їхньою здатністю зростати в широкому спектрі екологічних умов і формувати піонерні деревні угруповання.

Robinia pseudoacacia є інтродукованим видом із фітостабілізаційними та фітостимуляційними властивостями, особливо в умовах деградованих і антропогенно трансформованих фітоценозів. У забруднених ґрунтах вона здатна акумулювати Cd, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb, Zn (Бессонова і Зайцева, 2008; Dadea et al., 2017; Елагіна та ін., 2022; Lovynska et al., 2023), причому основна частина важких металів локалізується у кореневій системі і корі. Додатковою перевагою є симбіоз виду із азотфіксувальними мікроорганізмами (Gao et al., 2025), що сприяє збагаченню ґрунтів азотом і покращенню мікробіологічних процесів. Разом із тим використання виду потребує контролю та є доцільним лише у вже сформованих природних або антропогенно-трансформованих рослинних угрупованнях лісосмуг через його інвазійні особливості.

У лісосмугах на піщаних або відносно сухих ґрунтах важливу фітостабілізуючу роль відіграють хвойні породи дерев, зокрема *Pinus sylvestris*, а також подекуди *Picea abies*.

Pinus sylvestris характеризується толерантністю до техногенного забруднення і здатністю акумулювати Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn у хвої, корі та кореневій системі (Козловський, 2009; Placek et al., 2016; Świątek et al., 2024; Корень, 2025). Важливу роль у регуляції надходження важких металів до органів рослини відіграють ектомікоризні асоціації, зокрема утворені суїлоїдними грибами та *Hebeloma* та *Inocybe* (Корень, 2025), які можуть накопичувати важкі метали у міцелії та обмежувати їх транспортування у тканини рослини (Capuana, 2011). У цілому вид реалізує переважно фітостабілізаційний механізм із додатковою функцією біофільтрації атмосферного повітря. В регіоні також трапляється інвазійний вид роду *Pinus* L. – *Pinus banksiana* Lamb., який за фіторемедіаційними властивостями подібний до *Pinus sylvestris*, проте відзначається більшою посухостійкістю.

Picea abies здатна до акумуляції Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Sr, Zn переважно у хвої та корі, значною мірою за рахунок атмосферного надходження (Placek et al., 2016; Korzeniowska et al., 2021; Nechita et al., 2025b). Хоча вид не визначається гіперакумуляторною здатністю, проте він здатний фіксувати важкі метали у біомасі та зменшувати їх міграцію в ґрунтовому профілі. У лісосмугах, де за участю *Picea abies* сформовані вже повноцінні угруповання лісової рослинності, супутником виду в моховому ярусі є *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., який також здатний до симбіозу з азотфіксувальними мікроорганізмами і до накопичення у своїй біомасі важких металів (Korzeniowska et al., 2021). Однак такі лісові угруповання на території досліджень було відмічено вкрай рідко. У складі лісосмуг регіону досліджень *Picea abies* зустрічається одинично та виконує переважно фітостабілізаційну функцію з додатковою функцією біофільтрації атмосферного повітря.

У складі полезахисних лісосмуг регіону досліджень поряд з іншими деревними видами також були відмічені представники родини *Rosaceae* (*Malus sylvestris*, *Pyrus pyraster*, *Sorbus aucuparia*, види роду *Prunus*). Ці види характеризуються здатністю до акумуляції As, Cd, Cu, Co, Cr, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Zn (Munzuroğlu & Gür, 2000; Corneanu et al., 2013; Tošić et al., 2015; Telichowska et al., 2020; Čeryová et al., 2024; Milošević et al., 2025). Основна частина важких металів у даних видів локалізується у кореневій системі та корі, а також часткове накопичення можливе у плодах та ягодах (Некос, 2012), що свідчить про переважання механізму фітостабілізації над фітоекстракцією. Водночас дані види відіграють допоміжну роль у відновленні екосистем завдяки активним ризосферним процесам і формуванню органічної підстилки разом з іншими видами у складі лісосмуг регіону через свою незначну представленість.

Обговорення

Отримані результати підтверджують, що деревні види, які формують полезахисні лісосмуги Лівобережного Полісся, характеризуються різною здатністю до участі у процесах фіторемедіації забруднених ґрунтів. Більшість із наведених видів реалізовує переважно фітостабілізаційний механізм, за рахунок якого важкі метали акумулюються

у кореневій системі, корі та інших органах, що обмежує їх міграцію у ґрунтовому профілі та суміжних агроекосистемах.

Серед довговічних аборигенних порід важливу фітостабілізаційну роль відіграють *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Fraxinus excelsior* та *Carpinus betulus*. Їх потужна розгалужена коренева система сприяє накопиченню важких металів у ризосфері, тоді як значна поверхнева біомаса і тривалий життєвий цикл забезпечують довготривале функціонування механізмів фітостабілізації.

Окрему функціональну групу становлять піонерні та швидкорослі види, зокрема *Betula pendula*, види роду *Populus* та *Salix*, які поєднують швидкий ріст з набором біомаси із здатністю до активного поглинання важких металів. Для цих видів характерні більш виражені механізми фітоекстракції, особливо щодо Cd та Zn, які здатні надходити у надземні органи зазначених видів.

Суттєвий інтерес в рамках процесів фіторемедіації становлять також деревні види, які здатні покращувати ґрунтові властивості завдяки симбіотичним зв'язкам із мікроорганізмами через механізм фітостимуляції. До таких видів належать *Alnus glutinosa* та *Robinia pseudoacacia*, які утворюють азотфіксувальні симбіози з актиноміцетами або бульбочковими бактеріями.

Хвойні породи дерев, зокрема *Pinus sylvestris* і *Picea abies* виконують переважно функцію біофільтрації атмосферного повітря та беруть участь у процесах фіторемедіації за рахунок механізму фітостабілізації, акумулюючи важкі метали у хвої та корі.

Таким чином, полезахисні лісосмуги Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся містять комплекс деревних видів, які здатні до фіторемедіації забруднених ґрунтів важкими металами переважно механізмами фітостабілізації, фітоекстракції та фітостимуляції. Поєднання довговічних видів-фітостабілізаторів, швидкорослих фітоекстракторів і видів, здатних до фітостимуляції створює передумови для формування багатофункціональних насаджень, здатних виконувати ґрунтозахисні функції та брати участь у процесах очищення забруднених ґрунтів. У післявоєнний період такі насадження можуть стати важливим елементом відновлення також суміжних агроландшафтів, забруднених унаслідок активних воєнних дій.

Водночас слід враховувати, що проведене дослідження має оглядово-аналітичний характер і ґрунтується на узагальненні літературних даних. Представлений перелік видів сформований за результатами польових досліджень не є кінцевим. Подальші дослідження мають бути спрямовані на кількісне оцінювання акумуляції важких металів у різних органах деревних рослин, визначення коефіцієнтів біоконцентрації та транслокації, а також аналіз впливу ґрунтових, гідрологічних та кліматичних умов на ефективність фіторемедіаційних процесів.

Висновки

У складі деревного ярусу полезахисних лісосмуг Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся зафіксовано комплекс аборигенних широколистяних видів (*Tilia cordata*, *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, роду *Acer* та *Ulmus*, локально – *Carpinus betulus*), піонерних і вологолюбних видів (*Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Alnus glutinosa*, роду *Populus* та *Salix*), а також хвойних (*Pinus sylvestris*, поодиноко *Picea abies*). За літературними даними, для більшості зафіксованих видів характерний механізм фітостабілізації з переважною локалізацією важких металів у кореневій системі та корі, що обмежує їх міграцію у ґрунтовому профілі та суміжні агроекосистеми. У складі лісосмуг також трапляються представники родини *Rosaceae*, які здатні виконувати переважно фітостабілізаційну та частково фітостимуляційну функції. *Quercus robur* і *Tilia cordata* доцільно розглядати як базові довговічні компоненти відновлення лісосмуг на забруднених ділянках, тоді як *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus* та види роду *Ulmus* доповнюють стабілізуючий каркас насаджень. Види роду *Salix* та *Populus* мають підвищений потенціал до фітоекстракції завдяки швидкому росту та транслокації елементів у надземну біомасу, а *Betula pendula* є перспективним піонерним видом із поєднанням фітостабілізаційної та фітоекстракційної функції. Оптимальна післявоєнна стратегія, спрямована на відновлення забруднених ґрунтів важкими металами за допомогою інструментів фіторемедіації, має ґрунтуватися на змішаних багатоярусних насадженнях, що поєднують довговічні види, здатні до фітостабілізації, фітоекстракції та видів, здатних до фітостимуляції, зокрема *Alnus glutinosa* і *Robinia pseudoacacia*, з урахуванням екотопічних умов та інвазійних особливостей окремих таксонів.

Список використаної літератури

Арданов П.Є., Герасько Т.В., Дем'янюк О.С. та інші. Агроекологія та пермакультура: продовольча безпека, повоєнне відновлення, нульове забруднення, сталий розвиток: підручник / За ред. П.Є. Арданова. Київ: Талком, 2023. 240 с.

Бессонова В.П., Зайцева І.А. Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження. *Питання біоіндикації та екології.* 2008. 13(2). С. 62–77.

Борецька І.Ю., Джура Н.М., Романюк О.І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. *Екологічні науки.* 2021. 6(39). С. 72–76. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11

Войціцький В.М., Хижняк С.В., Корнієнко В.І., Мідик С.В., Ладогубець О.В., Дученко К.А., Гаркуша І.В. Атомна спектрометрія – пріоритетний метод визначення важких металів у довкіллі та сільськогосподарській продукції. *Екологічні науки.* 2022. 5(44) С. 32–35. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.4

Дубина Д.В., Устименко П.М., Дзюба Т.П., Ємельянова С.М., Дацюк В.В. Полезахисні лісові смуги України: оглядово-аналітична оцінка та план дій. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія.* 2023. 51(1). С. 44–52. https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.6

Елагіна А.О., Хмельникова Л.І., Більчук В.С. Вплив важких металів на функціональний стан лікарських деревних рослин. *«XIX Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань сучасної хімії»* (м. Дніпро, 16-19 травня 2022 р.) Дніпро: ДДМУ, 2022. С. 14–15.

Каравановіч Х.Б., Глібовицька Н.І. Здатність деревних видів акумулювати важкі метали в умовах нафтозабруднених ґрунтів. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2020. 30(1). С. 83–87. https://doi.org/10.36930/40300114

Козловський В.І. Важкі метали в екосистемах техногенно порушених територій Яворівського родовища сірки (Передкарпаття). *Наук. зап. Держ. природознав. музею.* 2009. 25. С. 99–110.

Коніщук В.В., Хом'як І.В., Шумигай І.В., Онищук І.П. Динаміка рослинності полезахисних лісосмуг, уражених бойовими діями, різної інтенсивності. *Агроекологічний журнал.* 2025. 2. С. 6–13. https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333813

Корень О. І. Прогнозований вплив *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L. та *Salix viminalis* L. на вміст важких металів у ґрунтових профілях району видобутку залізної руди. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель.* 2025. 54. С. 120–128. https://doi.org/10.15421/442512

Некос А.Н. Акумулятивні властивості рослин як фактор формування екологічної безпеки рослинної харчової продукції (на прикладі Харківського регіону). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2012. 1-2. С. 100–107.

Ступак Ю., Когут Е. Акумуляція важких металів у листках *Ulmus pumila* L. поблизу залізничних колій. *Biota. Human. Technology.* 2025. 3. С. 12–20. https://doi.org/10.58407/bht.3.25.1

Цицюра Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех Л.В. Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультивації у сучасних системах землеробства. Монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.

Чорнобров О.Ю., Соломаха В.А., Соломаха І.В., Саблук В.Т., Гументик М.Я., Шевчик В.Л. Відтворення полезахисних лісосмуг, пошкоджених унаслідок військових дій, у зоні Лісостепу України. *Агроекологічний журнал.* 2024. 4. С. 81–91. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317154

Якубенко Б.Є., Попович С.Ю., Устименко П.М., Дубина Д.В., Чурілов А.М. Геоботаніка: методичні аспекти досліджень. Київ: Ліра-К, 2018. 316 с.

Budzyńska S., Rudnicki K., Budka A., Niedzielski P., Mleczek M. Dendroremediation of soil contaminated by mining sludge: A three-year study on the potential of *Tilia cordata* and *Quercus robur* in remediation of multi-element pollution. *Science of The Total Environment.* 2024. 944. 173941. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173941

Capuana M. Heavy metals and woody plants – biotechnologies for phytoremediation. *iForest – Biogeosciences and Forestry.* 2011. 4(1). P. 7–15. https://doi.org/10.3832/ifor0555-004

Čeryová N., Lidiková J., Grygorieva O., Brindza J., Demianová A., Jurčaga L. Antioxidant Activity and Content of Heavy Metals in Cherry Fruit (*Prunus avium* L.). *Agrobiodiversity for Improving Nutrition. Health and Life Quality.* 2024. 8(2). https://doi.org/10.15414/ainhlq.2024.0018

Corneanu M., Corneanu G. C., Tripon S., Crăciun C. The phytoremediatory quality of the *Pyrus pyraster* (L.) Burgsd. species. *Annals of RSCB*. 2013. XVIII(2). P. 148–158.

Dadea C., Russo A., Tagliavini M., Mimmo T., Zerbe S. Tree species as tools for biomonitoring and phytoremediation in urban environments: A review with special regard to heavy metals. *Arboriculture and Urban Forestry*. 2017. 43(4). P. 155–167. https://doi.org/10.48044/jauf.2017.014

Daghestani M., Kolahi M. Phytoremediation potential of seedlings: comparing heavy metal accumulation in *Ailanthus*, *Acer*, and *Fraxinus* species. *Environ Monit Assess*. 2024. 196. 920. https://doi.org/10.1007/s10661-024-13054-7

Di Stasio L., Gentile A., Tangredi D.N., Piccolo P., Oliva G., Vigliotta G., Cicatelli A., Guarino F., Guidi Nissim W., Labra M. Urban Phytoremediation: A Nature-Based Solution for Environmental Reclamation and Sustainability. *Plants*. 2025. 14. 2057. https://doi.org/10.3390/ plants14132057

Figas A., Tomaszewska-Sowa M., Siwik-Ziomek A., Kobierski M. Phytoaccumulation of Heavy Metals in Flowers of *Tilia cordata* Mill. and Soil on Background Enzymatic Activity. *Forests.* 2025. 16(6). 991. https://doi.org/10.3390/f16060991

Gao L., Wang S., Zou D., Fan X. Guo P., Du H., Zhao W., Mao Q., Li H., Ma M., Rennenberg H. Responses of *Robinia pseudoacacia* co-inoculated with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi to cadmium under nitrogen excess condition. *Plant Soil*. 2025. 508. P. 909–924. https:// doi.org/10.1007/s11104-024-06836-y

Korzeniowska J., Kraz P., Dorocki S. Heavy Metal Content in the Plants (*Pleurozium schreberi* and *Picea abies*) of Environmentally Important Protected Areas of the Tatra National Park (the Central Western Carpathians, Poland). *Minerals*. 2021. 11. 1231. https://doi.org/10.3390/min11111231

Lorenc-Plucińska G., Walentynowicz M., Niewiadomska A. Capabilities of alders (*Alnus incana* and *A. glutinosa*) to grow in metal-contaminated soil. *Ecological Engineering*. 2013. 58. P. 214–227. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.002

Lovynska V., Holoborodko K., Ivanko I., Sytnyk S., Zhukov O., Loza I., Wiche O., Heilmeier H. Heavy metal accumulation by *Acer platanoides* and *Robinia pseudoacacia* in an industrial city (Northern Steppe of Ukraine). *Biosystems Diversity*. 2023. 31(2). P. 246–253. http:// doi.org/10.15421/012327

Mataruga Z., Jarić S., Kostić O., Marković M., Jakovljević K., Mitrović M., Pavlović P. The potential of elm trees (*Ulmus glabra* Huds.) for the phytostabilisation of potentially toxic elements in the riparian zone of the Sava River. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020. P. 4309–4324. https:// doi.org/10.1007/s11356-019-07173-9

Milošević N., Glišić I., Đorđević M., Marić S., Radičević S., Milinkovi M., Milošević T. Influence of cultivar on macro- and micronutrient composition, potential toxic elements accumulation and their interrelationships in leaves and fruits of European plum (*Prunus domestica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025. 147. 107979. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107979

Mleczek M., Goliński P., Krzesłowska M., Gąsecka M. and other. Phytoextraction of potentially toxic elements by six tree species growing on hazardous mining sludge. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2017. 24(28). 22183–22195. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9842-3

Molnárová M., Ružičková J., Lehotská B., Takáčová A., Fargašová A. Determining As, Cd, Cu, Pb, Sb, and Zn in Leaves of Trees Collected near Mining Locations of Malé Karpaty Mts. in the Slovak Republic. *Pol. J. Environ. Stud*. 2018. 27(5). P. 2179-2191. https://doi.org/10.15244/pjoes/78889

Munzuroğlu Ö, Gür N. The Effects of Heavy Metals on the Pollen Germination and Pollen TubeGrowth of Apples (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden). *Turkish Journal of Biology*. 2000. 24(3). P. 677–684.

Nechita C., Iordache A.M., Pluhacek T., Gregar F., Camarero J.J. Hazardous metals coupled with increasing summer diurnal temperature range contributed to growth decline of two oak species in a heavily industrialized area. *Journal of Hazardous Materials*. 2025. 496. 139519. https:// doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139519

Nechita C., Iordache A.M., Roba C., Sandru C., Zgavarogea R., Camarero J.J. Heavy Metal Health Risk Assessment in *Picea abies* L. Forests Along an Altitudinal Gradient in Southern Romania. *Plants*. 2025. 14. 968. https://doi.org/10.3390/ plants14060968

Opeña J., Halasz, G. E., Árgyelan J. T., Horvath M. Phytoremediation of Potential Toxic Elements by Native Tree Species in Mined- Spoiled Soils in Mátraszentimre, *Hungary. Journal of Environmental Science and Management*. 2023. 25(2). P. 49–60. https://doi.org/10.47125/jesam/ 2022_2/06

Placek A., Grobelak A., Kacprzak M. Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*. 2016. 18(6). P. 605–618. http://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086308

Pulford I.D., Watson C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environment International*. 2003. 29. P. 529–540. https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00152-6

Reza Sangi M., Shahmoradi A., Zolgharnein J., Hassan Azimi G., Ghorbandoost M. Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using *Ulmus carpinifolia* and *Fraxinus excelsior* tree leaves. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. 155(3). P. 513–522. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.110

Świątek B., Kraj W., Pietrzykowski M. Adaptation of *Betula pendula* Roth., *Pinus sylvestris* L., and *Larix decidua* Mill. to environmental stress caused by tailings waste highly contaminated by trace elements. *Environ Monit Assess.* 2024. 196. 52. https://doi.org/10.1007/s10661-023-12134-4

Telichowska A., Kobus-Cisowska J., Szulc P. Phytopharmacological possibilities of Bird Cherry *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. Species and Their Bioactive Phytochemicals. *Nutrients*. 2020. 12(7). 1966. https://doi.org/10.3390/nu12071966

Tošić S., Alagić S., Dimitrijević M., Pavlović A., Nujkić M. Plant parts of the apple tree (*Malus* spp.) as possible indicators of heavy metal pollution. *Ambio*. 2015. 45(4). P. 501–512. https://doi.org/10.1007/s13280-015-0742-9

World Flora Online 2026. Plant List In World Flora Online. URL: https://wfoplantlist.org/plant-list (дата звернення: 02.03.2026).

WWF-Україна 2025. Наслідки бойових дій для лісосмуг та шлях до їх відновлення. URL: https://wwf.ua/?17150341/war-and-shelterbelts (дата звернення: 15.02.2026).

References

Ardanov, P.Y., Herasko, T.V., Demianiuk, O.S. et al. (2023). Ahroekolohiia ta permakultura: prodovolcha bezpeka, povoienne vidnovlennia, nulove zabrudnennia, stalyi rozvytok: pidruchnyk [Agroecology and permaculture: food security, post-war recovery, zero pollution, sustainable development: a textbook]. Kyiv: Talkom [in Ukrainian].

Bessonova, V.P., & Zaitseva, I.A. (2008). Vmist vazhkykh metaliv u lysti derev i chaharnykiv v umovakh tekhnohennoho zabrudnennia riznoho pokhodzhennia [The content of heavy metals in the leaves of trees and shrubs under conditions of technogenic pollution of various origins]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii [Problems of bioindications and ecology]*, 13(2), 62–77. [in Ukrainian].

Boretska, I.Iu., Dzhura, N.M., & Romaniuk, O.I. (2021). Fitoremediatsiia tekhnohenno zabrudnenykh gruntiv z vykorystanniam enerhetychnykh kultur [Phytoremediation of technogenically contaminated soils using energy crops]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*, 6(39), 72–76. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11 [in Ukrainian].

Chornobrov, O.Yu., Solomakha, V.A., Solomakha, I.V., Sabluk, V.T., Humentyk, M.Ya., & Shevchyk, V.L. (2024). Vidtvorennia polezakhysnykh lisosmuh poshkodzhenykh unaslidok viiskovykh dii u zoni Lisostepu Ukrainy [Restoration of the field protective forest belts damaged by military activities in the Foreststeppe zone of Ukraine]. *Agroecological journal*, 4, 81–91. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317154

Dubyna, D.V., Ustymenko, P.M., Dziuba, T.P., Iemelianova, S.V., & Datsyuk, V.V. (2023). Polezakhysni lisovi smuhy Ukrainy: ohliadovo-analitychna otsinka ta plan dii [Protective forest belts of Ukraine: Review and analysis assessment and action plan]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia «Ahronomiia i biolohiia» [Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology]*, 51(1), 44–52. https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.6 [in Ukrainian].

Elahina, A.O., Khmelnykova, L.I., & Bilchuk, V.S. (2022). Vplyv vazhkykh metaliv na funktsionalnyi stan likarskykh derevnykh roslyn [The influence of heavy metals on the functional state of medicinal woody plants]. *XX Vseukrainska konferentsiia molodykh vchenykh ta studentiv z aktualnykh pytan suchasnoi khimii [XX All-Ukrainian Conference of Young Scientists and Students on Current Issues of Modern Chemistry]*. Dnipro, pp. 14–15. [in Ukrainian].

Karanovych, K.B., & Glibovytska, N.I. (2020). Zdatnist derevnykh vydiv akumuliuvaty vazhki metaly v umovakh naftozabrudnenykh gruntiv [The woody species accumulative ability of heavy metals in the conditions of oil-polluted soils]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 30(1), 83–87. https://doi.org/10.36930/40300114 [in Ukrainian].

Kozlovskyy, V.I. (2009). Vazhki metaly v ekosystemakh tekhnohenno porushenykh terytorii Yavorivskoho rodovyshcha sirky (Peredkarpattia) [Heavy metals in ecosystems of man-caused area of Yavoriv open-cast sulfur mining (Ciscarpathian region)]. *Naukovi zapysky Derzhavnoho pryrodoznavchoho muzeiu [Proc. of the State Nat. Hist. Museum]*, 25, 99–110. [in Ukrainian].

Konishchuk, V.V., Khomiak, I.V., Shumyhai, I.V., & Onyshchuk, I.P. (2025). Dynamika roslynnosti polezakhysnykh lisosmuh, urazhenykh boiovymy diiamy, riznoi intensyvnosti [Vegetation dynamics of field protective forest strips affected by military actions of various intensities]. *Ahroekolohichnyi zhurnal [Agroecological journal]*, 2, 6–13. https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333813 [in Ukrainian].

Koren, O. I. (2025). Prohnozovanyi vplyv *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L. ta *Salix viminalis* L. na vmist vazhkykh metaliv u gruntovykh profiliakh raionu vydobutku zaliznoi rudy **[**Predicted impact of *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L. and *Salix viminalis* L. on heavy metal content in soil profiles of an iron ore mining region]. *Pytannia stepovoho lisoznavstva ta lisovoi rekultyvatsii zemel [Issues of steppe forestry and forest reclamation of soils]*, 54, 120–128. https://doi.org/10.15421/442512 [in Ukrainian].

Nekos, A.N. (2012). Akumuliatyvni vlastyvosti roslyn yak faktor formuvannia ekolohichnoi bezpeky roslynnoi kharchovoi produktsii (na prykladi Kharkivskoho rehionu) [Accumulative properties of plants as a factor in the formation of ecological safety of plant food products (on the example of the Kharkiv region)]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii [Man and environment. Issues of neoecology]*, 1-2, 100–107. [in Ukrainian].

Stupak, Y., & Kohut, E. (2025). Akumuliatsiia vazhkykh metaliv u lystkakh *Ulmus pumila* L. poblyzu zaliznychnykh kolii [Accumulation of heavy metals in leaves of *Ulmus pumila* L. near railway tracks]. *Biota. Human. Technology*, 3, 12–20. https://doi.org/10.58407/bht.3.25.1 [in Ukrainian].

Tsytsiura, Ya.H., Shkatula, Yu.M., Zabarna, T.A., & Pelekh, L.V. (2022). Innovatsiini pidkhody do fitoremediatsii ta fitorekultyvatsii u suchasnykh systemakh zemlerobstva [Innovative approaches to phytoremediation and phytorecultivation in modern agricultural systems. Monograph]. Vinnytsia: TOV «Druk». [in Ukrainian].

Voitsitskyi, V.M., Khyzhniak, S.V., Korniienko, V.I., Midyk, S.V., Ladohubets, O.V., Duchenko, K.A., & Harkusha, I.V. (2022). Atomna spektrometriia – priorytetnyi metod vyznachennia vazhkykh metaliv u dovkilli ta silskohospodarskii produktsii [Atomic spectrometry is the preferred method for determining heavy metals in the environment and agricultural products]. *Environmental sciences*, 5(44), 32–35. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.4

Yakubenko, B.Y., Popovych, S.Iu., Ustymenko, P.M., Dubyna, D.V., & Churilov, A.M. (2018). Heobotanika: metodychni aspekty doslidzhen [Geobotany: methodological aspects of research. textbook]. Kyiv: Lira-K. [in Ukrainian].

Budzyńska, S., Rudnicki, K., Budka, A., Niedzielski, P., & Mleczek, M. (2024). Dendroremediation of soil contaminated by mining sludge: A three-year study on the potential of *Tilia cordata* and *Quercus robur* in remediation of multi-element pollution. *Science of The Total Environment*, 944, 173941. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173941 [in English].

Capuana, M. Heavy metals and woody plants – biotechnologies for phytoremediation. (2011). *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 4(1), 7–15. https://doi.org/10.3832/ifor0555-004 [in English].

Čeryová, N., Lidiková, J., Grygorieva, O., Brindza, J., Demianová, A., & Jurčaga, L. (2024). Antioxidant Activity and Content of Heavy Metals in Cherry Fruit (*Prunus avium* L.). *Agrobiodiversity for Improving Nutrition. Health and Life Quality*, 8(2). https://doi.org/10.15414/ainhlq.2024.0018 [in English].

Corneanu, M., Corneanu, G.C., Tripon, S., & Crăciun, C. (2013). The phytoremediatory quality of the *Pyrus pyraster* (L.) Burgsd. species. *Annals of RSCB*, XVIII (2), 148–158. [in English].

Dadea, C., Russo, A., Tagliavini, M., Mimmo, T., & Zerbe, S. (2017). Tree species as tools for biomonitoring and phytoremediation in urban environments: A review with special regard to heavy metals. *Arboriculture and Urban Forestry*, 43(4), 155–167. https://doi.org/10.48044/jauf.2017.014 [in English].

Daghestani, M., & Kolahi, M. (2024). Phytoremediation potential of seedlings: comparing heavy metal accumulation in *Ailanthus*, *Acer*, and *Fraxinus* species. *Environ. Monit. Assess*, 196, 920. https://doi.org/10.1007/s10661-024-13054-7 [in English].

Di Stasio, L., Gentile, A., Tangredi, D.N., Piccolo, P., Oliva, G., Vigliotta, G., Cicatelli, A., Guarino, F., Guidi Nissim, W., & Labra, M. (2025). Urban Phytoremediation: A Nature-Based Solution

for Environmental Reclamation and Sustainability. *Plants*, 14, 2057. https://doi.org/10.3390/ plants14132057 [in English].

Figas, A., Tomaszewska-Sowa, M., Siwik-Ziomek, A., & Kobierski, M. (2025). Phytoaccumulation of Heavy Metals in Flowers of *Tilia cordata* Mill. and Soil on Background Enzymatic Activity. *Forests*, 16(6), 991. https://doi.org/10.3390/f16060991 [in English].

Gao, L., Wang, S., Zou, D., Fan, X., Guo, P., Du, H., Zhao, W., Mao, Q., Li, H., Ma, M., & Rennenberg, H. (2025). Responses of *Robinia pseudoacacia* co-inoculated with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi to cadmium under nitrogen excess condition. *Plant Soil*, 508, 909–924. https://doi.org/10.1007/s11104-024-06836-y [in English].

Korzeniowska, J., Kraz, P., & Dorocki, S. (2021). Heavy Metal Content in the Plants (*Pleurozium schreberi* and *Picea abies*) of Environmentally Important Protected Areas of the Tatra National Park (the Central Western Carpathians, Poland). *Minerals*, 11, 1231. https://doi.org/10.3390/ min11111231 [in English].

Lorenc-Plucińska, G., Walentynowicz, M., & Niewiadomska, A. (2013). Capabilities of alders (*Alnus incana* and *A. glutinosa*) to grow in metal-contaminated soil. *Ecological Engineering*, 58, 214–227. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.002

Lovynska, V., Holoborodko, K., Ivanko, I., Sytnyk, S., Zhukov, O., Loza, I., Wiche, O., & Heilmeier, H. (2023). Heavy metal accumulation by *Acer platanoides* and *Robinia pseudoacacia* in an industrial city (Northern Steppe of Ukraine). *Biosystems Diversity*, 31(2), 246–253. http:// doi.org/10.15421/012327 [in English].

Mataruga, Z., Jarić, S., Kostić, O., Marković, M., Jakovljević, K., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2020). The potential of elm trees (*Ulmus glabra* Huds.) for the phytostabilisation of potentially toxic elements in the riparian zone of the Sava River. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 4309-4324. https:// doi.org/10.1007/s11356-019-07173-9 [in English].

Milošević, N., Glišić, I., Đorđević, M., Marić, S., Radičević, S., Milinkovi, M., & Milošević, T. (2025). Influence of cultivar on macro- and micronutrient composition, potential toxic elements accumulation and their interrelationships in leaves and fruits of European plum (*Prunus domestica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 147, 107979. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107979 [in English].

Mleczek, M., Goliński, P., Krzesłowska, M., Gąsecka, M, Magdziak Z., Rutkowski P., Budzyńska S., Waliszewska B., Kozubik T., Karolewski Z., & Niedzielski P. (2017). Phytoextraction of potentially toxic elements by six tree species growing on hazardous mining sludge. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 24(28), 22183–22195. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9842-3 [in English].

Molnárová, M., Ružičková, J., Lehotská, B., Takáčová, A., & Fargašová, A. (2018). Determining As, Cd, Cu, Pb, Sb, and Zn in Leaves of Trees Collected near Mining Locations of Malé Karpaty Mts. in the Slovak Republic. *Pol. J. Environ. Stud*, 27(5), 2179–2191. https://doi.org/10.15244/ pjoes/78889

Munzuroğlu, Ö., & Gür, N. (2000). The Effects of Heavy Metals on the Pollen Germination and Pollen TubeGrowth of Apples (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden). *Turkish Journal of Biology*, 24(3), 677–684. [in English].

Nechita C., Iordache A.M., Pluhacek T., Gregar F., & Camarero J.J. (2025). Hazardous metals coupled with increasing summer diurnal temperature range contributed to growth decline of two oak species in a heavily industrialized area. *Journal of Hazardous Materials*, 496, 139519. https:// doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139519 [in English].

Nechita, C., Iordache, A.M., Roba, C., Sandru, C., Zgavarogea, R., & Camarero, J.J. (2025). Heavy Metal Health Risk Assessment in *Picea abies* L. Forests Along an Altitudinal Gradient in Southern Romania. *Plants*, 14, 968. https://doi.org/10.3390/ plants14060968 [in English].

Opeña, J., Halasz, G. E., Árgyelan, J. T., & Horvath, M. (2023). Phytoremediation of Potential Toxic Elements by Native Tree Species in Mined- Spoiled Soils in Mátraszentimre, *Hungary. Journal of Environmental Science and Management*, 25(2), 49–60. https://doi.org/10.47125/ jesam/2022_2/06 [in English].

Placek, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. (2016). Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*, 18(6), 605-618. http://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086308 [in English].

Pulford, I.D., & Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review. *Environment International*, 29, 529–540. https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00152-6 [in English].

Reza Sangi, M., Shahmoradi, A., Zolgharnein, J., Hassan Azimi, G., & Ghorbandoost, M. (2008). Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using *Ulmus carpinifolia* and *Fraxinus excelsior* tree leaves. *Journal of Hazardous Materials*, 155(3), 513–522. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.110 [in English].

Świątek, B., Kraj, W., & Pietrzykowski, M. (2024). Adaptation of *Betula pendula* Roth., *Pinus sylvestris* L., and *Larix decidua* Mill. to environmental stress caused by tailings waste highly contaminated by trace elements. *Environ Monit Assess*, 196, 52. https://doi.org/10.1007/s10661-023-12134-4 [in English].

Telichowska, A., Kobus-Cisowska, J., & Szulc, P. (2020). Phytopharmacological possibilities of Bird Cherry *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. Species and Their Bioactive Phytochemicals. *Nutrients*, 12(7), 1966. https://doi.org/10.3390/nu12071966 [in English].

Tošić, S., Alagić, S., Dimitrijević, M., Pavlović, A., & Nujkić, M. (2015). Plant parts of the apple tree (*Malus* spp.) as possible indicators of heavy metal pollution. *Ambio*, 45(4), 501–512. https://doi.org/10.1007/s13280-015-0742-9 [in English].

World Flora Online. (2026). Plant List in World Flora Online. [Electronic resource] URL: https://wfoplantlist.org/plant-list (access date 02.03.2026). [in English].

WWF-Ukraine. (2025). Naslidky boiovykh dii dlia lisosmuh ta shliakh do yikh vidnovlennia [The consequences of hostilities for forest belts and the path to their restoration]. [Electronic resource] URL: https://wwf.ua/?17150341/war-and-shelterbelts (access date 15.02.2026). [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 598.265.1:591.521]:575.826:911.375.1](045)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.2

ГНІЗДУВАННЯ ГОРЛИЦІ САДОВОЇ (*STREPTOPELIA DECAOCTO*) ЯК ПРОЯВ ЕВОЛЮЦІЙНО ЗУМОВЛЕНИХ АДАПТАЦІЙ ДО УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

Л. М. Мороз[1], С. І. Сорокіна[2], Л. Ю. Соболенко[3]

У статті представлено результати багаторічного комплексного моніторингу популяційних та репродуктивних параметрів горлиці садової (Streptopelia decaocto) в умовах урболандшафтів Центрального Лісостепу України. Дослідження, що охоплює період 2015–2025 рр., базується на детальному аналізі 77 випадків гніздування в межах дендропарків «Софіївка» та «Олександрія», міських скверів м. Умань, Черкаси, Монастирище, а також приміських лісових масивів. Актуальність роботи зумовлена необхідністю актуалізації даних про екологію виду в умовах інтенсивних техногенних трансформацій міських екосистем протягом останнього десятиліття. Встановлено, що гніздова щільність виду суттєво детермінується типом антропогенного ландшафту та рівнем мозаїчності біотопів. У великих паркових масивах зафіксовано щільність 0,11–0,37 ос./га, тоді як у малогабаритних міських скверах цей показник зростає до 1,8–5,0 ос./га. Виявлено стратегію вертикальної диференціації гніздування як механізм мінімізації фактора занепокоєння: у скверах із високим пішохідним трафіком 75,86 % гнізд зосереджені у верхньому ярусі (6–8 м), тоді як у великих парках переважає висота 4–5 м. Також проаналізовано просторову архітектоніку гніздування: у скверах спостерігається чітке зміщення гнізд у середню частину бічних гілок (72,41 %), що свідчить про адаптивну гнучкість виду. Розраховано інтегральні показники успішності гніздування, які в дендропарках становлять 66,66 ± 5,56 %, а в скверах – 62,96 ± 2,42 %. Середня величина кладки становить 1,85–1,93 яєць. Визначено ключові елімінуючі фактори, серед яких провідну роль відіграє хижацтво з боку вивірки звичайної (Sciurus vulgaris), воронових птахів та бродячих котів, що спричиняє деструкцію до 30,76 % гнізд у скверах. Доведено, що стабільність локальних популяцій забезпечується високим репродуктивним потенціалом, що дозволяє виду успішно компенсувати деструктивний вплив

[1] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та хімії
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: lesamistrukova72@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2007-5443
[2] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та хімії
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: s.i.sorokina@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8155-001X
[3] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та хімії
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: sobolenko@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1196-4772

хижаків та антропогенний тиск, підтверджуючи статус S. decaocto як успішного облігатного синантропа.

Ключові слова: *горлиця садова, успішність гніздування, урболандшафт, орнітофауна, синантропізація, адаптація, репродуктивний успіх.*

NESTING OF THE COLLARED DOVE (*STREPTOPELIA DECAOCTO*) AS A MANIFESTATION OF EVOLUTIONARY ADAPTATIONS TO THE URBANIZED ENVIRONMENT

L. M. Moroz, S. I. Sorokina, L. Y. Sobolenko

The article presents the results of long-term comprehensive monitoring of the population and reproductive parameters of the Collared Dove (Streptopelia decaocto) within the urban landscapes of the Central Forest-Steppe of Ukraine. The study, covering the period from 2015 to 2025, is based on a detailed analysis of 77 nesting cases within the "Sofiyivka" and "Oleksandriya" dendrological parks, urban squares of Uman, Cherkasy, Monastyryshche, and suburban forests. The relevance of the work is determined by the need to update data on the ecology of the species in the context of intensive technogenic transformations of urban ecosystems over the last decade.

It was established that the nesting density of the species is significantly determined by the type of anthropogenic landscape and the level of habitat mosaicism. In large park massifs, a density of 0,11–0,37 ind./ha was recorded, while in small urban squares, this indicator increases to 1,8–5,0 ind./ha. A strategy of vertical nesting differentiation was revealed as a mechanism to minimize the disturbance factor: in squares with high pedestrian traffic, 75,86% of nests are concentrated in the upper canopy (6–8 m), whereas in large parks, a height of 4–5 m prevails. The spatial architectonics of nesting were also analyzed: in squares, there is a clear shift of nests to the middle part of lateral branches (72,41%), which indicates the adaptive flexibility of the species in modified environments. Integral indicators of nesting success were calculated, amounting to 66,66 ± 5,56% in dendrological parks and 62,96 ± 2,42% in urban squares. The average clutch size ranges from 1,85 to 1,93 eggs.

Key eliminating factors were identified, among which the leading role is played by predation by the Red Squirrel (Sciurus vulgaris), corvids, and stray cats, causing the destruction of up to 30,76% of nests in squares. It is proved that the stability of local populations is ensured by high reproductive potential, which allows the species to successfully compensate for the destructive impact of predators and anthropogenic pressure, confirming the status of S. decaocto as a successful obligate synanthrope.

Key words: *collared dove, nesting success, urban landscape, avifauna, synanthropization, adaptation, reproductive success.*

Вступ

У контексті глобальної деградації міських екосистем та погіршення стану навколишнього природного середовища в більшості регіонів світу, питання оптимізації урболандшафтів набуває особливої актуальності. Одним із пріоритетних напрямів покращення екологічних параметрів міст є інтенсифікація розбудови зеленої інфраструктури – як шляхом створення периметральних лісопаркових поясів, так і через збільшення площі дендрологічних насаджень безпосередньо в межах селітебних зон.

Варто зауважити, що розвиток системи міського озеленення ініціює комплексні позитивні трансформації біогеоценозів (Мороз та ін., 2024). Зокрема, деревні масиви стають осередками концентрації орнітофауни, передусім видів-синантропів. У структурі міських біотопів птахи виконують критично важливу функцію природних регуляторів чисельності безхребетних, зокрема фітофагів та ентомошкідників. Окрім біоценотичного значення, орнітокомплекси відіграють суттєву роль у забезпеченні естетико-рекреаційного потенціалу територій, сприяючи психоемоційному відновленню міського населення (Moroz et al., 2020; Moroz et al., 2021).

Водночас урбанізовані екосистеми характеризуються специфічним комплексом біотичних факторів, серед яких важливе місце займає хижацтво, що може істотно впливати на репродуктивну успішність птахів. Основними пресорами, що зумовлюють хижацтво щодо кладок і виводків у досліджуваних урбоценозах є: вивірка звичайна (*Sciurus vulgaris*), сорока (*Pica pica*), сойка (*Garrulus glandarius*), грак (*Corvus frugilegus*), а також бродячі коти (*Felis catus*) (Містрюкова, 2005).

Серед репрезентативних видів орнітофауни-синантропів, що характеризуються стабільною гніздовою чисельністю в дендрологічних насадженнях урболандшафтів Центральної України, особливої уваги заслуговує горлиця садова (*Streptopelia decaocto* Frivaldszky, 1838). Для орнітофауністичного комплексу України цей вид є порівняно новим елементом, поява якого стала результатом інтенсивної експансії у XX столітті (Rocha-Camarero & de Trucios, 2002). Згідно з узагальненими орнітологічними даними *Streptopelia decaocto* у Європі розпочала свою стрімку експансію з 1930-х років, а в Україні вперше зареєстрована в 1944 р. у м. Ужгород. Після цього вид швидко розширив свій ареал на північ та схід і до початку XXI ст. поширився по всій території країни, ставши звичайним осілим синантропним птахом у населених пунктах різних кліматичних зон (у тому числі в межах міст, селищ і сіл) як типовий мешканець трансформованих територій (Фесенко і Бокотей, 2002; Матвійчук і Серебряков, 2010; Наконечний та ін., 2021).

Спостерігається тенденція до експансії горлиці садової (*Streptopelia decaocto*) за межі урбанізованого середовища у природні лісові біотопи, зокрема у лісові масиви, що безпосередньо межують із міською забудовою (Коваль і Містрюкова, 2002; Хорняк, 2005). Попри те, що окремі аспекти екології виду висвітлювались у попередніх дослідженнях, зокрема на прикладі Миколаївської області (Наконечний та ін., 2021; Редінов та ін., 2022). Наявні дані потребують актуалізації. Це зумовлено інтенсивними еколого-техногенними трансформаціями міських урболандшафтів, що відбулися протягом останніх десятиліть і суттєво детермінували зміни в популяційній структурі виду.

Варто констатувати, що в умовах паркових та скверних екосистем Центральної України (зокрема Уманщини) детальні дослідження екології та репродуктивного успіху горлиці садової в умовах сучасного антропогенного навантаження тривалий час не проводились, що й обумовлює актуальність нашої роботи.

Метою статті є проведення комплексного моніторингу та порівняльного аналізу популяційних параметрів і репродуктивного успіху горлиці садової (*Streptopelia decaocto*) в умовах трансформації урболандшафтів Центрального Лісостепу України, а також виявлення адаптивних механізмів виду до різного ступеня антропогенного навантаження.

Матеріал і методи

Комплексні дослідження популяційної динаміки, репродуктивного успіху та екологічних особливостей горлиці садової (*Streptopelia decaocto*) проводилися протягом 2015–2025 рр. Моніторинг охоплював ключові дендрологічні та урбанізовані біотопи Центральної України, зокрема: Національний дендрологічний парк «Софіївка» (м. Умань), Державний дендрологічний парк «Олександрія» НАН України (м. Біла Церква), а також приміський лісовий масив «Білогрудівський ліс» (Уманський р-н). Окрім того, обстеження проводилися у міських парках та скверах міст Черкаси та Монастирище. Загальний обсяг проаналізованого матеріалу склав 77 зафіксованих випадків гніздування виду, що дозволило отримати репрезентативні дані щодо його біоекологічних параметрів у регіоні.

Екологічний аналіз базується на результатах обстеження 77 гнізд, для кожного з яких було встановлено показники успішності розмноження та біотопічної приуроченості.

Кількісний аналіз репродуктивних параметрів (величина кладки, кількість яєць, виживаність пташенят) проводився згідно з уніфікованими методиками орнітологічного моніторингу (Bibby, 2020). Розрахунок інтегрального показника успішності гніздування (УГ) здійснювався за формулою:

$$УГ = (\sum N_{pull} / \sum N_{egg}) \times 100\%,$$

де:

N_{egg} – загальна кількість відкладених яєць у контрольованих кладках;

N_{pull} – загальна кількість пташенят, що успішно вилупилися та досягли віку вильоту з гнізда.

Окрім інтегрального показника загальної успішності гніздування (УГ), аналізували такі репродуктивні параметри, як середня величина кладки та середня чисельність виводка.

Результати

Горлиця садова (*Streptopelia decaocto*) є репрезентативним видом-синантропом, що стабільно заселяє паркові екосистеми та приміські лісові масиви на всій території України. За даними нашого моніторингу, у 2004 році на території Національного дендрологічного парку «Софіївка» було зафіксовано гніздування 16 пар, що відповідало щільності 0,11 ос./га, або 3,06% від загальної структури гніздового орнітокомплексу.

Проте в останні роки спостерігається суттєва депресія чисельності виду в межах парку. Основним детермінуючим фактором

виступає інтенсивне хижацтво з боку вивірки звичайної (*Sciurus vulgaris*), що призводить до масової елімінації кладок та виводків. Порівняльний аналіз із ретроспективними даними М. Ф. Коваля (Коваль і Містрюкова, 2002) свідчить про значне скорочення популяції: у 1975 році щільність гніздування становила 0,37 ос./га, що в 3,39 раза перевищувало показники 2004 року.

Показники гніздової щільності горлиці садової (*Streptopelia decaocto*) у великих паркових масивах регіону в 2004 році демонстрували певну варіативність: у Дендрологічному парку «Олександрія» цей показник становив 0,28 ос./га, тоді як у міських парках Черкас та Монастирища – 0,16 ос./га та 0,14 ос./га відповідно.

Водночас вид залишається одним із домінантів у структурі орнітофауни малогабаритних міських скверів, де концентрація гніздових пар є значно вищою. Зокрема, в Центральному сквері м. Умань щільність виду сягала 4–5 ос./га (30,77 % від загального складу орнітокомплексу), у сквері ім. Черняховського (м. Умань) – 2,66 ос./га (18,18 %), у Тульчинському міському сквері – 1,78 ос./га (7,64 %), а в м. Переяслав – 2,31 ос./га (21,44 %). Така висока частка виду в невеликих за площею зелених зонах підтверджує його високу адаптивність до інтенсивного антропогенного навантаження та перевагу мозаїчних урбанізованих біотопів.

У приміських лісових екосистемах горлиця садова (*Streptopelia decaocto*) демонструє виражену приуроченість до екотонних зон, що безпосередньо межують із селітебними територіями. У глибині лісових масивів вид фактично відсутній, що підтверджує його високий ступінь синантропізації. Зокрема, в Уманському приміському масиві «Білогрудівський ліс» середня гніздова щільність виду становить лише 0,04 ос./га (1,83 % від загальної чисельності орнітофауни).

Будучи облігатним синантропом, горлиця садова виявляє високу толерантність до присутності людей, проте фактор занепокоєння суттєво детермінує ярусність розміщення гнізд. Згідно з нашими даними, у великих паркових масивах із 48 зафіксованих гнізд 56,25 % (n=27) розташовувалися на висоті 4–5 м, а 43,75 % (n=21) – на висоті 6–8 м. Водночас у міських скверах з інтенсивнішим пішохідним трафіком спостерігається тенденція до збільшення висоти гніздування: із 29 зареєстрованих об'єктів лише 24,14 % (n=7) знаходилися на висоті 4–5 м, тоді як переважна більшість – 75,86 % (n=22) – була зосереджена у верхньому ярусі (6–8 м). Така диференціація свідчить про адаптивну стратегію виду, спрямовану на мінімізацію прямого антропогенного впливу в умовах обмеженої площі біотопу.

Аналіз просторового розміщення гніздових споруд у межах кронового простору дерев виявив певні відмінності в архітектоніці гніздування горлиці садової залежно від типу антропогенного ландшафту (Мороз, 2020).

У великих паркових масивах локалізація гнізд була відносно рівномірною: безпосередньо біля головного стовбура зафіксовано 25,00 % (n=12) споруд, у середній частині бічних гілок – 56,25 % (n=27), а в інших зонах крони (периферія, розвилки дрібних гілок) – 18,75 % (n=9).

Натомість у міських скверах спостерігається чітка тенденція до зміщення гнізд у середню частину бічних гілок, де було зосереджено 72,41 % (n=21) від загальної кількості. Частка гнізд, розташованих біля стовбура, у цих біотопах була мінімальною і становила лише 6,89 % (n=2). Така специфіка розміщення, ймовірно, пов'язана з особливостями видового складу та структури дендронасаджень у скверах, що обмежують можливості стовбурового гніздування.

Детальні показники успішності гніздування *Streptopelia decaocto* в умовах паркових та скверних екосистем систематизовано та наведено у таблицях 1–2.

Згідно з нашими спостереженнями, у паркових екосистемах центральної частини Лісостепу України репродуктивний цикл горлиці садової (*Streptopelia decaocto*) охоплює 2–3 цикли розмноження за сезон. Зазначені дані корелюють із результатами М. А. Воїнственського (Воїнственський, 1984). Водночас у дендронасадженнях м. Харкова тривалість гніздового періоду становить 6–7 місяців (березень–вересень), протягом яких фіксується до 3–4 кладок (Надточій та ін., 1994).

Порівняльний аналіз репродуктивних показників у дендропарках «Софіївка» та «Олександрія», що характеризуються ідентичними екологічними умовами, засвідчив наступне: із 23 зафіксованих спроб гніздування успішними були 18 (78,26 %). У п'яти випадках спостерігалася елімінація на ранніх етапах: у двох гніздах кладки були відсутні, у трьох – містили лише по одному яйцю; ці гнізда були залишені птахами до моменту завершення експозиції.

Сумарний обсяг 21 кладки склав 39 яєць, при цьому середня величина кладки становила 1,85 яйця. Остеометричні параметри яєць варіювали в межах 29–34 х 23–25 мм (n=12). Із 36 яєць, що складали 18 повних кладок, гнізда успішно залишило 26 пташенят. Таким чином, середня величина виводка становила 1,21 пташеняти на одну успішну спробу розмноження. Загальний показник успішності гніздування (УГ) за досліджуваний період склав 66,66 ± 5,56 % (табл. 1).

Аналіз репродуктивних показників горлиці садової у міських скверах засвідчив, що із 14 досліджених гнізд 92,82 % (n=13) містили повні кладки, тоді як в одному випадку (7,14 %) зафіксовано кладку з одного яйця. Середня величина кладки у цих біотопах становила 1,93 яйця. Із сумарної кількості 27 яєць успішний виліт здійснили 17 пташенят; таким чином, інтегральний показник успішності гніздування (УГ) у скверах склав 62,96 ± 2,42 % (табл. 2).

Таблиця 1

Успішність гніздування горлиці садової у дендропарках «Софіївка» та «Олександрія»

Величина кладки (шт. яєць)	**Кількість кладок під спостереженням**		**Всього яєць, (шт.)**	**Вилетіло пташенят (особин)**	**Успішність гніздування, (%)**
	шт.	**%**			
1	3	14,28	3		0.00
2	18	85,72	36	26	72,22
Всього:	21	100,00	39	26	–
Середнє:	–		1,85	1,24	66,66 ± 5,56

Таблиця 2

Успішність гніздування горлиці садової у досліджуваних міських скверах

Величина кладки (шт. яєць)	**Кількість кладок під спостереженням**		**Всього яєць, шт.**	**Вилетіло пташенят (особин)**	**Успішність гніздування, (%)**
	шт.	**%**			
1	1	7,14	1	–	0,00
2	13	92,86	26	17	65,38
Всього:	14	100,00	27	17	–
Середнє:	–	–	1,93	1,21	62,96 ± 2,42

Процес інкубації та вигодовування пташенят супроводжується значним рівнем елімінації. У паркових екосистемах повна деструкція гнізд спостерігалася у 14,28 % випадків (n=3), тоді як у скверах цей показник був суттєво вищим – 30,76 % (n=4).

Обговорення

Отримані нами результати дещо перевищують показники, наведені для міських біотопів Західної Європи, де успішність гніздування *S. decaocto* становить лише 26 %, або 2,5 особини на пару протягом року. Європейські дослідники констатують високий рівень смертності як серед дорослих особин (у середньому 39 %), так і серед молодняка (69 %), що вказує на складну динаміку виживання виду в умовах високої урбанізації (Rocha-Camarero & Trucios, 2002).

Екстраполяція отриманих даних щодо середньої величини виводка (1,23 ос.) на кількість репродуктивних циклів дозволяє оцінити потенціал росту локальної популяції. За умови триразового успішного гніздування протягом сезону, чисельність горлиці садової може зрости у 3,69 раза. Отримані результати корелюють із даними Б. М. Ярмоленка (Ярмоленко, 1973), який фіксував збільшення чисельності виду в умовах Кіровоградської області наприкінці репродуктивного періоду в 3,1 раза.

Проте варто зауважити, що в умовах дендропарків та скверів встановити чітку періодизацію окремих турів розмноження практично неможливо. Це зумовлено високою варіативністю термінів повторних кладок після випадків хижацтва, а також асинхронністю циклів у різних пар. Згідно з результатами фенологічних спостережень у м. Умань, поява перших виводків фіксувалася наприкінці квітня – на початку травня, тоді як останні успішні вильоти пташенят відбувалися у першій декаді серпня.

Висновки

У дендрологічних насадженнях та урбоценозах центральної частини Лісостепу України горлиця садова (*Streptopelia decaocto*) виступає репрезентативним видом-синантропом, гніздова щільність якого суттєво детермінується типом антропогенного ландшафту. Встановлено, що у великих паркових масивах цей показник варіює в межах 0,11–0,37 ос./га, тоді як у малогабаритних міських скверах концентрація пар значно зростає, сягаючи 1,8–2,3 ос./га. Основним лімітуючим фактором для репродуктивного успіху виду в досліджуваних біотопах є хижацтво, де провідну роль у деструкції кладок та виводків відіграють вивірка звичайна (*Sciurus vulgaris*), воронові птахи (*Pica pica*, *Garrulus glandarius*, *Corvus frugilegus*) та антропогенні хижаки (*Felis catus*). Попри значний тиск з боку хижаків, інтегральні показники успішності гніздування залишаються на відносно високому рівні: 66,7 ± 5,6 % у парках та 62,9 ± 2,4 % у скверах. Стабільність локальних популяцій забезпечується високим репродуктивним потенціалом: близько 80 % пар здійснюють два гніздових цикли, а 20 % – три протягом одного репродуктивного сезону, що підтверджує успішну адаптацію виду до сучасних умов техногенно-трансформованих територій.

Список використаної літератури

Воїнственський М. А. Птахи. Київ : Рад. школа, 1984. 303 с.

Коваль М. Ф., Містрюкова Л. М. Дослідження орнітофауни приміських лісових зон Центрального Побужжя. *Наукові записки екологічної лабораторії УДПУ*. 2002. Вип. 5. С. 34–50.

Матвійчук О. А., Серебряков В. В. Орнітофауна Верхнього і Середнього Побужжя. Київ : Фітосоціоцентр, 2010. 284 с. [Електронний ресурс] URL: https://lnk.ua/YYbet2Sjx (дата звернення: 01.03.2026).

Містрюкова Л. М. Екологічні аспекти гніздування горлиці садової (*Streptopelia decaocto* Frivaldszky) у міських паркових насадженнях Центрального Лісостепу України. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Орнітологія*. 2005. № 1–2 (25). С. 48–51.

Мороз Л., Небикова Т., Небиков Ю. Змістовий потенціал теми «Адаптація» у формуванні сучасних уявлень про цілісність і розвиток природи. *Природничі науки в системі освіти : зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Умань, 30 квіт. 2024 р.)*. Умань : Візаві, 2024. С. 147–150. [Електронний ресурс] URL: https://pgf.udpu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_konf_2024.pdf (дата звернення: 13.03.2026).

Мороз Л. М. Орнітофауна Уманщини : монографія. Умань : ВПЦ «Візаві», 2020. 88 с.

Надточій Г. С., Зіоменко С. К., Чаплигіна А. Б. Адаптації птахів до урбанізованого ландшафту. *Урбанізація як фактор змін біогеоценотичного покриву : матеріали конф.* Львів, 1994. С. 51–52.

Наконечний І. В., Мельничук С. С., Серебряков В. В. Сучасна чисельність горлиці звичайної (*Streptopelia turtur*) у північно-західному Причорномор'ї. *Agroecological Journal*. 2021. № 4. С. 55–63. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2021.252956.

Редінов К. О., Петрович З. О., Панченко П. С., Форманюк О. О., Настаченко О. С. Інвентаризаційний список орнітофауни Кінбурнського півострова та прилеглих акваторій і островів у межах Миколаївської області. *Беркут*. 2022. Т. 31, вип. 1–2. С. 1–18. https://doi.org/10.5281/zenodo.10262977.

Фесенко Г. В., Бокотей А. А. Птахи фауни України: польовий визначник. Київ : Новий друк, 2002. 416 с.

Хорняк М. М. Основні напрямки адаптації популяцій птахів до урбанізованих ландшафтів на прикладі садової горлиці (*Streptopelia decaocto*). *Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах : матеріали III Міжнар. наук. конф. «Zoocenosis»*. Дніпропетровськ, 2005. С. 445–448.

Ярмоленко В. М. Горлиця кільчаста на Кіровоградщині. *Вісник зоології*. 1973. № 6. С. 21–23.

Bibby C. J., Burgess N. D., Hill D. A. Bird Census Techniques. 2nd ed. Academic Press, 2020. 302 p.

Moroz L. M., Andriienko E. D., Liulenko S. O., Hrabovska S. L., Nebykova T. A. Forest birds of the right-bank forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10, No. 1. P. 237–240. DOI: https://doi.org/10.15421/2020_37

Moroz L. M., Liulenko S. O., Andriienko O. D., Sorokina S. I., Budchenko I. Ye., Norchenko V. I. Summer birds in suburban habitats of Uman (Central Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11, No. 3. P. 90–97. DOI: https://doi.org/10.15421/2021_149.

Rocha-Camarero G., de Trucios S. J. H. The spread of the Collared Dove *Streptopelia decaocto* in Europe: colonization patterns in the west of the Iberian Peninsula. *Bird Study*. 2002. Vol. 49, Iss. 1. P. 11–16. DOI: https://doi.org/10.1080/00063650209461239.

References

Voinstvenskyi, M. A. (1984). Ptakhy [Birds]. Kyiv: Rad. shkola [in Ukrainian].

Koval, M. F., & Mistriukova, L. M. (2002). *Doslidzhennia ornitofauny prymiskykh lisovykh zon Tsentralnoho Pobuzhzhia* [Research of ornithofauna of suburban forest zones of the Central Bug river basin]. *Naukovi zapysky ekolohichnoi laboratorii UDPU [Scientific Notes of the Environmental Laboratory of USPU],* 5, 34–50 [in Ukrainian].

Matviichuk, O. A., & Serebriakov, V. V. (2010). Ornitofauna Verkhnoho i Serednoho Pobuzhzhia [Ornithofauna of the Upper and Middle Bug river basin]. Kyiv: Fitosotsiotsentr [Electronic resource] URL: https://lnk.ua/YYbet2Sjx (access date 01.03.2026) [in Ukrainian].

Mistriukova, L. M. (2005). Ekolohichni aspekty hnizduvannia horlytsi sadovoi (Streptopelia decaocto Frivaldszky) u miskykh parkovykh nasadzhenniakh Tsentralnoho Lisostepu Ukrainy [Ecological aspects of nesting of the Collared Dove (Streptopelia decaocto Frivaldszky) in urban park plantations of the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. Volodymyra Hnatiuka. Seriia: Biolohiia. Ornitolohiia [Scientific Notes of Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology. Ornithology]*, 1–2 (25), 48–51 [in Ukrainian].

Moroz, L., Nebykova, T., & Nebykov, Yu. (2024). Zmistovyi potentsial temy «Adaptatsiia» u formuvanni suchasnykh uiavlen pro tsilisnist i rozvytok pryrody [Content potential of the topic "Adaptation" in the formation of modern ideas about the integrity and development of nature]. *Pryrodnychi nauky v systemi osvity: zb. materialiv Vseukr. nauk.-prakt. Internet-konf. (m. Uman, 30 kvit. 2024 r.) [Natural sciences in the education system: collection of materials of the All-Ukrainian scientific and practical Internet conference (Uman, April 30, 2024)]*. Uman: Vizavi, pp. 147–150. [Electronic resource] URL: https://pgf.udpu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_konf_2024.pdf (access date 13.03.2026) [in Ukrainian].

Moroz, L. M. (2020). Ornitofauna Umanshchyny: monohrafiia [Ornithofauna of Uman region: monograph]. Uman: VPTs «Vizavi» [in Ukrainian].

Nadtochii, H. S., Ziomenko, S. K., & Chaplyhina, A. B. (1994). Adaptatsii ptakhiv do urbanizovanoho landshaftu [Adaptations of birds to the urbanized landscape]. *Urbanizatsiia yak faktor zmin bioheotsenotychnoho pokryvu: materialy konf.* [*Urbanization as a factor of changes in the biogeocenotic cover: materials of the conference*]. Lviv, pp. 51–52 [in Ukrainian].

Nakonechnyi, I. V., Melnychuk, S. S., & Serebriakov, V. V. (2021). Suchasna chyselnist horlytsi zvychainoi *(Streptopelia turtur)* u pivnichno-zakhidnomu Prychornomor'i [Modern numbers of the European Turtle Dove (*Streptopelia turtur*) in the North-Western Black Sea region]. *Agroecological Journal*, 4, 55–63. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2021.252956 [in Ukrainian].

Redinov, K. O., Petrovych, Z. O., Panchenko, P. S., Formaniuk, O. O., & Nastachenko, O. S. (2022). Inventaryzatsiinyi spysok ornitofauny Kinburnskoho pivostrova ta prylehlykh akvatorii i ostroviv u mezhakh Mykolaivskoi oblasti [Inventory list of the avifauna of the Kinburn Peninsula and adjacent waters and islands within the Mykolaiv region]. *Berkut*, 31 (1–2), 1–18. https://doi.org/10.5281/zenodo.10262977 [in Ukrainian].

Fesenko, H. V., & Bokotei, A. A. (2002). Ptakhy fauny Ukrainy: polovyi vyznachnyk [Birds of the fauna of Ukraine: field guide]. Kyiv: Novyi druk [in Ukrainian].

Khorniak, M. M. (2005). Osnovni napriamky adaptatsii populiatsii ptakhiv do urbanizovanykh landshaftiv na prykladi sadovoi horlytsi (Streptopelia decaocto) [Main directions of adaptation of bird populations to urbanized landscapes on the example of the Collared Dove (Streptopelia decaocto)]. *Bioriznomanittia ta rol zootsenozu v pryrodnykh i antropohennykh ekosystemakh: materialy III Mizhnar. nauk. konf. «Zoocenosis»* [*Biodiversity and the role of zoocenosis in natural and anthropogenic ecosystems: materials of the III International scientific conference "Zoocenosis"*]. Dnipropetrovsk, pp. 445–448 [in Ukrainian].

Iarmolenko, V. M. (1973). Horlytsia kilchasta na Kirovohradshchyni [The Collared Dove in Kirovohrad region]. *Visnyk zoolohii [Zoologist],* 6, 21–23 [in Ukrainian].

Bibby, C. J., Burgess, N. D., & Hill, D. A. (2020). Bird Census Techniques (2nd ed.). Academic Press [in English].

Moroz, L. M., Andriienko, E. D., Liulenko, S. O., Hrabovska, S. L., & Nebykova, T. A. (2020). Forest birds of the right-bank forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (1), 237–240. https://doi.org/10.15421/2020_37 [in English].

Moroz, L. M., Liulenko, S. O., Andriienko, O. D., Sorokina, S. I., Budchenko, I. Ye., & Norchenko, V. I. (2021). Summer birds in suburban habitats of Uman (Central Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (3), 90–97. https://doi.org/10.15421/2021_149 [in English].

Rocha-Camarero, G., & de Trucios, S. J. H. (2002). The spread of the Collared Dove Streptopelia decaocto in Europe: colonization patterns in the west of the Iberian Peninsula. *Bird Study*, 49 (1), 11–16. https://doi.org/10.1080/00063650209461239 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 13.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 582.772.2:581.11:581.1.036 (477.63)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.3

ПОСУХО- ТА ЖАРОСТІЙКІСТЬ КУЛЬТИВАРІВ РОДУ *ACER* L. ЗА ПОКАЗНИКАМИ АСИМІЛЯЦІЙНОГО АПАРАТУ В УРБОЦЕНОЗАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ (НА ПРИКЛАДІ М. ДНІПРО)

О. А. Пономарьова[1]

Останні роки все більше в озелененні використовують декоративні форми дерев роду Acer L., потенціал стійкості яких для урбоценозів Степу вивчений недостатньо. Порівнювали показники водного обміну (вміст води, водний дефіцит, водоутримувальну здатність) та жаростійкість листків для шести декоративних форм представників роду Acer L.: культивари Acer platanoides 'Crimson King', 'Royal Red' (листя червоного забарвлення), 'Princeton Gold' (листки жовтого кольору), 'Globosum' (листки зеленого кольору), 'Drummondii' (листя строкатого забарвлення), Acer negundo 'Variegatum' (листя біло-зеленого забарвлення). Дослідження проводили у парковій зоні м. Дніпро в червні 2025 року. Рослини віком близько 15-ти років зростають групами у газоні в однакових умовах. Для дослідження відбирали листя на висоті 1,5–2 м зі східної сторони крони. Встановлено, що найбільша оводненість листків та найменший дефіцит води притаманний культиварам зі строкатим забарвленням листків – A. platanoides 'Drummondii' та A. negundo 'Variegatum'. Найвищі показники водного дефіциту виявлені у клена гостролистого f. 'Globosum'. Динаміка водоутримувальної здатності показала, що через дві години найбільші втрати води притаманні листкам A. platanoides 'Globosum' та A. negundo 'Variegatum' (13,8 і 11,3 % відповідно). Найвищі показники водоутримувальної здатності у A. platanoides 'Drummondii' та червонолистих форм кленів 'Crimson King' та 'Royal Red' (втрати води складали відповідно 6,8, 8,4 та 9,9 %) . Жаростійкість у цілому корелювала з кольором листків: сильніше пошкоджувались високими температурами клени зі світлим забарвленням органів асиміляції (A. negundo 'Variegatum' та A. platanoides 'Princeton Gold'), менше пошкоджень за однакових умов виявлено у червонолистих форм і культивару з зеленими листками. За комплексною оцінкою A. platanoides 'Drummondii' можна рекомендувати для озеленення як відносно посухостійкий та жаростійкий культивар. Строкатолиста форма клена ясенелистого 'Variegatum' внаслідок низької жаростійкості і порівняно слабкої водоутримувальної здатності в умовах посухи і високої сонячної інсоляції може втрачати декоративність.

Ключові слова: *декоративні форми кленів, водоутримувальна здатність, дефіцит води, жаростійкість листків.*

[1] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: ponomareva13021978@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7658-0062

DROUGHT AND HEAT RESISTANCE OF ACER L. CULTIVARS ASSESSED BY ASSIMILATION APPARATUS INDICATORS IN URBAN ECOSYSTEMS OF THE NORTHERN STEPPE (CASE STUDY OF THE CITY OF DNIPRO)

O. A. Ponomarova

In the landscaping of Ukrainian cities, cultivars of the genus Acer L. are increasingly being used. Their morphobiological properties, and consequently their potential drought resistance, may differ from those of the original species. Indicators of water exchange (water content, water deficit, and water-retaining capacity) as well as heat resistance of leaves were compared for six ornamental forms of Acer L.: the cultivars A. platanoides 'Crimson King' and 'Royal Red' (red-leaved forms), 'Princeton Gold' (yellow leaves), 'Globosum' (green leaves), 'Drummondii' (variegated leaves), and A. negundo 'Variegatum' (white-green leaves). The study was conducted in a park area of the city of Dnipro in June 2025. The plants, approximately 15 years old, were growing in groups on a lawn under identical conditions. Leaves for analysis were collected at a height of 1.5–2 m from the eastern side of the crowns. It was established that the highest leaf hydration and the lowest water deficit were characteristic of cultivars with variegated leaves – A. platanoides 'Drummondii' and A. negundo 'Variegatum'. High water deficit values were observed in A. platanoides f. 'Globosum'. The dynamics of water-retaining capacity showed that after two hours, the greatest water loss was characteristic of the leaves of A. platanoides 'Globosum' and A. negundo 'Variegatum' (13.8% and 11.3%, respectively). The highest water-retaining capacity was found in A. platanoides 'Drummondii' and the red-leaved forms 'Crimson King' and 'Royal Red' (water loss amounted to 6.8%, 8.4%, and 9.9%, respectively). Heat resistance generally correlated with leaf color: maples with lighter-colored assimilating organs (A. negundo 'Variegatum' and A. platanoides 'Princeton Gold') were more strongly damaged by high temperatures, while fewer damages under the same conditions were observed in red-leaved forms and the cultivar with green leaves. Based on a comprehensive assessment, A. platanoides 'Drummondii' can be recommended for landscaping as a relatively drought- and heat-resistant cultivar. The variegated form of box elder, 'Variegatum', due to its low heat resistance and weak water-retaining capacity, may lose its ornamental value in open sunny areas.

Key words: *maple cultivars, water-retaining capacity, water deficit, heat resistance of leaves.*

Вступ

Сучасне озеленення урбанізованих територій вражає своїм різноманіттям. Запровадження широкого асортименту рослин стало можливим в першу чергу завдяки інтродукції та виведенню нових декоративних форм. Проте складні умови, в яких існують міські рослини, часто призводять до передчасної втрати їх декоративності та погіршення життєвого стану. Рослини роду *Acer* L. відрізняються високою декоративністю та різноманітністю морфологічних ознак, що робить їх привабливими для використання в різних типах насаджень. За різними даними рід *Acer* L. включає від 110 до 160 видів, поширених переважно у помірному поясі та субтропіках Північної півкулі (Курдюк та ін., 2013; Заячук, 2014). Найбільше культиварів відомо для східноазійських видів *Acer palmatum* та *A. japonicum* (Курдюк та ін., 2013). В озелененні європейських міст найпопулярнішим вважається *A. platanoides* L. та його культивари, яких всього налічують близько 150, проте, наприклад, у вуличних насадженнях Києва виявлено лише п'ять, а в Черкасах і Чернівцях – всього по дві декоративні форми (Манько, 2015). Хоча в садових центрах України пропонують 25 видів та 70 декоративних форм кленів (Олексійченко і Манько, 2012), у міських насадженнях використовують переважно чотири види: *A. negundo* L., *A. platanoides, A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L. (Суслова, 2017; Бойко, 2019). Сучасні дослідження у місті Дніпро дозволили виявити 14 культиварів кленів, 9 з яких – декоративні форми *A. platanoides*, серед яких за чисельністю переважають f. 'Globosum', 'Crimson King' і 'Royal Red'. У насадженнях використовують також три культивари *A. negundo* (f. 'Flamingo', 'Auratum', 'Variegatum') і дві – *A. pseudoplatanus* (f. 'Atropurpureum', 'Leopoldii') (Пономарьова та ін., 2022).

Відомо чимало досліджень щодо порівняльної стійкості видів роду *Acer* в умовах урботехногенного стресу, але деякі з них суперечливі. Вивчення адаптаційних стратегій різних видів кленів до посухи в умовах степового Придніпров'я дозволило рекомендувати для введення у культуру малопоширені види – *A. semenovii* Rgl. та *A. ginnala* Maxim. (Голикова і Зайцева, 2009), в той час

як пізніше І.О. Зайцева та М.М. Поворотня (2015) вказують на недостатню стійкість клена Гіннала у даному регіоні інтродукції. Найбільше досліджень виконано для *A. platanoides,* який одними науковцями вважається середнім за рівнем стійкості до забруднення (Юсипіва та ін., 2015; Павлюкова і Лєгостаєва, 2016), одночасно існує чимало свідчень про його невисоку стійкість порівняно з іншими видами кленів (Більчук і Хмельникова, 2019; Хмельникова і Більчук, 2019; Сараненко і Шадура, 2021).

Оскільки для озеленення міських територій все більше запроваджують декоративні форми кленів, постає питання щодо їх стійкості на фоні несприятливих кліматичних умов, ускладнених рекреаційним і техногенним навантаженням. На сьогодні майже немає досліджень щодо стійкості саме декоративних форм кленів, які за морфологічними показниками часто суттєво відрізняються від видових рослин. М.В. Манько з колегами (2016*а*) встановили, що культивари клену гостролистого (в першу чергу 'Golden Globe', 'Princeton Gold', 'Globosum', 'Emerald Queen') демонструють високу морозостійкість, але більш важливим параметром для виживання в умовах Степу, на нашу думку, є посухостійкість деревних рослин. Надійним показником посухостійкості рослин є визначення водоутримувальної здатності листків, падіння якої відмічали для декоративних форм клена гостролистого протягом вегетації при посиленні посухи (Манько та ін., 2016*б*).

Відомо, що посухостійкість рослин в першу чергу визначається фізіологічними особливостями асиміляційного апарату, тому *мета роботи* – порівняльна оцінка посухостійкості за показниками водного обміну та жаростійкості листків деяких культиварів роду *Acer* L. для більш широкого впровадження найбільш перспективних з них у культурфітоценози Степу України.

Матеріал і методи

Дослідження проводились у сквері Прибережний в набережній зоні міста Дніпро в червні 2025 року (температура повітря 28 °С, вологість повітря – 65 %, достатня забезпеченість ґрунтовою вологою). Для вивчення показників водного режиму та жаростійкості листків використано шість культиварів роду *Acer* L., зокрема п'ять декоративних форм *A. platanoides:* 'Crimson King' (листя червоного забарвлення), 'Princeton Gold' (листки лимонно-жовтого кольору), 'Globosum' (листки зеленого кольору), 'Drummondii' (листя строкатого біло-зеленого забарвлення), 'Royal Red' (листки темно-червоного забарвлення). Також для порівняння обрали декоративну форму *A. negundo* 'Variegatum' (листки строкатого біло-зеленого забарвлення). Модельні дерева ростуть групами у газоні в однакових умовах. Вік рослин близько 15-ти років. Для дослідження відібрано по п'ять екземплярів кожного культивару, листя з яких відбирали на висоті 1,5–2 м зі східної сторони крони.

Для оцінки посухостійкості порівнювали оводненість тканин, водний дефіцит і водоутримувальну здатність листків. Загальний вміст води визначали після висушування листків в термостаті протягом 2-х годин при температурі 105 °С. Водоутримувальну здатність встановлювали методом А. Арланда: порівнювали втрати води через 30 хв, 60 хв та 120 хв. Жаростійкість рослин часто корелює з посухостійкістю і як показник виживання в умовах високих температур дає можливість виявити види та культивари, придатні для озеленення посушливих територій. Жаростійкість листків кленів встановлювали методом Ф.Ф. Мацкова. Листки занурювали у водяну баню при поступовому збільшенні температури (від 45 до 70 °С), після чого визначали площу некротичної тканини (Бессонова, 2006).

Результати та їх обговорення

Диференціація деревних рослин за показниками посухостійкості дає можливість правильно планувати асортимент для озеленення, отже доцільно розміщувати в межах однієї ландшафтної композиції рослини з подібною стійкістю до посухи, що значно спрощує догляд за ними (Нужина та ін., 2022).

Встановлено, що вміст води в листках досліджуваних культиварів коливався в досить широкому діапазоні – від 58,0 до 74,3 % (табл. 1). Найбільша оводненість виявлена в листках варієгатних форм – *A. negundo* 'Variegatum' та *A. platanoides* 'Drummondii' (74,3 та 73,9 % відповідно), найменша – у червонолистих форм клену гостролистого 'Royal Red' та 'Crimson King' (59,7 та 58,0 % відповідно). Дві інші форми клену гостролистого 'Princeton Gold' та 'Globosum' займали середнє положення за вмістом води в органах асиміляції.

На початку літа водний дефіцит у деревних рослин урбоценозів як правило менш виражений, ніж наприкінці вегетації (Юхименко та ін., 2021), але у молодих дерев

можуть спостерігатися більш суттєві коливання водообміну. Аналіз водного дефіциту показав, що в цілому цей показник корелював з умістом води у листках досліджених декоративних форм кленів. У деяких культиварів виявлені високі показники водного дефіциту – у кулеподібної форми 'Globosum' він складав 24,0 %, у червонолистої форми 'Crimson King' майже 20 %. На 3 % нижчий дефіцит води в органах асиміляції інших форм *A. platanoides* – 'Royal Red' і 'Princeton Gold'. Мінімальні показники дефіциту води в листках виявлені у строкатолистих форм кленів (табл. 1). Отже, максимальна різниця водного дефіциту між різними культиварами перевищувала трикратний рівень.

Вивчення динаміки водоутримувальної здатності листків культиварів кленів протягом двох годин показало, що за перші півгодини спостерігались незначні втрати води у всіх декоративних форм, крім f. 'Royal Red', який втратив 7,4 % води (рис. 1). Максимальна водоутримувальна здатність на цей момент – у клена 'Drummondii' (втрати води складали всього 2,2 %).

Через годину після першого зважування динаміка втрат води дещо змінилась. Найменша водоутримувальна здатність спостерігалась у культивару клена гостролистого 'Globosum' (втрати становили 11,3 %). Інші клени за першу годину втрачали значно меншу кількість води (в середньому 6–7 %). Найвищу водоутримувальну здатність зберігала варієгатна форма *A. platanoides* 'Drummondii' (втрати води через годину спостережень становили 4,2 %).

Таблиця 1

Показники водного обміну листків декоративних форм кленів

Культивар	**Маса абсолютно сухої тканини листка, г**	**Вміст води в листках, г**	**Вміст води в листках, %**	**Дефіцит води в листках, %**
Acer negundo 'Variegatum'	0,078±0,005	0,226±0,018	74,3	12,1
Acer platanoides 'Drummondii'	0,074±0,008	0,209±0,014	73,9	8,2
Acer platanoides 'Royal Red'	0,123±0,009	0,182±0,025	59,7	17,2
Acer platanoides 'Crimson King'	0,130±0,012	0,180±0,022	58,0	19,6
Acer platanoides 'Princeton Gold'	0,103±0,005	0,200±0,019	66,0	17,1
Acer platanoides 'Globosum'	0,109±0,007	0,191±0,021	63,7	24,0

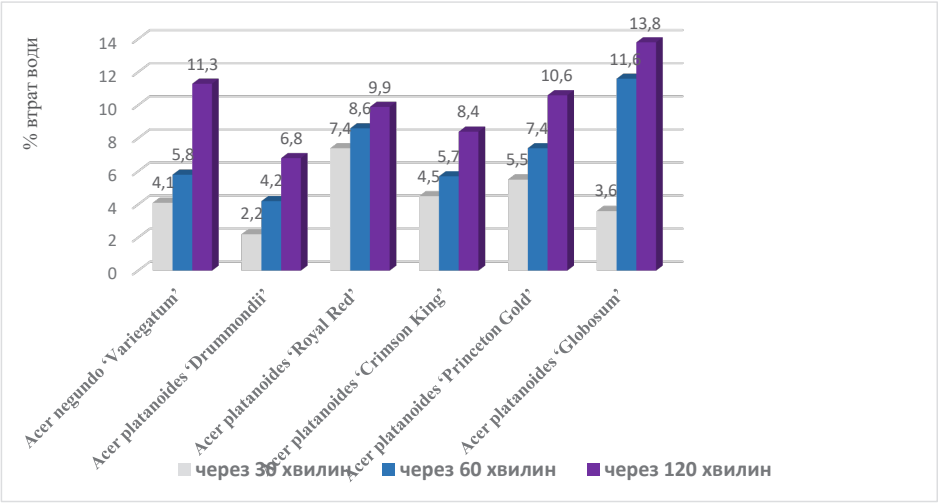


Рис. 1. Водоутримувальна здатність листків декоративних форм кленів, % втрат води

Через 120 хвилин досліджень зберігалась тенденція до найбільших втрат води у листках клена гостролистого f. 'Globosum', яка досягала 13,8 %, що є найгіршим результатом серед всіх культиварів. На другу годину спостережень різко погіршилась водоутримувальна здатність у *A. negundo* 'Variegatum'. Найменші втрати води відмічені у червонолистої форми 'Crimson King' (8,4 %) та строкатолистої 'Drummondii' (6,8 %). Повільні втрати води листками культивару *A. p.* 'Crimson King' на початку літа також відзначено в умовах Києва (Манько та ін., 2016*б*).

Отже, порівняння динаміки втрат води показало найвищі показники водоутримувальної здатності у варієгатної форми *A. platanoides* 'Drummondii'. На другому місці червонолисті клени 'Crimson King' та 'Royal Red' (який спочатку різко втрачає вологу, але на другу годину спостереження водоутримувальна здатність його значно зростає). У *A. negundo* 'Variegatum' спостерігалось різке падіння водоутримувальної здатності через 120 хв. Найбільші втрати води притаманні листкам *A. platanoides* 'Globosum'.

Жаростійкість позитивно корелює з посухостійкістю. Встановлено, що витримування листків кленів на водяній бані за температури 40 °С майже не впливало на їх стан. Підвищення температури до 45 °С призвело до появи некротичних плям у всіх культиварів, але частка пошкоджених тканин не перевищувала 10 %, при цьому найменший відсоток ураження у *A. platanoides* 'Drummondii' (3 %). Найвиразніше некротичні плями проявлялися на листках варієгатних і жовтолистих формах кленів (рис. 2). Температура 50 °С майже не вплинула на f. 'Drummondii' та 'Royal Red', площа пошкоджень листків у цих культиварів не перевищила 5 %. Водночас за цієї температури суттєво пошкоджувалися листкові пластинки *A. negundo* 'Variegatum' і *A. platanoides* 'Princeton Gold' – загальна площа некрозів становила відповідно 30 і 25 % площі поверхні листків (рис. 3). Підвищення температури до 55 °С значно вплинуло на листки *A. negundo* 'Variegatum' – площа пошкодження зросла до 70 %. Органи асиміляції інших культиварів постраждали набагато менше: у *A. platanoides* 'Drummondii' та 'Royal Red' загальна площа некротичних плям не перевищила 15 %. Дещо сильніше уражені листки культиварів 'Globosum' та 'Princeton Gold' – загальна площа пошкоджень складала відповідно 20 % та 30 %.

60 °С – летальна температура для органів асиміляції *A. negundo* 'Variegatum' (рис. 2). Досить суттєво пошкоджувався за таких температур культивар зі світло-жовтими листками 'Princeton Gold' (некротизація охоплює близько 50 % площі листків). У інших кленів площа пошкоджень складала в середньому 30 %, що свідчить про більш високу жаростійкість. Подальше підвищення температури (до 65 °С) призвело до майже повного руйнування листків *A. platanoides* 'Princeton Gold' – 90 % пошкодженої площі. У інших декоративних форм частка пошкоджень становила близько 50 % від площі листка.

Максимальна температура водяної бані становила 70 °С і призвела до повного руйнування листків всіх культиварів. У перші 10–15 хвилин спостережень у 'Royal Red' та 'Globosum' залишалось 10–15 % непошкодженої площі, але через півгодини всі листки повністю некротизувались.

Отже, найменша жаростійкість притаманна листкам *A. negundo* 'Variegatum', найвищий ступінь жаростійкості визначено для культиварів *A. platanoides* 'Royal Red' (червоні листки) та 'Globosum' (зелені листки). Помічено, що декоративні форми зі світлим забарвленням листків виявляють меншу жаростійкість порівняно з червонолистими або зеленолистими кленами. Отримані дані узгоджуються з результатами В.Н. Новосад (2014), яка встановила, що за дії високих температур жаростійкість бирючини звичайної з зеленими листками вища порівняно з варієгатною формою бирючини круглолистої.

Висновки

Виявлені суттєві відмінності за показниками посухо- та жаростійкості у досліджуваних декоративних форм кленів. Найменша оводненість притаманна червонолистим культиварам *A. platanoides* 'Royal Red' та 'Crimson King', найбільший вміст води виявлений у варієгатних форм кленів (*A. negundo* 'Variegatum' та *A. platanoides* 'Drummondii'). Найбільші показники водного дефіциту та низька водоутримувальна здатність притаманні листкам культивару клена гостролистого 'Globosum'. Найкращий ступінь жаростійкості визначено у культиварів клену гостролистого 'Royal Red' та 'Globosum', в той час як листки *A. negundo* 'Variegatum' руйнувались повністю вже за температури 60 °С. За комплексною оцінкою відносно високий рівень посухостійкості за показниками водного обміну проявляла декоративна



за температури 50 °С **за температури 60 °С**

Рис. 2. Некротизація листків кленів

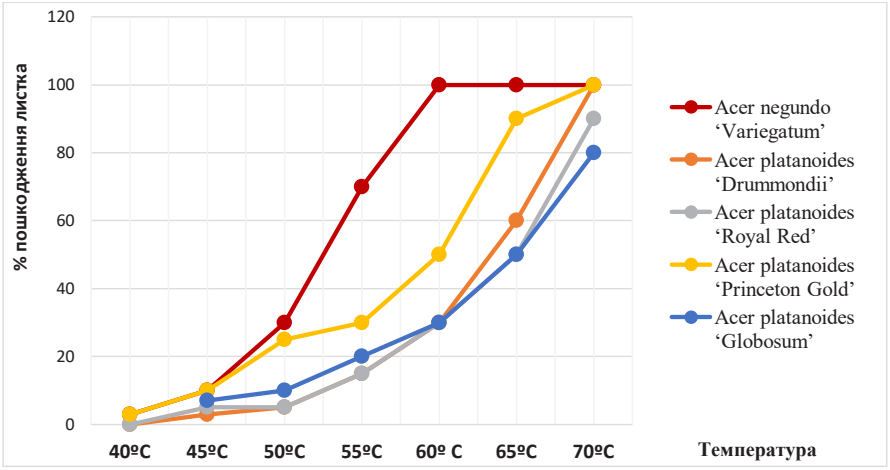


Рис. 3. Жаростійкість листків декоративних форм кленів

форма клену гостролистого 'Drummondii', що робить його привабливим для озеленення в зонах нерегулярного зволоження. Культивари зі світлим забарвленням листків виявляють меншу жаростійкість порівняно з кленами з червоними або темно-зеленими листками, що може призвести до опіків при висаджуванні на відкритих сонячних ділянках.

Подальші дослідження будуть спрямовані на виявлення стійких декоративних форм деревних рослин з різноманітним забарвленням листків для озеленення урбофітоценозів посушливих регіонів.

Список використаної літератури

Бессонова В.П. Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ: РВВ ДДНУ, 2006. 315 с.

Більчук В.С., Хмельникова Л.І. Видові особливості змін вмісту зелених пігментів у вегетативних органах деревних порід *Acer* L. за умови промислового міста. Розвиток природничих наук як основа новітніх досягнень у медицині: матеріали науково-практичної конференції, м. Чернівці, 27 листопада, 2019. С. 110–113.

Бойко Т. О. Таксономічна структура і стан вуличних насаджень міста Херсон. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2019. Т. 29, № 8. С. 51–54. https://doi.org/10.36930/40290807

Голикова М. М., Зайцева І. О. Структурно-функціональні особливості адаптації видів роду Acer в умовах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія.* 2009. Вип. 17, т. 2. С. 30–36.

Зайцева І. О., Поворотня М. М. Кількісна оцінка впливу гідротермічних факторів на водний обмін деревних рослин роду *Acer* L. в умовах степової зони. *Ecology and noospherology*. 2015. Vol. 26, no. 1-2. С. 25–33.

Заячук В. Я. Дендрологія. Львів : Сполом, 2014. 676 с.

Курдюк О.М., Маєвський К.В., Чигринець В.П. Декоративне та господарське значення східноазійських видів роду *Acer* L. в умовах України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.9. С. 220–224.

Манько М. В. Внутрішньовидове різноманіття *Acer platanoides* L. в озелененні Києва та ботанічних установах України. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2015. Вип. 25.8. С. 118–123.

Манько М. В., Олексійченко Н. О., Китаєв О. І., Кривошапка В. А., Соваков О. В. Морозостійкість культиварів *Acer platanoides* L., перспективних для висаджування у міських умовах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016*а*. Вип. 26.1. С. 133–139.

Манько М. В. Олексійченко Н. О., Соваков О. В. Порівняльне оцінювання водоутримної здатності листків рослин культиварів *Acer platanoides* L. в умовах міста Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016*б*. Вип. 26.3. С.131–135.

Новосад В. М. Жаростійкість і водоутримувальна здатність *Ligustrum vulgare* L. та *Ligustrum ovalifolium* "Aureum". *Науковий вісник НЛТУ України.* 2014. Вип. 24.9. С. 80–84.

Нужина Н. В., Іванова І. Ю., Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Посухостійкі види дерев та кущів – важлива ланка для зменшення негативних ефектів "міських островів тепла". *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія.* 2022. Т. 82, № 3. С. 37–43. https://doi.org/10.25128/2078-2357.22.3.6 .

Олексійченко Н. О., Манько М.В. Видове та формове різноманіття деревних рослин роду Acer L. в Україні та озелененні Києва. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2012. 171 (2). С. 253–259.

Павлюкова Н. Ф., Легостаєва Т. В. Зміни анатомо-морфологічних показників рослин роду Acer L. в умовах м. Дніпро. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2016. Т. 45. С. 113–118.

Пономарьова О.А., Голодюк А.В., Орел Є.О. Використання декоративних форм рослин роду *Acer* L. в насадженнях м. Дніпро. Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації: матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 29 вересня 2022 р.). Біла Церква: БНАУ, 2022. С. 62–64.

Сараненко І. І., Шадура К. О. Вплив вихлопних газів автотранспорту на генеративні органи представників роду Acer L. *Екологічні науки*. 2021. №6. С. 122–126. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.20

Суслова О. П. Різноманіття та вікова структура деревних рослин у вуличних насадженнях міста Покровськ. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27(4). С. 83–86. https://doi.org/10.15421/40270418

Хмельникова Л.І., Більчук, В.С. *Фітоіндикація забруднення навколишнього середовища деревними породами Acer* L. Development of Natural Sciences as a Basis of New Achievements in Medicine: Conference Proceedings, November, 27, 2019, Chernivtsi, Ukraine. 2019. pp. 60–63.

Юсипіва Т. І., Борисова О. І., Дротік В. В. Вплив техногенного навантаження на співвідношення розчинних цукрів у листках представників роду Acer. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. 2015. Вип. 44. С. 54–59.

Юхименко Ю. С., Бойко Л. І., Данильчук Н. М. Водний режим листка деревних рослин в умовах промислового регіону Правобережного Степового Придніпров'я. *Екологічні науки.* 2021. № 5. С. 121–126. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.5-38.20

References

Bessonova, V.P. (2006). Praktykum z fiziolohii roslyn [Workshop on plant physiology]. Dnipropetrovsk: RVV DDNU, 315 p. [in Ukrainian].

Bilchuk, V.S. & Khmelnykova, L.I. (2019). Vydovi osoblyvosti zmin vmistu zelenykh pihmentiv u vehetatyvnykh orhanakh derevnykh porid Acer L. za umovy promyslovoho mista [Specific features of changes in the content of green pigments in the vegetative organs of Acer L. tree species under the conditions of an industrial city]. Rozvytok pryrodnychykh nauk yak osnova novitnikh dosiahnen u medytsyni: materialy naukovo-praktychnoi konferentsii [Development of natural sciences as the

basis of the latest achievements in medicine: materials of the scientific and practical conference]. Chernivtsi, November 27, pp. 110–113. [in Ukrainian].

Boiko, T. O. (2019). Taksonomichna struktura i stan vulychnykh nasadzhen mista Kherson [Taxonomic structure and condition of street plantings in the city of Kherson]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [*Scientific Bulletin of UNFU*], 29, № 8. 51–54. https://doi.org/10.36930/40290807 [in Ukrainian].

Holykova, M. M. & Zaitseva, I. O. (2009). Strukturno-funktsionalni osoblyvosti adaptatsii vydiv rodu Acer v umovakh stepovoho Prydniprovia [Structural and functional features of adaptation of species of the genus Acer in the conditions of the steppe Dnieper region]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia. Ekolohiia.* [*Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*], 17, 2. 30–36 [in Ukrainian].

Zaitseva, I. O. & Povorotnia, M. M. (2015). Kilkisna otsinka vplyvu hidrotermichnykh faktoriv na vodnyi obmin derevnykh roslyn rodu Acer L. v umovakh stepovoi zony [Quantitative assessment of the functional connection between water content and hydrothermal factors of representatives of Acer L. generic complexes introduced into steppe zone]. *Ecology and noospherology*. 26, 1-2. 25–33.

Zaiachuk, V. Ya. (2014). Dendrolohiia [Dendrology]. Lviv: Spolom [in Ukrainian].

Kurdiuk, O.M., Maievskyi, K.V. & Chyhrynets, V.P. (2013). Dekoratyvne ta hospodarske znachennia skhidnoaziiskykh vydiv rodu Acer L. v umovakh Ukrainy [Decorative and economic importance of East Asian species of the genus Acer L. in Ukrainian conditions]. *Naukovyi visnyk NLTU* [*Scientific Bulletin of UNFU*], 23.9, 220–224 [in Ukrainian].

Manko, M. V. (2015). Vnutrishnovydove riznomanittia *Acer rlatanoides* L. v ozelenenni Kyieva ta botanichnykh ustanovakh Ukrainy [Intraspecific diversity of *Acer platanoides* L. in landscaping of Kyiv and botanical institutions of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [*Scientific Bulletin of UNFU*], 25.8, 118–123 [in Ukrainian].

Manko, M. V., Oleksiichenko, N. O., Kytaiev, O. I., Kryvoshapka, V. A. & Sovakov, O. V. (2016). Morozostiikist kultyvariv *Acer platanoides* L., perspektyvnykh dlia vysadzhuvannia u miskykh umovakh [Frost resistance of *Acer platanoides* L. cultivars promising for planting in urban conditions]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [*Scientific Bulletin of UNFU*], 26.1, 133–139 [in Ukrainian].

Manko, M. V. Oleksiichenko, N. O. & Sovakov, O. V. (2016). Porivnialne otsiniuvannia vodoutrymnoi zdatnosti lystkiv roslyn kultyvariv Acer platanoides L. v umovakh mista Kyieva [Comparative evaluation of the water-holding capacity of leaves of Acer platanoides L. cultivars in the conditions of the city of Kyiv]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [*Scientific Bulletin of UNFU*], 26.3,.131–135 [in Ukrainian].

Novosad, V. M. (2014). Zharostiikist i vodoutrymuvalna zdatnist *Ligustrum vulgare* L. ta *Ligustrum ovalifolium* "Aureum" [Heat tolerance and water retention capacity of Ligustrum vulgare L. and Ligustrum ovalifolium "Aureum"]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [*Scientific Bulletin of UNFU*], 24.9, 80–84 [in Ukrainian].

Nuzhyna, N. V., Ivanova, I. Yu., Hrytsak, L. R. & Drobyk, N. M. (2022). Posukhostiiki vydy derev ta kushchiv – vazhlyva lanka dlia zmenshennia nehatyvnykh efektiv "miskykh ostroviv tepla" [Drought-resistant tree and shrub species are an important link in reducing the negative effects of "urban heat islands"]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia : Biolohiia* [*Scientific notes of the Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*], 82, 3, 37–43. https://doi.org/10.25128/2078-2357.22.3.6 [in Ukrainian].

Oleksiichenko, N. O. & Manko, M.V. (2012). Vydove ta formove riznomanittia derevnykh roslyn rodu Acer L. v Ukraini ta ozelenenni Kyieva [Species and form diversity of woody plants of the genus Acer L. in Ukraine and landscaping of Kyiv]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriia: Lisivnytstvo ta dekoratyvne sadivnytstvo* [*Scientific Bulletin of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine. Series: Forestry and ornamental gardening*], 171 (2). S. 253–259 [in Ukrainian].

Pavliukova, N. F. & Lehostaieva, T. V. (2016). Zminy anatomo-morfolohichnykh pokaznykiv roslyn rodu Acer L. v umovakh m. Dnipro [Changes in anatomical and morphological indicators of plants of the genus Acer L. in the conditions of the city of Dnipro]. *Pytannia stepovoho lisoznavstva ta lisovoi rekultyvatsii zemel* [*Issues of steppe silviculture and forest land reclamation*], 45, 113–118 [in Ukrainian].

Ponomarova, O.A., Holodiuk A.V. & Orel, Ye.O. (2022). Vykorystannia dekoratyvnykh form roslyn rodu Acer L. v nasadzhenniakh m. Dnipro [The use of decorative forms of plants of the genus Acer L. in the plantings of the city of Dnipro]. Aktualni problemy, shliakhy ta perspektyvy rozvytku landshaftnoi arkhitektury, sadovo-parkovoho hospodarstva, urboekolohii ta fitomelioratsii: materialy II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Bila Tserkva) [Current problems, ways and prospects for the development of landscape architecture, gardening, urban ecology and phytomelioration: materials of the II International Scientific and Practical Conference]. Bila Tserkva: BNAU, pp. 62–64 [in Ukrainian].

Saranenko, I. I. & Shadura, K. O. (2021). Vplyv vykhlopnykh haziv avtotransportu na heneratyvni orhany predstavnykiv rodu Acer L. [The effect of vehicle exhaust gases on the generative organs of representatives of the genus Acer L.]. *Ekolohichni nauky* [*Environmental Sciences*]. 6, 122–126. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.20 [in Ukrainian].

Suslova, O. P. (2017). Riznomanittia ta vikova struktura derevnykh roslyn u vulychnykh nasadzhenniakh mista Pokrovsk [Diversity and age structure of woody plants in street plantings of the city of Pokrovsk]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [*Scientific Bulletin of UNFU*], 27(4), 83–86. https://doi.org/10.15421/40270418 [in Ukrainian].

Khmelnykova, L.I. & Bilchuk, V.S. (2019). Fitoindykatsiia zabrudnennia navkolyshnoho seredovyshcha derevnymy porodamy Acer L. [Phytoindication of environmental pollution by Acer L. tree species]. Development of Natural Sciences as a Basis of New Achievements in Medicine: Conference Proceedings, November, 27, Chernivtsi, Ukraine. pp. 60–63 [in Ukrainian].

Yusypiva, T. I., Borysova, O. I. & Drotik, V. V. (2015). Vplyv tekhnohennoho navantazhennia na spivvidnoshennia rozchynnykh tsukriv u lystkakh predstavnykiv rodu Acer [The influence of technogenic load on the ratio of soluble sugars in the leaves of representatives of the genus Acer]. *Pytannia stepovoho lisoznavstva ta lisovoi rekultyvatsii zemel* [*Issues of steppe silviculture and forest land reclamation*], 44, 54–59 [in Ukrainian].

Yukhymenko, Yu. S., Boiko, L. I. & Danylchuk, N. M. (2021). Vodnyi rezhym lystka derevnykh roslyn v umovakh promyslovoho rehionu Pravoberezhnoho Stepovoho Prydniprovia [Water regime of woody plant leaves in the industrial region of the Right-bank Steppe Dnieper]. *Ekolohichni nauky* [*Ecological Sciences*], 5. 121–126. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.5-38.20 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 25.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 574.5(28):574.58
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.4

ДОВГОСТРОКОВІ ЗМІНИ УГРУПОВАНЬ ЗООПЕРИФІТОНУ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА (БАСЕЙН ДНІПРА)

О. О. Протасов[1], І. О. Морозовська[2], П. М. Шкуро[3]

Розглянуто зміни у складі зооперифітону у верхній частині Канівського водосховища. Порівняння складу угруповань зроблено за дослідженнями проведеними у 1970–х роках, та в сучасності. Такий аналіз показав, що в минулому у зонах акваторій з природним температурним режимом формувалися угруповання з домінуванням прикріплених молюсків Dreissena polymorpha Pallas, в той час, як в зоні впливу підігрітих викидів Трипільської ТЕС домінували мохуватки, переважно Plumatella emarginata Allman. В теперішній час угруповання з домінуванням дрейсенід (D. polymorpha та D. bugensis Andr.) були зафіксовані як домінуючі на експериментальних субстратах при довгій (декілька місяців) експозиції, тому їх можна вважати клімаксними. Для сукцесії в теперішній час характерним є поступовий розвиток дрейсенових угруповань, який переривається інтенсивний розвитком мохуваток, в першу чергу Plumatella fungosa Pallas. У 2024 р. було зафіксовано появу у перифітоні Канівського водосховища інвазивного виду мохуваток Pectinatella magnifica Leidy, стратегія якої дуже агресивна: її колонії практично знищили поселення дрейсенід на експериментальних субстратах. Вселення цього виду може стати чималою загрозою в аспекті створення біологічних перешкод в роботі систем водопостачання енергетичних станцій, що вкрай небезпечно, особливо у воєнний час. Дослідження за допомогою методу експериментальних субстратів у двох локалітетах однієї з правобережних заток водосховища, що відрізнялися за показниками трофності, показало, що саме у мезотрофних умовах формуються угруповання з домінуванням дрейсенід, в той час, як у евтрофних умовах протягом всього вегетаційного сезону домінували мохуватки, найчастіше – рухомі колонії Crystatella mucedo Cuvier. Наведено припущення, що виявлені види мохуваток мають бути віднесені до організмів з більшими індексами сапробності, ніж вважається зараз. Метод експериментальних субстратів слід розглядати як важливий не тільки для вивчення сукцесій, а й як один з ефективних інструментів для виявлення можливих та реальних біоперешкод в системах водопостачання. За останні пів

[1] доктор біологічних наук, професор,
провідний науковий співробітник
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: pr1717@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0204-2007
[2] кандидатка біологічних наук, наукова співробітниця
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: labtech-hb@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1795-7485
[3] інженерка
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
E-mail: nauka@zu.edu.ua
ORCID: 0009-0005-8033-1196

сторіччя відбулася суттєва зміна складу зооперифітону, зміна домінантів угруповань, а також зафіксовано появу інвазивного, потенційно небезпечного виду.

Ключові слова: *метод експериментальних субстратів, Трипільська ТЕС, інвазійні види гідробіонтів, обростання, Pectinatella magnifica.*

LONGTERM ZOOPERIPHYTON COMMUNITIES CHANGE IN KANIV RESERVOIR (RIVER DNIPRO BASIN)

O. O. Protasov, I. O. Morozovska, P. M. Shkuro

This study examines long–term changes in zooperiphyton in the upper part of the Kaniv Reservoir. Community composition was compared using data obtained in the 1970s and in recent years. The analysis demonstrated that in the past in areas with a natural temperature regime, communities were dominated by the bivalve mollusk Dreissena polymorpha Pallas. In contrast, in areas affected by heated water discharges from the Trypilska Thermal Power Plant (TPP), bryozoans prevailed, primarily Plumatella emarginata. Currently, communities dominated by dreissenids (D. polymorpha and D. bugensis Andr.) are considered climax, they prevail on experimental substrates after extended (multi–month) exposure. However, in recent years, the typical succession of gradual dreissenid development has been interrupted by growth of bryozoans, mainly P. fungosa. In 2024, the invasive bryozoan species Pectinatella magnifica. Leidy was first recorded in the Kaniv reservoir. This species has a highly aggressive life strategy, as its colonies practically eliminated dreissenid settlements on experimental substrates. The establishment and potential further spread of this species in the reservoir basin may pose a threat of new biological obstructions in water supply systems of power plants, which is particularly undesirable during wartime. The study using the experimental substrate method at two localities within a right–bank bay of the reservoir differing in trophic status showed that under mesotrophic conditions dreissenid–dominated communities form, whereas under polytrophic conditions bryozoans dominate throughout the entire growing season. In such environments, mostly the mobile colonies of Cristatella mucedo Cuvier were dominating. It is suggested that the identified bryozoans species should be attributed to organisms with higher saprobity indices than is currently believed. The experimental substrate method should be considered important not only for studying successions in aquatic ecosystems, but also as an effective tool for early detection of bio–hazards in water supply systems. Over the past years, zooperiphyton has undergone significant changes, including shifts in community dominants and the emergence of an invasive, potentially hazardous species.

Key words: *experimental plates method, experimental substrate, Trypilska Thermal Power Plant, invasive hydrobionts, invasive species.*

Вступ

Зооперифітон залишається одним із маловивчених угруповань у водосховищах Дніпра та водоймах м. Києва, на відміну, наприклад, від фітоепіфітону (Zhorova et al., 2025). Однією з причин цього є методичні складності досліджень. Якщо епіфітон, угруповання прикріплених та рухомих організмів, що мешкають на межі поверхні вищих гідрофітів з водою є досить доступним об'єктом для вивчення, то зооперифітон мешкає як близько до поверхні, так і на досить великих глибинах, де вивчати його, відбирати проби без підводного знаряддя досить проблематично. Саме методи експериментальних субстратів дають можливість отримати матеріал, що може бути проаналізований як у часовому, так і у просторовому аспектах.

Дослідження перифітону за допомогою методів експериментальних субстратів (ЕС) проводили на різних водоймах та в різних модифікаціях (Cattaneo & Amireault, 1992). Зокрема проводили дослідження в р. Дунай (Acs & Kiss, 1993), у Великих Американських озерах (Biggs et al., 1998). У Франції дослідження процесів заселення різноманітних експериментальних субстратів водоростями входить до складу державної програми оцінки якості вод у річках (Prygiel & Coste, 2000). Також дослідження проводили на водоймі–охолоджувачі Хмельницької АЕС, експериментальні субстрати використовували як модель поверхонь різних систем технічного водопостачання АЕС. Окремою модифікацією метода експериментальних субстратів можна вважати дослідження епіфітону на стеблах живих рослин, які спеціально очищені від обростання, зокрема, такі дослідження проводили у верхів'ї Канівського водосховища (Semeniuk et al., 2025).

Досить тривалі дослідження зооперифітона проводилися на Канівському водосховищі в 1970–ті роки (Protasov et al., 2019). Серія робіт з досліджень на експериментальних субстратах була проведена на Київському водосховищі (Protasov et al., 2015). Окремим розділом дослідження було проведення випробувань різних необростаючих покриттів, тобто дослідження перифітону з метою обмеження біоперешкод (Protasov et al., 2019; Protasov et al., 2021; Morozovska et al., 2024). За останні роки відбулися значні зміни кліматичних умов, посилився вплив антропогенних факторів, в тому числі і військових, безумовно, все це накладає свій відбиток на склад та структуру угруповань гідробіонтів, але ж досліджень багаторічних змін у гідроекосистемах недостатньо.

Метою роботи було провести порівняльний аналіз складу, розвитку зооперифітону у Канівському водосховищі у теперішній час та декілька десятиліть тому, встановити особливості угруповань з огляду їх потенціальної небезпеки як фактора біологічних перешкод.

Матеріал і методи

Дослідження зооперифітону проводили на Канівському водосховищі наприкінці 1970-х років та в сучасний період. Обстеження навігаційних буїв в перший період проводили по всій акваторії, дослідження за методикою експериментальних субстратів (Методи …, 2006;) проводили в районі Трипільскої ТЕС у двох зонах – в районі водозабору циркуляційної води ТЕС, та в районі скиду підігрітих вод. В сучасний період польові експерименти проводили у верхів'ї водосховища, у затоці Старик. Відбір проб з різних неживих субстратів (метал, бетон) проводили за допомогу шкребка (ширина леза – 5 см). У 2022 р. відбір проб з різних техногенних субстратів проводили на 5 станціях в районі Трипільської ТЕС. В якості експериментальних субстратів використовували пластини зі скла та інертного пластику – вініпласта розміром 2,5–7,5 см. Пластини були закріплені на спеціальних стендах і експонувалися на глибині від 1 до 2 м, експозиція складала від 30 днів до півтора року. Проби у вигляді окремих пластин з обростанням відбирали виймаючи стенди на поверхню та фіксували 4% розчином формальдегіду. Динаміка обростання досліджувалась шляхом відбору послідовно у часі проб, також проводилась фотофіксація загального габітусу субстратів в польових умовах. Більшість організмів було визначено до видового рівня, але деякі групи – до більш вищого таксону, тому використано термін нижчий ідентифікований таксон, або НІТ. Оцінку рясности обростання проводили як загальноприйнятими методами при опрацюванні проб, встановлюючи показники чисельності (екз/м^2), та біомаси (г/м^2), так і при візуальному оцінюванні за допомогою 5–бальної шкали (Protasov & Morozovska, 2025).

Результати

Наявні дані, отримані у 1970-х роках дозволяють зробити порівняння складу та розвитку перифітону у Канівському водосховищі. Зооперифітон Канівського водосховища був досить багатим за складом. Найбільш представленими були личинки хірономід – 31 вид. На навігаційних буях і гідроспорудах було виявлено 14 видів, найчастіше зустрічалися *Cricotopus silvestris* Fabricius, *C. algarum* Kieffer, *Limnochironomus nervosus* Staeg. Нижче Київської ГЕС (річкова ділянка водосховища) на навігаційних буях домінували дрейсена та личинки хірономід, загальна чисельність їх становила 1000 екз/м^2, біомаса – 0,2 г/м^2. На експериментальних субстратах, що експонувалися в районі Трипільської ТЕС, відмічено 21 вид, крім зазначених найчастіше зустрічалися *Parachironomus pararostratus* Harnisch, *Microcricotopus bicolor* Zett.

У районі с. Трипілля ,нижче скидання підігрітих вод Трипільської ТЕС у перифітоні були присутні личинки хірономід, гамариди (*Dikerogammarus haemobaphes* Eichwald), дрейсена (*Dreissena polymorpha* Pallas). Домінували за чисельністю личинки хірономід *C. silvestris*. Загальна чисельність безхребетних перифітону становила 1368 екз/м^2, біомаса – 0,2 г/м^2 (Protasov et al., 2015).

У 1970-ті рр. в літній період року у районі скиду Трипільської ТЕС, а саме на експериментальних субстратах у скидному басейні, при температурі близько 30°С були відмічені високі значення біомаси мохуватки Plumatella emarginata Allm., сумарна біомаса організмів досягала 900–1000 г/м^2 (Protasov et al., 2019). У каналі ежекторної споруди ТЕС також основу біомаси перифітону становила мохуватка *Plumatella emarginata* Allman. Загальна чисельність організмів перифітону була 20 тис. екз/м^2, біомаса – 100 г/м^2. Важливо відмітити, що саме дослідження зооперифітона на експериментальних субстратах в районі ТЕС дозволили виявити наявність в угрупованнях

таких вселенців як *Urnatella gracilis* Leidy, *Craspedacusta sowerbii* Lankester (поліпоїдна стадія).

На буях, що знаходилися в воді цілий рік, формувалися угруповання з домінуванням дрейсени з біомасою порядка сотень грамів і кілограмів на 1 м^2. У затоці Київської ТЕЦ–5 (Корчуватська затока) на металевому субстраті біомаса дрейсени досягала 1,9 кг/м^2, у районі Трипілля – 1,6 кг/м^2. Численнітутбулигамариди(*Dickerogammarus haemobaphes* Eichwald), личинки хірономід, олігохети-наідіди.

Таким чином, у різних за температурою умовах угруповання мали різних домінантів. Дослідження свідчать, що мохуватки в 1970–ті роки були домінантами лише в зонах підігрітої води.

Також, важливо відмітити, що у 1970–1980 рр. практично єдиним видом гідробіонтів, що міг викликати суттєві біоперешкоди в системах водопостачання, в тому числі електростанцій, був молюск *D. polymorpha*. В теперішній час цей список загрозливих видів, що можуть викликати біоперешкоди в роботі обладнання систем технічного та циркуляційного водопостачання збільшився: присутня дрейсена вже двох видів (окрім дрейсени річкової ще і дрейсена бузька *Dreissena bugensis* Andr.), мохуватки *Plumatella fungosa* Pallas, *Hyalinella punctata* Hancock і в 2024 р. на експериментальних стендах в Канівському водосховищі зареєстровано ще один вид мохуватки – *Pectinatella magnifica* Leidy.

Зооперифітон Канівського водосховища в районі Трипільської ДРЕС за даними досліджень 2022 р.

Проби перифітону відбирали на чотирьох станціях Канівського водосховища і водних об'єктів системи охолодження Трипільської ТЕС у серпні 2022 р. (табл. 1).

Таксономічний склад. Загалом по станціям було відмічено 14 НІТ. Найбільша кількість спостерігалась на ст. № 4 – 11 НІТ, найменша на ст. № 3 – 4 НІТ. На всіх станціях були відмічені *Stylaria lacustris* Linnaeus, Nais sp., *Cricotopus silvestris* Fabricius, що становило 21% від загальної кількості НІТ. Личинки одного виду хірономід *Psectrocladius psilopterus* Kieffer зустрічалися на трьох станціях, крім ст. 1, і *Glyptotendipes glaucus* Meigen – на трьох станціях крім ст. 3, що становило 14% від загальної кількості видів. Два види (*Limnochironomus nervosus* Staeger, *Theodoxus fluviatilis* Linnaeus зустрічались на двох станціях (також 14%). Інші таксони – гамариди: *Chaetogammarus ischnus* Stebbing (ст. 1), Turbellaria gen. sp., личинки волохокрильців *Agraylea multipunctata* Curtis, молюски *D. polymorpha, Bithynia sp.* (на ст. 3), *Tubificidae sp.* з волосними щетинками, *Diptera gen.* (на ст. 5) зустрічалися один раз і складали 50% від загальної кількості НІТ.

Кількісні показники і структура домінування. Чисельність на станціях коливалась від 44500 (ст. 3) до 2500 екз/м^2 (ст. 5), біомаса – від 50,5 (ст. 3) до 0,8 г/м^2 (ст. 4) (рис. 1).

На ст. 1 за чисельністю домінували *S. lacustris* (38,7%), *Nais sp.* (25,8 %), на інших станціях – *Nais sp.* (60,0–79,2 %) (рис. 2).

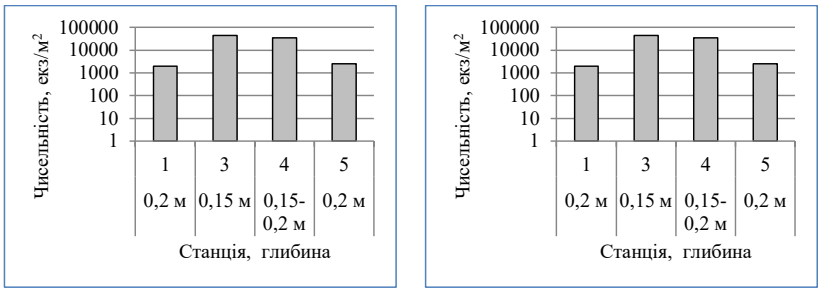
За біомасою перифітон на ст. 1, 3, 4 був монодомінантним: на ст. 1 і 4 домінували молюски *T. fluviatilis* (97,8 та 72,7 %, відповідно), на ст. 3 – *Nais sp.* (73,9 %). На ст. 5, на відміну від попередніх станцій, було декілька домінантів: *P. psilopterus* (21,2 %), *L. nervosus* (18,9 %) та *Nais sp.* (16,4 %).

Ценотична структура. На підставі оцінки подібності відносних показників деструкції (рис. 3), було виділено два угру-

Таблиця 1

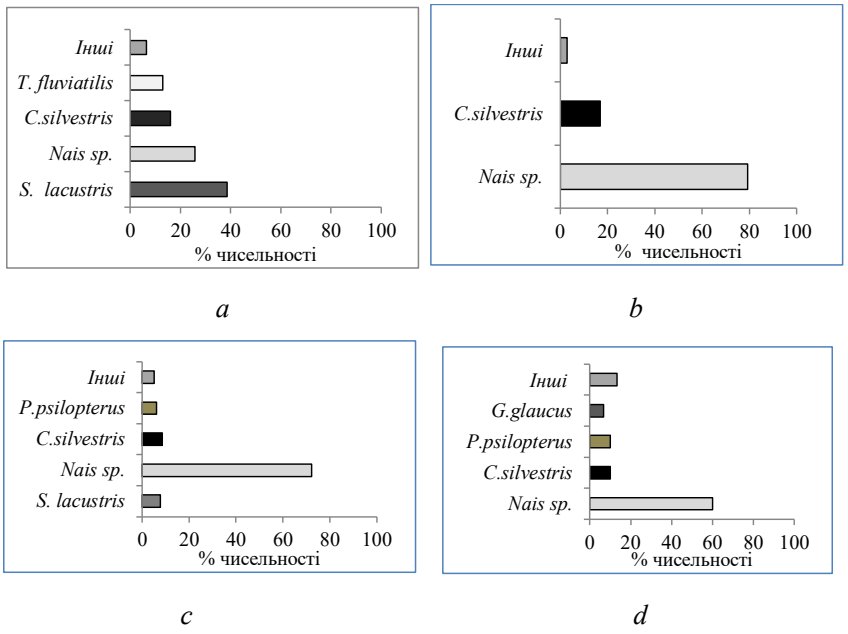
Характеристика станцій відбору проб зооперифітону, (Канівське водосховище та технічні об'єкти Трипільської ТЕС)

Прив'язка до місцевості	**№ станції**	**h, м**	**t, °C**	**Площа проби, м^2**	**Субстрат**
Вище за течією від аванканалу підвідного каналу ТТЕС (м. Українка),	1	0,2	26,2–26,3	0,016	бетон
Скидний басейн системи охолодження ТЕС	3	0,2	29,2	0,024	бетон
Район скиду підігрітої води (ежекторна споруда)	4	0,15	26,3	0,008	бетон
Нижче за течією від р. Красна	5	0,15–0,2	24,9	0,012	бетон



a *b*

Рис. 1. Кількісні показники зооперифітону Канівського водосховища та водних об'єктів ТТЕС, серпень 2022 р.: (*a*) чисельність, (*b*) біомаса. Осі представлено у логарифмічній шкалі



a *b*

c *d*

Рис. 2. Структура зооперифітону (частка у загальній чисельності, %) Канівського водосховища та водних об'єктів ТТЕС, серпень 2022 р.: (*a*) ст. 1, (*b*) ст. 3, (*c*) ст. 4, (*d*) ст. 5

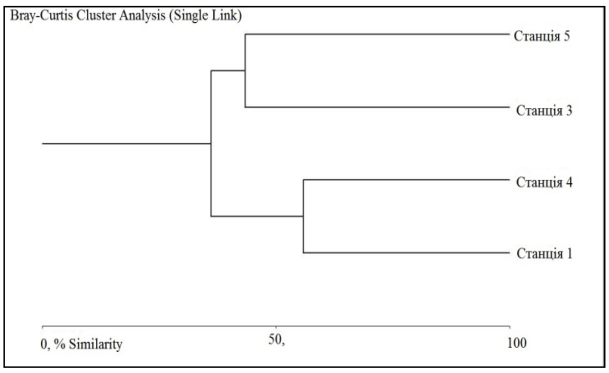


Рис. 3. Кластер подібності зооперифітону Канівського водосховища та водних об'єктів ТТЕС, серпень 2022 р. (за показниками загальної деструкції)

повання, їхні характеристики представлені в табл. 2.

Перше угруповання *T. fluviatilis* (60 %) було локалізовано вище за течією від аванканала і займало частину берега до скиду підігрітих вод. Це угруповання мало досить велику кількість НІТ – 12. Чисельність була 18385 екз/м^2, біомаса 36,3 г/м^2, НІТ–різноманіття за біомасою було низьким (1,2 біт/г).

Друге угруповання *Nais sp.* (68,3 %) було відмічено у скидному басейні та нижче за течією від р. Красна. За видовим складом угруповання було біднішим і нараховувало 8 НІТ. Угруповання характеризувалося більшою чисельністю та меншою біомасою, НІТ–різноманіття за біомасою було близьким до попереднього значення (1,5 біт/г).

Структура угруповань може бути представлена у вигляді так званих кривих домінування–різноманітності (Afanasiev & Lietytska, 2019) (рис. 4).

Таким чином, угруповання були олігоміксними, зі збідненою таксономічною структурою, були практично відсутні прикріплені екоморфи. Не можна зробити висновок, що в зоні впливу скидних підігрітих вод угруповання зооперифітону (принаймні на малих глибинах) кардинально відрізнялися від такої зони поза впливом скидів.

Дослідження зооперифітону на експериментальних субстратах у сучасний період

Методика експериментальних субстратів дозволила виявити основні характерні риси перифітона, а саме, дозволяє прослідкувати сукцесійні зміни.

Починаючи з 2014 р. угруповання перифітону досліджували на експериментальних субстратах, що було експоновано в затоці Старик. Характерним було формування угруповань зі значним розвитком колоній мохуватки *P. fungosa*. Розвиток мохуваток в деякі періоди перервав хід сукцесії з постійним домінуванням дрейсенід, що був характерним для Канівського водосховища в перший період досліджень.

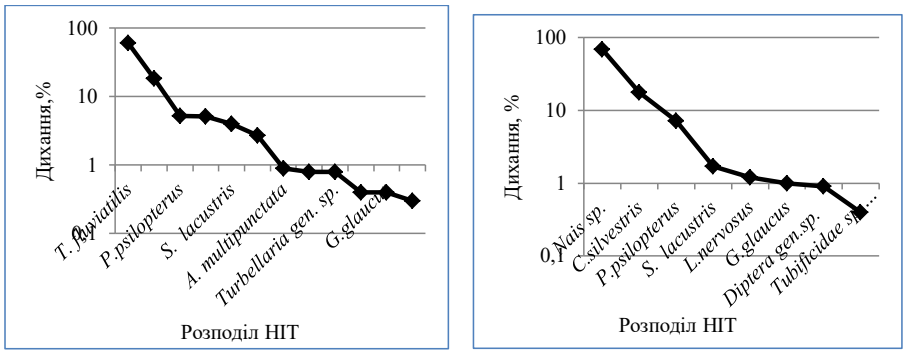
Оцінки інтенсивності розвитку обростання показали, що існувало декілька етапів формування угруповань перифітону на експериментальних субстратах. Перший етап: з постановки субстратів (кінець

Таблиця 2

Характеристика угруповань зооперифітону та їх модифікацій Канівського водосховища та водних об'єктів ТТЕС, серпень 2022 р.

Угруповання	**Субстрат**	**N, екз/м^2**	**B, г/м^2**	**B, кДж/м^2**	**R, кДж/м^2· год**	**H_N**	**H_B**	**H_R**	**Кількість НІТ**
T. fluviatilis (60 %)	бетон	18385± 16448	36,3± 14,2	46,6± 26,5	249,6± 52,6	1,7	1,2	1,9	12
Nais sp. (68,3 %)	бетон	23500± 21000	6,7± 5,9	24,6± 22,3	120,0± 101,0	1,1	1,5	1,5	8

Примітка: в дужках подано частку НІТ (%) у загальній деструкції в порядку домінування; середнє ± стандартне відхилення.



a *b*

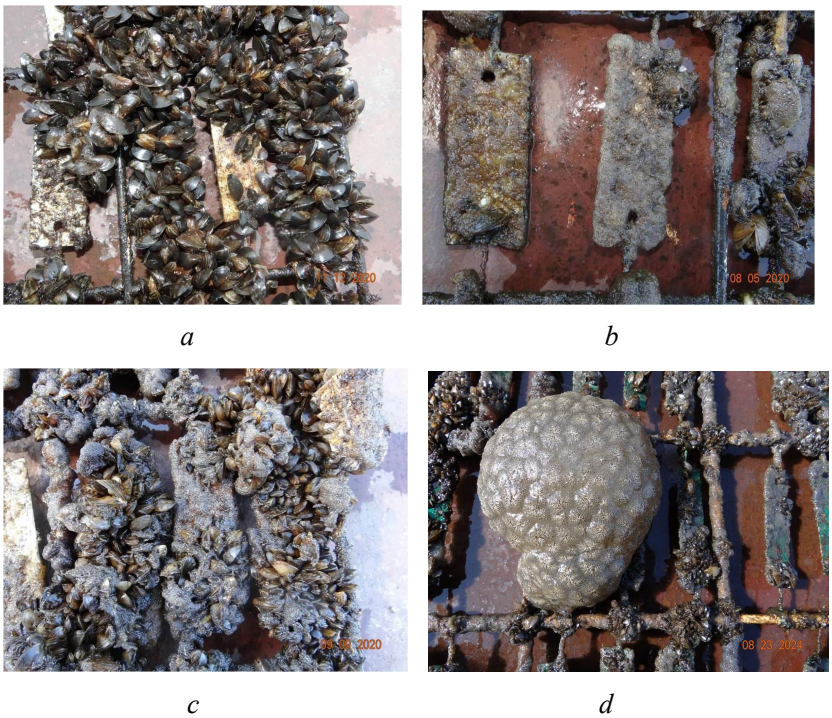
Рис. 4. Криві домінування–різноманіття двох угруповань: (a) *T. fluviatilis* (60 %), (b) *Nais sp.* (68,3 %)

квітня – травень) до експозиції в 30–50 діб субстрати були майже позбавлені організмів, в одиничній кількості були відмічені личинки *Chironomidae*, *Trichoptera* у будиночках. На окремих субстратах були відмічені поодинокі особини дрейсени невеликого (2–3 мм) розміру.

На другому етапі сукцесії формування угруповань відбувалося декількома шляхами. В першому варіанті на субстратах оселялася дрейсена, в основному це була *D. polymorpha*, рідше *D. bugensis* Дрейсена формувала угруповання з великою біомасою впродовж всього експонування субстратів з 80–100 % домінуванням (рис. 5, a). Так, у 2019 р. з початку вересня по листопад формувалися дрейсенові угруповання з домінуванням *D. polymorpha*, з біомасою від 835,9 до 5504,6 г/м^2. В угрупованнях біомаса *D. polymorpha* перевищувала біомасу другого виду *D. bugensis*: у вересні у 26 разів (835,9 г/м^2 проти 32,6 г/м^2, відповідно) та у листопаді у 15 раз (5504,6 г/м^2 проти 378,2 г/м^2, відповідно). У 2020 р. в угрупованнях дрейсени у вересні в 9 разів переважала *D. polymorpha* (1564,6 проти 168,22 г/м^2), а у листопаді в 1,2 рази переважала *D. bugensis* (11615,4 проти 9696,7 г/м^2).

В другому варіанті, на субстратах на початку літа поселялася мохуватка, вона пригнічувала молоді особини дрейсени і не давала їм розвиватися у повній мірі, а також осідати новим личинкам дрейсенід. До початку серпня на субстратах формувалися масивні колонії мохуваток *P. fungosa*, що покривали субстрат на 90–100 % (рис. 5 b–c). До листопада, після відмирання колоній мохуватки, відбувалася заміна домінанта та знову формувалися угрупування з дрейсеною, однак вони вже не досягали такої великої біомаси, як це могло бути, якби мохуватка не колонізувала субстрат.

Чужородні види–вселенці грають важливу роль в формуванні та функціонуванні угруповань, а також в процесах формування комплексу чинників біоперешкод, які можуть виникати в системах водопостачання, експлуатації суден, тощо. Серед організмів перифітону, які можуть бути



a *b*

c *d*

Рис. 5. Загальний вигляд обрастання на експериментальних субстратах в основній акваторії затоки Старик: (a) Угрупування дрейсени на експериментальних субстратах, 2020 р.; (b) угруповання мохуватки на експериментальних субстратах, серпень, 2020 р.; (c) змішане поселення дрейсени і мохуватки на експериментальних субстратах, вересень 2020 р.; (d) мохуватка *P. magnifica* на експериментальному стенді (серпень, 2024 р. діаметр колонії близько 12 см, для масштабу – довжина пластини, праворуч 8 см)

чинниками біоперешкод, насамперед слід відмітити ефаптонні, седентарні прикріплені організми, такі як дрейсеніди (*D. polymorpha, D.bugensis*), губки (*Spongia*), мохуватки (*Bryozoa*). Серед останніх слід звернути увагу на відносно недавнього вселенця – мохуватку *P. magnifica*.

Вперше цей вид був описаний у 1851 р. поблизу Філадельфії, тоді Дж. Лейди назвав його *Cristatella magnifica,* але скоро стало зрозумілим, що знайдена мохуватка відрізняється від представників роду *Cristatella*, тому було виділено окремий рід: *Pectinatella* (Balounova et al., 2013)

Разом з інвазією від *Pectinatella* очікується ряд несприятливих наслідків технічного плану: обростання риболовницького знаряддя, причалів, гідротехнічних споруд, засмічення та забивання водопровідних труб і фільтраційних систем, прикріплення до підводних субстратів у зонах відпочинку, що знижує рекреаційну цінність водойм. Також слід очікувати деяких екологічних проблем: *P. magnifica* є потенційним хазяїном міксозойного паразита *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Vuorio et al., 2018), збудника проліферативної хвороби нирок (PKD) у лососевих риб, що становить загрозу як для диких риб, так і може завдати значних збитків рибному господарству. Існує ймовірність, що *P. magnifica* може також переносити інших паразитів, підвищуючи ризик появи нових хвороб у водних екосистемах.

В басейні Дніпра вперше *P. magnifica* було зареєстровано у 2021 р. (Afanasyev & Lietytska, 2021). У 2024 р. масивні колонії мохуватки було відмічено нами на експериментальних стендах (див. рис. 5 d).

Розроблено деякі принципи оцінки впливів інвайдерів (IUCN Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT) на нативні популяції (IUCN …, 2020), вони розглядають саме вплив інвайдерів на інші популяції регіону–реципієнту. Можливі негативні наслідки від інвазій цієї мохуватки розглянуто вище. Є більше 10 варіантів механізмів впливу інвазивних видів на біорізноманіття та довкілля, це вказано у Глобальній базі даних по інвазивних видах (GISD, URL). Але ж, слід відмітити, що всі ті впливи мають відношення саме до біотичних взаємодій і ніяк не відображають безпосередній вплив інвайдерів на технічні системи та господарську діяльність.

Згідно класифікації GISD вплив *P. magnifica* можна віднести до 10 та 11 типів: фізичний вплив на інші популяції (колонія мохуватки просто вкриває інші організми на субстраті) та вплив на структурні характеристики середовища: замість прийнятного для поселення субстрату колонія мохуватки «пропонує» зовсім неприйнятний для поселення субстрат у вигляді желеподібної колонії.

Щодо впливу на техносистеми, тут може бути виокремлено два впливи: розвиток обростання в системах водопостачання (флотобласти мають досить малі розміри, щоби проникати в різні частини водоводів і формувати колонії), механічне забруднення систем водопостачання, решіток, фільтрів за рахунок флотуючих колоній, та дрифту.

Вплив умов середовища на розвиток зооперифітона. Було встановлено, що в затоці Старик є ділянки з різним рівнем трофності вод. В південній частини затоки локалізовано окрему акваторію, обмежену незамкнутою дамбою, тобто водообмін в ній був досить уповільненим. Це дало можливість експонувати експериментальні субстрати в досить різних умовах, про що свідчать дані з гідрохімії (табл. 3).

При інтегральній оцінці отримані показники дозволяють зробити висновок, що якість води в двох ділянках акваторії затоки може бути віднесено до II–III класу 3–4 категорії якості, що відповідає мезотрофним та евтрофним водам. Але показники фосфатів, біхроматної окислюваності, БСК5 показують політрофні умови (основна акваторія затоки) і гіпертрофні умови (**V** категорія, окрема акваторія).

Розвиток зооперифітона на основній акваторії затоки проходив у загальному в межах багаторічних трендів сукцесійного розвитку угруповань. У серпні 2025 р. (експозиція майже півтора року) існувало угруповання, яке можна вважати клімаксним, з абсолютним домінуванням дрейсенід (рис. 6). Біомаса таких угруповань перевищує 10 кг/м^2, за даними 2025 р. на початку серпня відбувалося інтенсивне осідання велігерів, таким чином, відбувалося поповнення популяцій молюсків.

На окремій евтрофованій акваторії хід сукцесії був кардинально іншим. У травні 2025 р. було виставлено експериментальний стенд з субстратами, що мали різні якості покриття та контрольні.

Протягом одного місяця інертні субстрати (вініпласт) практично не були колонізовані організмами перифітону (рис. 7, а). Тільки на окремих пластинах було відмічено розви-

Таблиця 3

Показники гідрохімічного режиму у двох ділянках затоки, де проводили дослідження на ЕС у 2024 –2025 рр.

Станції	**pH**	**N/NO_2, мг/дм^3**	**N/NO_3, мг/дм^3**	**N/NH_4, мг/дм^3**	**P/PO_4, мг/дм^3**	**БО, мг О/дм^3**	**БСК$_5$ мг O_2/дм^3**	**Інтегральна оцінка якості середовища**
Канівське вдсх, затока Старик	7,7 II.2	0,0 3 III.4	0,38 II.3	0,19 II.2	0,14 III.5	41,5 IV.6	9.2 IV.6	II клас 3 категорія. Добра, досить чиста
Канівське вдсх, затока Старик, окрема акваторія	7,9 II.2	0,004 II.2	0,51 III.4	0,21 II.3	0,32 **V**.7	69,0 **V**.7	16,5 **V**.7	III клас 4 категорія. Задовільна, слабко забруднена

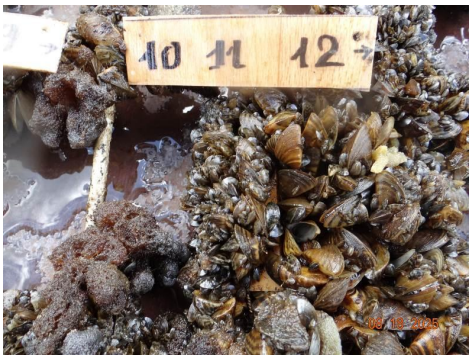


Рис. 6. Загальний вигляд обростання з домінуванням дрейсенід

ток двомірних колоній мохуваток. За шкалою оцінки (Protasov & Morozovska, 2025) таке обростання, за рясністю може бути оцінено від 0,5 до 1,5 балів, що відповідало біомасі порядку десятих часток грамів/м^2.

В липні на субстраті № 6 колонія *P. fungosa* з невеличкої двомірної розрослася до масивної тривимірної колонії, (рис. 7, b) оцінка такого обростання – 5 балів.

Але слід звернути увагу на значну нерівномірність розвитку обростань: субстрат № 4 мав тільки невеличкі поселення рухомих колоній мохуваток *Crystatella mucedo* Cuvier, Оцінка рясноті – не більше 2 балів. Далі розвиток відбувався досить вибухово, як видно з фото (рис. 7, c), наприкінці липня колонія *Plumatella* практично відмерла, вся поверхня вкрита колоніями *Crystatella*.

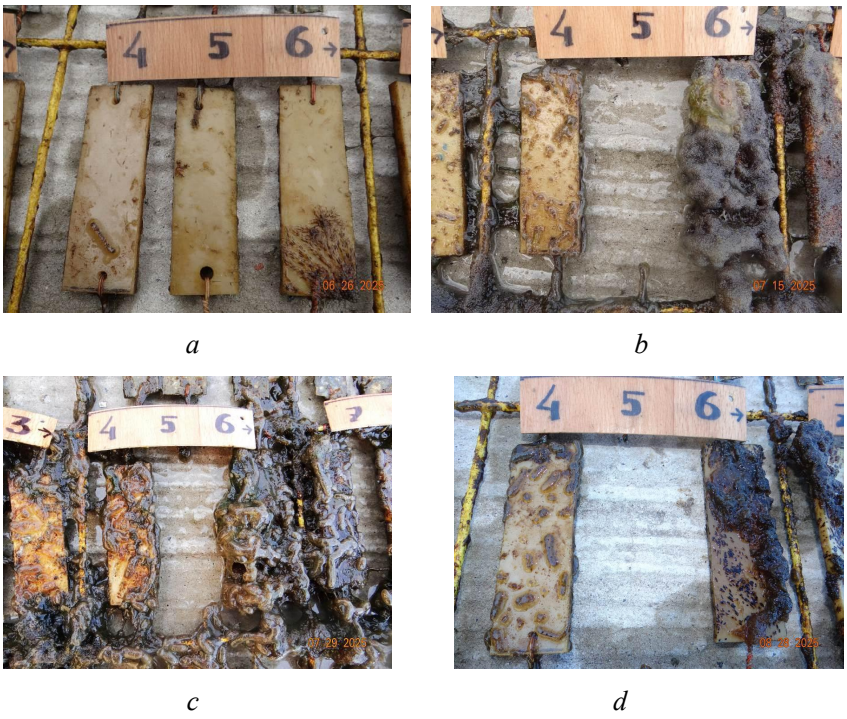
Оцінка інтенсивності обростання – 4,5 і 5 балів (відповідає біомасі у сотні та тисячі г/м^2) була для субстратів № 4 і 6, відповідно. Окрім того, слід відмітити, що, з огляду на певну рухомість колоній домінуючих мохуваток *Crystatella*, все обростання набуває риси особливої динамічності.

Наприкінці вересня масивні колонії *P. fungosa* відмирали і практично були зруйновані (рис. 7, d). Сукцесія нібито повертається в зворотному напрямку: на субстраті № 4 бачимо тільки окремі колонії *Crystatella*, зі статобластами на поверхні колоній.

Обговорення

Порівняння складу угруповань зооперифітону згідно даних 1970–х років та сучасних даних показали, що у їхньому складі з'явилися нові види гідробіонтів, які можуть бути фактором біологічних перешкод в роботі обладнання водопостачання енергетичних станцій, зокрема Трипільської ТЕС. До таких агресивних обростань слід віднести прикріплених молюсків та мохуваток, зокрема було відмічено інвазивний вид останніх – *P. magnifica*.

Дослідження, що були проведені на експериментальних субстратах в останні роки, показали, що формування угруповань зооперифітону, в умовах Канівського водосховища відбуваються згідно з певними закономірностями. Встановлено, що в період з кінця липня та початку серпня досить швидко формується обростання з домінуванням мохуваток. Після цього періоду, як



a *b*

c *d*

Рис. 7. Динаміка розвитку обростання на експериментальних субстратах на окремій акваторії затоки Старик: (a) вигляд експериментальних субстратів після місячної експозиції; (b) після півтора місяця експозиції; (c) після двомісячної експозиції; (d) після тримісячної експозиції

правило, інтенсивно формуються угруповання з домінуванням дрейсенід.

З огляду на отримані дані, слід звернути увагу на те, що зазначені види мохуваток як індикатори екологічного стану вод мають сапробні індекси не більше, як 2,3, що відповідає олиго–мезосапробній зоні сапробності, мезоевтрофним водам. Ми вважаємо, що індекс сапробності для мохуваток (*P. fungosa, C. mucedo*) має бути, принаймні, вище, ніж у дрейсени, не нижче, ніж 2,5 і відповідати евтрофним чи, навіть евполітрофним водам.

Характер сукцесії в умовах різної трофності докорінно змінюється. Якщо в мезотрофних умовах угруповання формують довгоживучі седентарні форми, загальний габітус та структура обростання стає стабільною і це може продовжуватися роками, то в умовах евтрофних, при іншому складі перифітона, формуються досить «ефемерні» угруповання, превалює циклічний характер сукцесійних змін. В часи змін кліматичних умов та підвищення трофності вод можна висунути гіпотезу, що склад та сукцесійні зміни в угрупованнях перифітону будуть суттєво змінюватися в бік загрози підвищення біоперешкод.

Висновки

В останні роки у Канівському водосховищі склад перифітону стає більш «агресивним» у сенсі формування біоперешкод, що є важливим, оскільки з водосховищем пов'язані системи водопостачання декількох енергетичних об'єктів.

У складі перифітону з'явилися нові види гідробіонтів, що потенційно можуть ставати загрозою біологічних перешкод.

Виявлено значний розвиток мохуваток в угрупованнях перифітону Канівського водосховища пов'язаний, очевидно, як зі зміною кліматичних умов, так і зі зростанням трофності, евтрофуванням.

Саме дослідження в одній із заток водосховища, де підвищення трофності добре виражене, спостерігалося інтенсивне формування обростання за рахунок мохуваток. В таких умовах формуються угруповання «пульсуючого» типу, тобто такі, що досить швидко нарощують біомасу, але є досить недовговічними.

Для контролю біологічних перешкод потрібно звернути увагу на умови у окремих ділянках водосховища, на склад угруповань, появу нових інвазивних видів. Виявлені негативні тенденції необхідно враховувати під час проведення заходів щодо усунення біоперешкод в роботі обладнання систем водопостачання.

Подяки

Автори вдячні Л. С. Кіпніс за допомогу з підготовкою гідрохімічних даних.

Робота проводилася в рамках конкурсної тематики, код 1230 «Розроблення нових підходів, методів та технологічних засад біологічної та екологічної безпеки водних об'єктів енергетичних станцій, що постраждали від комплексного впливу воєнних дій».

Список використаної літератури

Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.

Acs E., Kiss K. Colonizanion process of diatoms on artifacial substrates in the river Dande near Budapest (Hungary). *Hydrobiologia*. 1993. 269. P. 307–31. https://doi.org/10.1007/BF00028029

Afanasyev S. O., Lietytska Ye. N. Structure of Dominance/Diversity of Benthic Macroinveretebrate Communities in the Carpathian Rivers. *Hydrobiological Journal,* 2019. 55(4). 3–15. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i4.10

Afanasyev S. O., Lietytska O. M. The First Record of Alien Bryozoan *Pectinatella magnifica* in the Dnieper River Basin and Evaluation of its Dissemination Paths. *Hydrobiological Journal.* 2021. 57 (2). P. 26–35. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v57.i2.30

Balounova Z., E. Pechoušková J., Rajchard V., Joza V., Šinko J. 2013. World–wide distribution of the Bryozoan Pectinatella magnifica (Leidy 1851). *European Journal of Environmental Sciences.* 2013. 3 (2). P. 96–100. https://doi.org/10.14712/23361964.2015.11

Biggs B., Stevenson R., Lowe R. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archiv für Hydrobiologie*. 1998. 133 (1). P. 21–56. https://doi.org/10.1127/archiv–hydrobiol/143/1998/21

Cattaneo A., Amireault M. C. How Artificial Are Artificial Substrata for Periphyton. *Journal of the North American Benthological Society*. 1992. 11(2), P. 244–256. https://doi.org/10.2307/1467389

IUCN. Guidelines for using the IUCN Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT) Categories and Criteria. Version 1.1. 2020. *IUCN*, Gland Switzerland, Cambridge, UK.

Morozovska I. O., Rogalskiy S. P., Dzhuzha O. V., Tarasiuk O. P., Protasov O.O. Zooperiphyton on anti–fouling coatings and changes of its coenotic structure. *Hydrobiological Journal.* 2024. 60 (3). P. 91–109. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i3.60

Protasov A. A., Morozovska I. O. Express assessment of fouling development in technical systems and under experimental conditions. *Hydrobiological Journal.* 2025. 61 (6). P. 80–90. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v61.i6.60

Protasov O.O., Guryanova G. A., Sylaieva A. A., Laskovenko N. N. Zooperiphyton dynamics on the experimental substrata in the near–dam section of the Kiev reservoir. *Hydrobiological Journal.* 2015. 51 (5). P. 80–90. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v51.i5.80

Protasov O.O., Morozovskaya I.A., Laskovenko N. N., Rogalskiy S. P. Composition and structure of zooperiphyton on the experimental substrates in the Kaniv reservoir. The many–year aspect. *Hydrobiological Journal.* 2019. 55 (5). P. 3–19. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i5.10

Protasov O.O., Morozovska I.O., Rogalskiy S. P. Dynamics of zooperiphyton communities' development on inert substrate and antifouling coatings in the reservoir. *Hydrobiological Journal.* 2021. 57 (2). P. 36–53. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v57.i2.40

Prygiel, J., Coste M. Guide methodologique pour la mise on oeuvre de l'Indice Biologique Diatomees. Agences de l'Eau, Cemagref–Groupement de Bordeaux. *Agences de l'Eau.* 2000, P. 1–134.

Semeniuk, N. Ye., Davydov O. A., Grigorieva I. Ye., Zhorova A. V., Koziychuk E. The process of colonization of Tipha angustipholia L. by algae of different ecological groups on river part of Kanev reservoir (r. Dnieper, Ukraine). *Hydrobiological Journal.* 2025. 61 (5). P. 3–24. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v62.i1.10

Vuorio K., Kanninen A., Mitikka S., Sarkkinen M., Hämäläinen H. Invasion of Finnish inland waters by the alien moss animal Pectinatella magnifica Leidy, 1851 and associated potential risks. *Management of Biological Invasions*. 2018. 9 (1). P. 1–10. https://doi.org/10.3391/mbi.2018.9.1.01

Zhorova A. V., Hryhoriyeva H. Ye., Semeniuk N. Ye., Davydov O. A., Koziychuk E. Sh. Spatial dynamics and interrelations of contour algal communities in the upper section of the Kaniv reservoir (Dnieper river, Ukraine). *Hydrobiological Journal.* 2025. 61 (4). P. 3–23. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v61.i4.10

References

Metody hidroekolohichnykh doslidzhen poverkhnevykh vod (2006). [Methods of hydroecological research of surface waters] / ed. Romanenko, V.D. Kyjiv : LOHOS [in Ukrainian].

Acs, E., & Kiss, K. (1993). Colonizanion process of diatoms on artifacial substrates in the river Dande near Budapest (Hungary). *Hydrobiologia*, 269, 307–315. https://doi.org/10.1007/BF00028029 [in English].

Afanasyev, S. O., & Lietytska, Ye. N. (2019). Structure of Dominance/Diversity of Benthic Macroinveretebrate Communities in the Carpathian Rivers. *Hydrobiological Journal,* 55(4), 3–15. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i4.10 [in English].

Afanasyev, S. O., & Lietytska, O. M. (2021). The First Record of Alien Bryozoan *Pectinatella magnifica* in the Dnieper River Basin and Evaluation of its Dissemination Paths. *Hydrobiological Journal*, 57 (2), 26–35. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v57.i2.30 [in English].

Balounova, Z., Pechoušková E., Rajchard J., Joza V., & Šinko J. (2013). World–wide distribution of the Bryozoan Pectinatella magnifica (Leidy 1851). *European Journal of Environmental Sciences,* 3(2), 96–100. https://doi.org/10.14712/23361964.2015.11 [in English].

Biggs, B., Stevenson, R. & Lowe, R. (1998). A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archiv für Hydrobiologie*, 133(1), 21–56. https://doi.org/10.1127/archiv–hydrobiol/143/1998/21. [in English].

Cattaneo, A., & Amireault, M. C. (1992). How Artificial Are Artificial Substrata for Periphyton. *Journal of the North American Benthological Society*, 11(2), 244–256. https://doi.org/10.2307/1467389. [in English].

IUCN. (2020). Guidelines for using the IUCN Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT) Categories and Criteria. Version 1.1. *IUCN*, Gland Switzerland, Cambridge, UK. [in English].

Morozovska, I. O., Rogalskiy, S. P., Dzhuzha, O. V., Tarasiuk, O. P., & Protasov, O.O. (2024). Zooperiphyton on anti–fouling coatings and changes of its coenotic structure. *Hydrobiological Journal,* 60 (3), 91–109. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i3.60. [in English].

Protasov, A. A., & Morozovska, I. O. (2025). Express assessment of fouling development in technical systems and under experimental conditions. *Hydrobiological Journal,* 61 (6), 80–90. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v61.i6.60. [in English].

Protasov, O.O., Guryanova, G. A., Sylaieva, A. A., & Laskovenko, N. N. (2015). Zooperiphyton dynamics on the experimental substrata in the near–dam section of the Kiev reservoir. *Hydrobiological Journal*, 51 (5), 80–90. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v51.i5.80. [in English].

Protasov, O.O., Morozovskaya, I.A., Laskovenko, N. N., & Rogalskiy, S. P. (2019). Composition and structure of zooperiphyton on the experimental substrates in the Kaniv reservoir. The many–year aspect. *Hydrobiological Journal,* 55 (5), 3–19. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i5.10. [in English].

Protasov, O.O., Morozovska, I.O., & Rogalskiy, S. P. (2021). Dynamics of zooperiphyton communities' development on inert substrate and antifouling coatings in the reservoir. *Hydrobiological Journal,* 57 (2), 36–53. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v57.i2.40. [in English].

Prygiel, J., & Coste, M. (2000). Guide methodologique pour la mise on oeuvre de l'Indice Biologique Diatomees. Agences de l'Eau, Cemagref-Groupement de Bordeaux. *Agences de l'Eau,* 1–134. [in English].

Semeniuk, N. Ye., Davydov, O. A., Grigorieva, A. Ye., Zhorova, A. V., & Koziychuk, E. Sh. (2025). The process of colonization of Tipha angustipholia L. by algae of different ecological groups on river part of Kanev reservoir (r. Dnieper, Ukraine). *Hydrobiological Journal,* 61 (5), 3–24. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v62.i1.10. [in English].

Vuorio, K., Kanninen, A., Mitikka, S., Sarkkinen, M., & Hämäläinen, H. (2018). Invasion of Finnish inland waters by the alien moss animal Pectinatella magnifica Leidy, 1851 and associated potential risks. *Management of Biological Invasions*, 9 (1), 1–10. https://doi.org/10.3391/mbi.2018.9.1.01 [in English].

Zhorova, A. V., Hryhoriyeva, H. Ye., Semeniuk, N. Ye., Davydov, O. A., & Koziychuk, E. Sh. (2025). Spatial dynamics and interrelations of contour algal communities in the upper section of the Kaniv reservoir (Dnieper river, Ukraine). *Hydrobiological Journal,* 61 (4), 3–23. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v61.i4.10 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 23.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ГЕОГРАФІЯ

УДК 911.3:338.45(477)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.5

РЕЛОКАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: СУСПІЛЬНО-ГЕОГРАФІЧНИЙ АСПЕКТ

В. В. Луцюк[1]

В умовах воєнного стану явище вимушеного переміщення населення на виробництв стало як реакцією на збройну агресію, так і способом збереження й відновлення економіки держави. Тому метою дослідження було проаналізувати суспільно-географічні аспекти релокації підприємств України в умовах воєнного стану та виявити закономірності впливу цих процесів на територіальне планування. У статті проаналізовано процеси релокації підприємств України в умовах воєнного стану з позицій суспільної географії. Розглянуто теоретичні засади поняття релокації як механізму економічної безпеки. Систематизовано результати досліджень наукових праць щодо впливу релокації на територіальне планування та регіональний розвиток. Проаналізовано статистичні дані офіційних джерел, на основі яких виділено три основні етапи у перебігу релокації в умовах воєнного стану в Україні, кожен із яких мав свої особливості перебігу. Якщо у перші місяці повномасштабного вторгнення відбувалося стихійне й намасовіше переміщення, то починаючи від 2024 року ми фактично фіксуємо розмірене, прораховане та стратегічно сплановане явище. Розкрито умови релокації, які на сучасному етапі створені у контексті стратегічної адаптації економіки на п'ятому році повномасштабного вторгнення за участі Уряду України та міжнародних партнерів. Також вказано на низькій активності співпраці підприємців із програмою уряду з підтримки релокованих підприємств (11%), що ставить під сумнів масштабність охоплення вказаної програми та взагалі її корисність. Існує нагальна потреба у врахуванні в програмах регіонального розвитку додаткового навантаження на соціальні служби та ринок житла, потреб в реконструкції інфраструктури, включаючи транспортні мережі, медичні заклади, ринок нерухомості, освітні заклади та логістичні системи підтримки, пов'язаних із процесами релокації.

***Ключові слова**: інфраструктура, переміщення виробництва, воєнний стан, регіональний розвиток, просторове планування.*

RELOCATION OF UKRAINIAN ENTERPRISES UNDER MARTIAL LAW: SOCIO-GEOGRAPHICAL ASPECT

V. V. Lutsyuk

Under martial law, the phenomenon of forced population relocation to industrial sites became both a reaction to armed aggression and a way to preserve and restore the state economy. Therefore,

[1] здобувач третього рівня вищої освіти спеціальності 106 Географія
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: lutsyuk.volodymyr@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0004-5259-5779

the purpose of the study was to analyze the socio-geographical aspects of the relocation of enterprises in Ukraine under martial law and to identify the patterns of influence of these processes on territorial planning. The article analyzes the processes of relocation of enterprises in Ukraine under martial law from the perspective of social geography. The theoretical foundations of the concept of relocation as a mechanism of economic security are considered. The results of research on the impact of relocation on territorial planning and regional development are systematized. Statistical data from official sources are analyzed, on the basis of which three main stages in the course of relocation under martial law in Ukraine are distinguished. Each of them had its own characteristics in the course. If in the first months of full-scale austerity there was a spontaneous and more massive displacement, then starting from 2024 we actually record a measured, calculated and strategically planned phenomenon. The conditions for relocation are revealed, which at the current stage are created in the context of the strategic adaptation of the economy in the fifth year of the full-scale invasion with the participation of the Government of Ukraine and international partners. The low activity of entrepreneurs in cooperation with the government program to support relocated enterprises (11%) is also indicated, which calls into question the scale of coverage of the specified program and its general usefulness. At the same time, it is noted that there is an urgent need to take into account in regional development programs the additional burden on social services and the housing market, the needs for infrastructure reconstruction, including transport networks, medical institutions, the real estate market, educational institutions and logistical support systems associated with relocation processes.

Key words: *infrastructure, production relocation, martial law, regional development, spatial planning.*

Вступ

Вимушене переміщення, чи то мешканців, чи то потужностей, виробництв, установ, це завжди виклик для суспільства. На території України від 2014 року мільйонам мешканців довелось змінити місце проживання, а тисячам підприємств – не лише місце розташування, але й умови діяльності, працівників, партнерів, споживачів. До лютого 2022 року єдиної державної підтримки релокації не існувало, хоча проблема пошуку безпечного місця для подальшої діяльності була. В період від 2014–2021 років бізнес переміщувався самостійно, як із території АР Крим, так і з поселень проведення Операції Об'єднаних Сил, при цьому просто змінюючи свою юридичну адресу в Єдиному Державному реєстрі. З лютого 2022 року нові виклики зумовили не тільки обґрунтування алгоритму релокації, але й визначення багатьох державних та міжнародних програм підтримки та супроводу переміщення виробництв та підприємств. Хоча якісно відчутною стала й сама організація переміщення, навіть у порівнянні із лютим-липнем 2022 року (Луцюк, 2025). За даними Мінекономіки України лише за 2025 рік понад 8000 підприємств скористалися можливістю релокації, що дозволило як зберегти робочі місця, так і привнесло зміни у майбутній розвиток приймаючих регіонів (Мінекономіки …, 2025) Як зазначають В. Заросило зі співавторами, «релокація впливає на регіональну продуктивність через відмінності у промисловій інфраструктурі між східними та західними регіонами країни» (Заросило та ін, 2023). В. Мержо та Г. Іванченко в результаті своїх досліджень особливостей формування стратегії релокації підприємств в умовах воєнного стану у державі виявили, що основними факторами є безпека, доступність ресурсів, інфраструктура, робоча сила (Мережко і Іванченко, 2023). О. Яроменко детально дослідила питання релокації, розкрила види та напрямки переміщення. Також вона вказує на значний зсув у географічному розподілі підприємств як наслідок релокаційних процесів (Яроменко, 2024). Важливо розуміти, що вимушене переміщення підприємств із процесу рятування бізнесу перетворилося на новий шанс для розвитку. При чому для розвитку як самих підприємств, адже відкриваються нові можливості, з'являються нові партнери, тощо. Для приймаючих регіонів та громад, це також окремий шлях розвитку. Адже це й нові робочі місця та відновлення й раціональне використання приміщень, це перспективи у регіональному розвитку, які варто враховувати при розробках планів просторового розвитку. Т. Мельник здійснила детальне дослідження вдалих прикладів виходу українських підприємств на міжнародний ринок саме під впливом воєнних дій. Вона розкрила географію зовнішньої експансії українського бізнесу, а також виявила основні труднощі й ризики, що виникають при цьому (Мельник, 2025).

З огляду на вище сказане *метою* нашого дослідження було проаналізувати суспільно-географічні аспекти релокації підприємств України в умовах воєнного стану та виявити закономірності впливу цих процесів

на територіальне планування. Задля цього нами було: визначено теоретичні засади поняття релокації підприємств у контексті суспільної географії, систематизовано наукові підходи до дослідження релокаційних процесів, проаналізовано статистичні дані та виявлено географічні закономірності релокації підприємств України, та здійснено оцінку впливу релокації на регіональний розвиток та територіальне планування регіонів України.

Матеріал і методи

Термін «релокація» (від англ. «*relocation*» – переміщення) у контексті розвитку підприємств означає процес переміщення бізнесу до безпечнішого регіону з урахуванням логістичних, фінансових та організаційних аспектів. За визначенням Н. Смочко та Т. Лужанської, релокація – це «інструмент економічної безпеки в умовах воєнного стану, акцентуючи на переміщенні бізнесу та виробничих потужностей з територій військових дій до безпечних регіонів» (Smochko & Luzhanska, 2022). Згідно з твердженням В. Мережко та Г. Іванченко, стратегія релокації включає 10 етапів: аналіз переваг і недоліків, дослідження ринку, планування бюджету, юридичні питання, управління персоналом, комунікацію, налаштування інфраструктури, логістику, адаптацію бізнес-моделі та оцінку результатів (Мережко і Іванченко, 2023). Широкий аспект вивчення вимушеного переміщення підприємств підкреслюють також А. Олехніцька та А. Князевич (Olechnicka & Kniazevych, 2025). Вони, на прикладі України та Польщі, досліджують просторові аспекти релокації високотехнологічних компаній та вказують, що переміщення спонукає підприємства зосереджуватися на електронній комерції та стратегіях диверсифікації, що свідчить про тенденцію до більш гнучких та стійких бізнес-моделей. Різносторонній перебіг процесу релокації передбачає як його вивчення науковцями різних галузей, так і задіяння до контролю над ним установ різностороннього спрямування. Тож при проведеному нами дослідженні ми здійснили систематичний огляд літератури, проаналізували офіційні статистичні дані матеріали звітів та провели порівняльний аналіз особливостей регіонального розвитку і, як результат, виявили географічні особливості перебігу релокації в Україні.

Первинну статистичну інформацію нами було взято із офіційних сайтів та звітів Міністерства економіки України (Міністерство..., 2026) та даних Єдиного державного реєстру (Opendatabot, 2026); звітів із офіційних сайтів Організації економічного співробітництва та розвитку (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2025), Європейського банку реконструкції та розвитку (Грантове фінансування релокованих підприємств, 2026), Агентства США з міжнародного розвитку (USAID) (Економічна підтримка України USAID, 2025) тощо.

Результати

Перед тим як розглянути географічні аспекти розвитку релокації в сучасних умовах, варто уяснити, що релокація виробничих потужностей не є унікальним явищем для України. Враховуючи специфічне географічне положення України та не прості умови її історичного розвитку, масштабні вимушені переміщення виробництв, як реакція на військові загрози та геополітичні зміни, відбувалися протягом усього XX століття. Перша світова війна призвела до перших централізованих спроб евакуації промисловості з прифронтових територій. Хоча ці процеси мали й обмежений масштаб та організацію, вони заклали основи для подальшого розвитку державних механізмів переміщення виробництв. Періодом найбільшої в історії примусової індустріальної релокації стала Друга світова війна, зокрема у 1941–1942 рр. радянський уряд організував масштабну евакуацію промислових підприємств до Уралу, Сибіру, Казахстану та Середньої Азії. Тоді за різними оцінками, було переміщено понад 1500 великих промислових підприємств разом з обладнанням та робітниками. 2014 рік став початком нового етапу релокації в незалежній Україні. Після анексії Криму Росією та початку збройного конфлікту на сході України підприємства з тимчасово окупованих територій Донецької та Луганської областей почали переміщуватися до підконтрольних Україні регіонів. Цей процес мав переважно стихійний характер та відбувався без системної державної підтримки. Із початком Великої війни у 2022 році, повномасштабне російське вторгнення спричинило унікальну за масштабами релокацію підприємств. На відміну від попередніх періодів, держава запровадила комплексну програму підтримки релокації, що включала фінансову допомогу, логістичну підтримку та сприяння у пошуку нових виробничих майданчиків (Мінекономіки ..., 2025).

Такий тривалий і масштабний досвід релокації спричинив зацікавленість науков-

ців та затребуваність різностороннього її вивчення. Нами опрацьовано праці, що стосуються особливостей релокації із географічним контекстом. Їх можна розділити на два блоки: огляд регіонального (Заросило та ін., 2023; Гапак і Чубарь, 2024; Рожі та ін., 2024) та національного рівнів (Смочко і Лужанська, 2022; Мережко і Іванченко, 2023; Мельник і Лещух, 2024; Яроменко, 2024; Olechnicka & Kniazevych, 2025).

Опрацювавши дані Єдиного державного реєстру релокованих підприємств, звітні матеріали Міністерства економіки України (Opendatabot, 2022–2026), нами виділено три послідовні фази перебігу релокації в умовах повномасштабного вторгнення (рис. 1).

Перша фаза (лютий–квітень 2022 року) – період екстренної евакуації. Дані події відбувалися в панічних настроях, коли рішення приймали швидко, й часто необдумано, із єдиною умовою – забезпечення безпеки. В цей період у терміновому порядку вивозилися критичне обладнання та документація, ключові працівники та активи. Це був найбільш інтенсивний та неконтрольований період релокації. Підприємці самоорганізовувалися у підборі регіонів реципієнтів, у налагодженні логістичних питань, у підборі приміщень, тощо. Основні напрямки були спрямовані із Харківської, Чернігівської, Сумської, Київської областей у напрямку західних та центральних регіонів. Також варто відмітити двосторонні тенденції для Київської області.

Друга фаза (травень 2022 по грудень 2023) – плановий період релокації. Суспільство та й держава оговтались від шокового стану, й прийшло розуміння важливості обдуманого та організованого сприйняття реальності. На цей час керівництво держави спланувало відповідні сценарії діяльності. Мінекономіки розробило програму з підтримки та сприяння релокації підприємств (якою скористалися за даної фази понад 800 підприємств, забезпечивши при цьому понад 35 тисяч робочих місць), розроблено алгоритм юридичного та логістичного супроводу. Поряд з цим до підтримки українського бізнесу в умовах війни доєдналися міжнародні партнери, пропонуючи різносторонню підтримку (від грантів та пропозицій інвестування, до документального та юридичного супроводу). У територіальному відношення простежується чітка тенденція зі східних регіонів (Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської областей) до західних та Київської області, яка й надалі залишається високо урбанізованим реципієнтом (Business ..., 2026).

З початку 2024 року спостерігаються тенденції двосторонніх напрямків переміщення підприємств. Фактично, дану фазу можна описати як «фаза стратегічної адаптації», коли і суспільство, і бізнес пристосувалися не просто до виживання в умовах війни, а до функціонування та розвитку. Підприємства адаптували моделі ведення бізнесу, значна частина їх повернулася на деокуповані території, при цьому продовжуючи роботу на нових місцях (Харківська, Чернігівська, Херсонська області). Довелося диверсифікувати діяльність: переорієнтувати джерела збуту продукції та закупівлі сировини. Наявність можливостей залучення грантових коштів та інвестицій дозволило впровадження нових технологій, започаткування нових економічних кластерів, проєктування технологічних парків. Фактично регіони врахували нові можли-

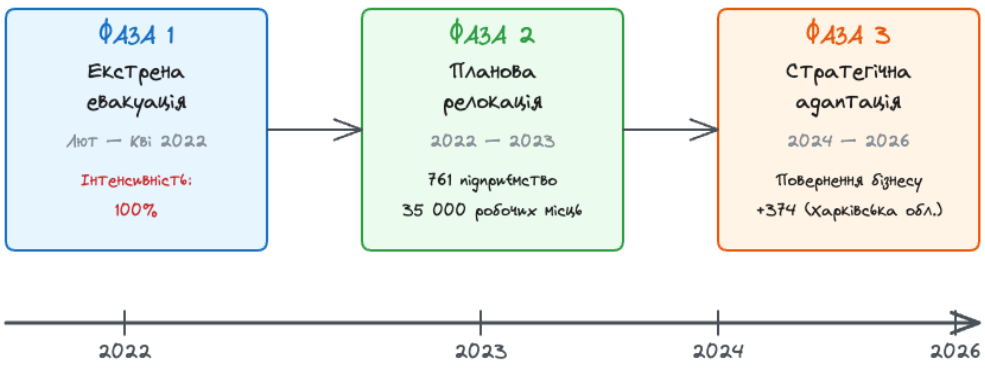


Рис. 1. Три фази релокації підприємств України в умовах військового стану (2022–2026)

вості для свого перспективного розвитку й, таким чином, одні й ті ж підприємства своєю діяльністю сприяють економічному розвитку кількох регіонів.

Якщо аналізувати за галузевою структурою релокованих підприємств, то найбільша частка серед усіх випадків зареєстрованих релокацій припадає на підприємства торгівлі. Наступною за кількістю є група підприємств, що спеціалізуються на будівництві. Реагує на наближення лінії фронту промисловість і сільське господарство, особливо галузь тваринництва. Специфічним виявився ІТ-сектор, який за рахунок можливості дистанційної роботи досить швидко зреагував на безпекову ситуацію й самоорганізовано релокувався (Мінекономіки..., 2026). Якщо ж аналізувати суто західні регіони України, то для них основну частину сформували підприємства сфери послуг, ІТ-сфери й переробної промисловості (Гапак і Чубарь 2024; (Business ..., 2026).

Більшість переміщених підприємств (89%) здійснюють релокацію самостійно, не користуючись умовами урядових програм, що зумовлює їх самостійний вибір громад для переміщення. То ж і фактори вибору є різними. Так, з позиції безпеки та наближеності до європейських кордонів 23,7 % переміщених підприємств обрали для відновлення діяльності Львівську область, 14,3 % – Закарпатську, близько 9% – Чернівецьку та Івано-Франківську області (Аналітика ..., 2026). Зазначені області зазнають підвищеного тиску на існуючу інфраструктуру, що вимагає швидкої адаптації до навантаження та розширення можливостей. Зокрема, зростає потреба розробки планів розвитку громад із урахуванням виділення земельних ділянок для нових підприємств, особливо для сфери послуг та ІТ-сектору.

Цікавими є також обрання міста Києва та Київської області як стратегічного бізнес-центру. Ці території стали пунктом призначення для приблизно 28% усіх релокацій. То ж у Києві значне зростання обсягів виробництва призвело до підвищеного попиту на промислові зони та допоміжну інфраструктуру (Рожі та ін., 2024).

Незважаючи на підвищені ризики, частина підприємств перемістилася в деякі південні області. Визначальну роль такого вибору зіграли логістичні переваги (Яроменко, 2024).

Як уже зазначалось, оговтавшись від подій початку повномасштабного вторгнення, Уряд України та міжнародні партнери розробили шляхи та налагодили можливості організації релокації та підтримки релокованих підприємств. Насамперед це Державна програма релокації від Мінекономіки, яка допомагає із підбором місця розташування, із перевезенням потужностей, розміщенням та соціальною підтримкою працівників на новому місці. Також учасникам даної програми надається підтримка у відновленні логістичних ланцюжків та у пошуку ринків збуту. Разом з тим державні програми забезпечують спрощені системи кредитування, грантову підтримку через «єРобота» та матеріальну допомогу на відновлення переміщеного бізнесу. Як результат, біля 80% вдалося відновили свою діяльність на новому місці. Водночас, варто зауважити, що ця статистика стосується лише підприємств-учасників програми. Переважна більшість переміщених підприємств (біля 89%) діяла поза межами державної підтримки, що ставить під сумнів масштабність охоплення вказаної програми та взагалі її корисність (Умови..., 2026).

Серед організацій, які пропонують підтримку в організації переїзду та відновлення діяльності на міжнародному рівні варто вказати Програму Європейського банку реконструкції і розвитку (ЄБРР), яка передбачає грантову підтримку для малих та середніх підприємств, при умові роботи в Україні не менше двох років до 24 лютого 2022 року. Грантові кошти можуть бути використані для транспортування обладнання й сировини, демонтажу, ремонту й налаштування обладнання, чи навіть на оренду приміщення. ЄБРР за фінансування Швейцарії в рамках діяльності Фонду сприяння малому бізнесу у грантовій програмі з реконструкції пропонують грантове фінансування у розмірі до 60 тис. євро для компенсації до 85 відсотків вартості реконструкції виробничих малих і середніх підприємств, що були пошкоджені внаслідок повномасштабного російського вторгнення. Слід зазначити, що умова попередньої дворічної діяльності в Україні фактично виключає з програми новостворені підприємства, які були відкриті уже за умов воєнного стану (Економічна..., 2025).

Підтримку забезпечує USAID. Серед них програма «Економічна підтримка України», яку було відкрито у 2018 році з метою підсилення експортного потенціалу України та підтримки регіонів України, що постраждали

від військової агресії Росії. Програма також передбачає консультативну підтримку релокованого бізнесу та внутрішньо переміщених осіб, особливу підтримку українського сільськогосподарського виробництва та агроекспорту, підтримку діяльності місцевого самоврядування на деокупованих територіях України. Програма PEARL (Пілотний проєкт для раннього відновлення та добробуту) була ініціативою Global Communities в Україні, яка фінансувалася USAID. Вона надавала грантову допомогу до 25000 доларів постраждалим від війни задля їх відновлення та діяльності (Умови Державної програми релокації) (Мінекономіки..., 2026). Усі згадані програми формують багаторівневу систему підтримки, однак на практиці підприємці стикаються з необхідністю самостійно орієнтуватися серед різних механізмів допомоги, що мають різні вимоги, терміни та географічне покриття. Тим не менш, саме поєднання державних та міжнародних програм часто відкриває для релокованих підприємств нові ринки збуту та доступ до кваліфікованих трудових ресурсів у приймаючих регіонах, а грантові кошти надають можливість модернізації виробництва ще на етапі переїзду.

Не дивлячись на значну підтримку від держави та міжнародних партнерів, аналізуючи реальну практики переміщення, простежуємо низку нагальних проблем, які виходять далеко за межі логістичних проблем переїзду. Це і дефіцит трудових ресурсів, і нестача фінансування, і переформатування напрямків та структури логістичних маршрутів та невідповідність цін на нерухомість, ну і – головне – продовження бойових дій. Тому багато підприємств здійснили не одну релокацію, або ж зважилися на переїзд за кордон. Загалом варто вказати, що активно реагують на потребу у швидкому переміщенні у переважній більшості підприємці, які уже мають досвід евакуації. Більшість же зважуються на перевезення потужностей не зразу. Географічний аналіз донорів та реципієнтів у ланцюжку релокації показує, що найвищий показник обороту релокації у Київській міській раді та Київській області, що пов'язано з подвійною релокацією. Також варто зазначити, що, незважаючи на неспокійну ситуацію на території Харківської та Запорізької областей, вони залишаються у п'ятірці лідерів за серед реципієнтів, разом із Львівською, Закарпатською та вже згаданою Київською областями.

Таким чином, у поєднанні із місцевими передумовами вимушене переміщення виробництв привнесло свої зміни у економічну географію України, що простежується у наступних моментах: насамперед це перерозподіл галузей по території, що в майбутньому призведе до зміни спеціалізації регіонів; спостерігаємо формування нових промислових кластерів у західних і центральних регіонах України, створюючи спеціалізовані економічні зони, які приваблюють підприємства сфери послуг; спостерігається реструктуризація ланцюгів доданої вартості через інтеграцію з європейськими ланцюгами поставок для переміщених підприємств; зміна в структурі зайнятості населення, адже не всі підприємства переїжджають разом із працівниками, а тому вирішується й проблема із працевлаштуванням місцевого населення тощо. Але такі, на перший погляд, позитивні тенденції супроводжуються й негативними наслідками, окрім того, що сама по собі причина релокації є військова агресія. Це і соціально-економічні, побутові та психологічні випробування релокованих працівників, а відповідно й додаткові навантаження на соціальні служби та ринок житла, потреби в реконструкції інфраструктури, включаючи транспортні мережі, медичні заклади, ринок нерухомості, освітні заклади та логістичні системи підтримки.

Розуміючи усі проблеми та переваги, що пов'язані разом і переміщеннями підприємств на місцях приймаючих громад, управлінці почали впроваджувати заходи в напрямку модифікації підходів до територіального планування регіонів-реципієнтів. Тому локальні та регіональні плани розвитку коригуються з урахуванням потреб релокованих підприємств та їхніх працівників.

Серед першочергових заходів варто виділити зосередження зусиль спрямованих на будівництво інфраструктури в безпечніших регіонах для спрощення переміщення, включаючи промислові парки, логістичні центри та житлові комплекси. Адаптивні зональні рамки з модульною інфраструктурою можуть тимчасово приймати галузі під час криз, мінімізуючи перерви завдяки заздалегідь спланованим коридорам переміщення та підготовленим промисловим майданчикам. Нові планувальні підходи акцентують увагу на зв'язку між житловими районами, промисловими зонами та транспортними вузлами для оптимізації мобільності працівників та логістики. Для цього активно переглядають норми зонування територій громад для розміщення промислової діяльності в колишніх

житлових або сільськогосподарських районах з прискореними процесами схвалення для переміщених підприємств. Невід'ємними при розробці таких планів є впровадження ідей Сталого розвитку. Адже зусилля громад із перебудови та відновлення створюють можливості для впровадження стійких і сталих моделей розвитку, включаючи енергоефективні будівлі, виробництво відновлюваної енергії тощо. Переміщені підприємства можуть інтегрувати системи відновлюваної енергії, енергоефективні дизайни та принципи циркулярної економіки, встановлюючи стандарти сталого промислового зростання (Луцюк, 2025).

Серед інноваційних підходів у плануванні територій із врахуванням потреб релокації варто вказати формування «цифрових двійників для міського планування». Підхід моделювання розвитку громад за допомогою технології цифрових двійників дозволяє планувальникам симулювати різні сценарії переміщення та оптимізувати розвиток інфраструктури для переміщених підприємств. Таким чином можна спрогнозувати різні сценарії у перебігу подій, а за умови активного використання ГІС, забезпечити гармонійну інтеграцію переміщених підприємств і громад. Ще одним раціональним підходом при плануванні розвитку громад із можливістю прийняття релокованих підприємств є так званий «поліцентричний підхід» – розподіл переміщених підприємств по кількох менших громадах замість концентрації в одному чи декількох великих містах. Такий підхід може зменшити навантаження на інфраструктуру та створити більш збалансований регіональний розвиток. Оскільки багато релокованих підприємств після перемоги або залишаться на нових місцях, або ж разом із поверненням додому, залишать філії, цим самим зможуть зберегти новоутворені регіональні спеціалізації, радикально змінивши економічну географію України. Західний вектор релокації підприємств сприяє інтеграції з ринками, стандартами та логістичними центрами ЄС, потенційно прискорюючи європейську інтеграцію України (Луцюк, 2025).

Обговорення

Як бачимо, релокація підприємств в умовах воєнного стану є комплексним процесом, що передбачає переміщення бізнесу із врахуванням логістичних, фінансових та організаційних аспектів. Ми погоджуємося і твердженням колег, що ключовими компонентами успішної релокації буде безпека, доступність до ресурсів, вигідна інфраструктура та трудові ресурси. Саме такі позиції зумовили поглиблення регіональних диспропорцій на користь західних регіонів які демонструють зростання економічної активності населення та створення робочих місць, тоді як для східних областей фіксуємо зниження використання промислової інфраструктури. То ж географія релокації характеризується переміщенням підприємств переважно до західних областей України, що призводить до диверсифікації їх економічної структури: на сервіс припадає 32,9 %, на ІТ – 30,7 %, на переробку – 26,4 %). В той же час унікальну динаміку спостерігаємо у Києві та області, де спостерігається зростання обсягів виробництва на 102 % (Мінекономіки..., 2026).

Висновки

Очікується, що процес переміщення бізнесу в Україні продовжиться в найближчі роки, але характер цього процесу зміниться. Якщо у 2022 – 2023 роках переміщення було переважно вимушеним, то у 2025 році та надалі воно дедалі більше ставатиме інструментом стратегічного розвитку бізнесу. Підприємства використовують можливості державної та міжнародної підтримки для модернізації, розширення ринків збуту та підвищення ефективності діяльності. Тож, не дивлячись на усі негативні наслідки війни, потрібно враховувати перспективи вимушеного переміщення людей та виробництв у межах України. Навіть при розумінні того, що податки все ж йдуть до первинних бюджетів, регіони-реципієнти виграють через нові перспективи їх розвитку (відкриті робочі місця, опосередкований дохід до місцевого бюджету та високу ймовірність тощо, що в подальшому підприємство продовжить свою діяльність як вдома, так і на новому місці.

Список використаної літератури

Аналітика переїзду бізнесу в Україні. Аналіз Єдиного державного реєстру юридичних та фізичних осіб-підприємців. [Електронний ресурс]. URL: https://opendatabot.ua/analytics/business-relocation-2025 (дата звернення: 26.01.2026).

Гапак Н., Чубарь О. Реалізація програми релокації підприємств в Україні. *Геополітика України: історія і сучасність*. 2024. № 1 (32). С. 225–238. DOI: https://doi.org/10.24144/2078-1431.2024.1(32).225-238

Грантове фінансування релокованих підприємств [Електронний ресурс]. URL: https://business.diia.gov.ua/news/hrantove-finansuvannia-na-vidnovlennia-poshkodzhenykh-pidpryiemstv (дата звернення: 25.01.2026).

Економічна підтримка України USAID [Електронний ресурс]. URL: https://fscluster.org/sites/default/files/usaid_era_inclusion_dec_2021_ukr.pdf (дата звернення: 15.02.2026).

Заросило В. О., Заросило В. В., Євчук Т. В. Проблеми правового регулювання релокації підприємств. *Експерт: парадигми юридичних наук і державного управління*. 2023. № 4 (28). С. 26–33. https://doi.org/10.32689/2617-9660-2023-4(28)-26-33

Луцюк В. Вплив релокації підприємств на територіальне планування регіонів. Міждисциплінарні інтеграційні процеси у системі географічної, туризмологічної та екологічної науки: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції приуроченої 35-літтю утворення географічного факультету в Тернопільському національному педагогічному університеті імені Володимира Гнатюка (м. Тернопіль, 15-16 травня 2025 р.). Тернопіль: Вектор, 2025. С. 96–98.

Мельник М., Лещух І. Стратегічні пріоритети інтегрованого просторового розвитку на основі активізації агломераційних процесів. *Modeling the development of the economic systems*. 2024. № 1. С. 163–169. DOI: https://doi.org/10.31891/mdes/2024-11-23

Мельник Т. Ю. Особливості виходу українського бізнесу на міжнародні ринки під впливом воєнних ризиків. *Економіка, управління та адміністрування*. 2025. № 4 (110). С. 3–11. DOI: https://doi.org/10.26642/ema-2024-4(110)-3-11

Мережко В., Іванченко Г. Основні етапи формування стратегії релокації підприємства в умовах воєнного стану. *Економіка та суспільство*. 2023. № 50. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-83

Міністерство економіки України. Програма релокації підприємств. [Електронний ресурс]. URL: https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=3e766cf9-f3ca-4121-8679-e4853640a99a (дата звернення: 25.01.2026).

Рожі І. Г., Герасименко О., Грицик О. Вплив географічних факторів на розташування промислових зон та інфраструктурних об'єктів в економіці України. *Актуальні питання у сучасній науці*. 2024. № 4 (22). С. 772–786. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-2(20)-772-786

Яроменко О. В. Релокація підприємств України в умовах воєнного стану: географічний аспект. *Природнича освіта та наука*. 2024. № 2. С. 76–81. DOI: https://doi.org/10.32782/NSER/2024-2.11

Business relocation in Ukraine: where companies most often move from and to. Сайт visitukraine. [Електронний ресурс]. URL: https://visitukraine.today/blog/6930/business-relocation-in-ukraine-where-companies-most-often-move-from-and-to (дата звернення: 27.01.2026).

Olechnicka A., Kniazevych A. War-induced relocation of high-tech companies: Spatial perspectives from Ukraine and Poland. *International Entrepreneurship Review*. 2025. Vol. 11, No. 2. P. 83–103. https://doi.org/10.15678/IER.2025.1102.05

Organisation for Economic Co-operation and Development [Електронний ресурс]. URL: https://www.oecd.org (дата звернення: 11.02.2026).

Smochko N., Luzhanska T. Relocation of Ukrainian business as a tool of economic security in military state. *Social Development and Security*. 2022. Vol. 12, No. 4. P. 112–118. DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.4.10.

References

Analityka pereizdu biznesu v Ukraini. Analiz Yedynoho derzhavnoho reiestru yurydychnykh ta fizychnykh osib-pidpryiemtsiv. [Business relocation in Ukraine. Visitukraine website] [Electronic resource] URL: https://opendatabot.ua/analytics/business-relocation-2025 (access date 26.01.2026) [in Ukrainian].

Hapak, N., & Chubar, O. (2024). Realizatsiia prohramy relokatsii pidpryiemstv v Ukraini [Implementation of the enterprise relocation program in Ukraine.]. *Heopolityka Ukrainy: istoriia i suchasnist [Geopolitics of Ukraine: history and present],* 1 (32), 225–38. https://doi.org/10.24144/2078-1431.2024.1(32).225-238 [in Ukrainian].

Hrantove finansuvannia relokovanykh pidpryiemstv [Grant financing of relocated enterprises] [Electronic resource] URL: https://business.diia.gov.ua/news/hrantove-finansuvannia-na-vidnovlennia-poshkodzhenykh-pidpryiemstv (access date 25.01.2026) [in Ukrainian].

Ekonomichna pidtrymka Ukrainy USAID [Economic support for Ukraine USAID] [Electronic resource] URL: https://fscluster.org/sites/default/files/usaid_era_inclusion_dec_2021_ukr.pdf (access date 15.02.2026) [in Ukrainian].

Zarosylo, V. O., Zarosylo, V. V., & Yevchuk, T. V. (2023). Problemy pravovoho rehuliuvannia relokatsii pidpryiemstv [Problems of legal regulation of enterprise relocation] *Ekspert: paradyhmy yurydychnykh nauk i derzhavnoho upravlinnia [Expert: paradigms of legal sciences and public administration]*, 4 (28), 26–33. https://doi.org/10.32689/2617-9660-2023-4(28)-26-33 [in Ukrainian].

Lutsiuk, V. (2025, May 15–16). Vplyv relokatsii pidpryiemstv na terytorialne planuvannia rehioniv [The influence of enterprise relocation on the territorial planning of regions]. In *Mizhdystsyplinarni intehratsiini protsesy u systemi heohrafichnoi, turyzmolohichnoi ta ekolohichnoi nauky: materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii.* Tenopil. pp. 96–98. [in Ukrainian].

Melnyk, M., & Leshchukh, I. (2024). Stratehichni priorytety intehrovanoho prostorovoho rozvytku na osnovi aktyvizatsii ahlomeratsiinykh protsesiv. [Strategic priorities of integrated spatial development based on the activation of agglomeration processes.] *Modeling the development of the economic systems,* (1), 163–169. DOI: https://doi.org/10.31891/mdes/2024-11-23 [In Ukrainian].

Melnyk, T. Yu. (2025). Osoblyvosti vykhodu ukrainskoho biznesu na mizhnarodni rynky pid vplyvom voiennykh ryzykiv [Peculiarities of Ukrainian business entering international markets under the influence of military risks] *Ekonomika, upravlinnia ta administruvannia [Economics, Management and Administration]*, 4(110), 3–11. DOI: https://doi.org/10.26642/ema-2024-4(110)-3-11 [In Ukrainian].

Merezhko, V., & Ivanchenko, H. (2023). Osnovni etapy formuvannia stratehii relokatsii pidpryiemstva v umovakh voiennoho stanu [The main stages of forming a strategy for the relocation of an enterprise under martial law]. *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and society]*, (50). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-83 [In Ukrainian].

Ministerstvo ekonomiky Ukrainy. Prohrama relokatsii pidpryiemstv. [Ministry of Economy of Ukraine. Enterprise Relocation Program] [Electronic resource] URL: https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=3e766cf9-f3ca-4121-8679-e4853640a99a (access date 25.01.2026) [in Ukrainian].

Rozhi, I. H., Herasymenko, O., & Hrytsyk, O. (2024). Vplyv heohrafichnykh faktoriv na roztashuvannia promyslovykh zon ta infrastrukturnykh obiektiv v ekonomitsi Ukrainy [The influence of geographical factors on the location of industrial zones and infrastructure facilities in the economy of Ukraine]. *Aktualni pytannia u suchasnii nautsi [Current issues in modern science]*. № 4 (22), 772–786. DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-2(20)-772-786 [In Ukrainian].

Yaromenko, O. V. (2024). Relokatsiia pidpryiemstv Ukrainy v umovakh voiennoho stanu: heohrafichnyi aspekt [Relocation of Ukrainian enterprises under martial law: geographical aspect]. *Pryrodnycha osvita ta nauka [Natural Education and Science]*, (2), 7–81. DOI: https://doi.org/10.32782/NSER/2024-2.11 [In Ukrainian].

Business relocation in Ukraine: where companies most often move from and to. Sait visitukraine. [Electronic resource] URL: https://visitukraine.today/blog/6930/business-relocation-in-ukraine-where-companies-most-often-move-from-and-to (access date 27.01.2026) [in Ukrainian].

Olechnicka, A., & Kniazevych, A. (2025). War-induced relocation of high-tech companies: Spatial perspectives from Ukraine and Poland. *International Entrepreneurship Review*, *11*(2), 8–103. https://doi.org/10.15678/IER.2025.1102.05 [in English].

Organisation for Economic Co-operation and Development [Electronic resource]. URL: https://www.oecd.org (access date 11.02.2026) [in English].

Smochko, N., & Luzhanska, T. (2022). Relocation of Ukrainian business as a tool of economic security in military state. *Social Development and Security*, *12*(4), 112–118. DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.4.10 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 31.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 528.9:908
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.6

ГЕОГРАФІЧНІ ЦЕНТРИ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД САРНЕНСЬКОГО РАЙОНУ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЯК ТУРИСТИЧНІ АТРАКЦІЇ

С. М. Остапчук[1], А. В. Прокопчук[2], О. П. Остапчук[3]

Географічні центри територій є важливими просторовими орієнтирами, які можуть виконувати низку функцій, зокрема туристично-краєзнавчу, культурно-об'єднавчу та природничо-пізнавальну. У роботі на основі науково обґрунтованого методу визначення центру ваги площинної фігури обчислено координати географічних центрів 11 територіальних громад Сарненського району Рівненської області. Вихідними даними для дослідження слугували оцифровані адміністративні межі громад у масштабі 1:10 000, оброблені із застосуванням програмних середовищ Digitals та AutoCad. Загальна кількість оцифрованих точок всієї території становила більше 10 тисяч. З метою забезпечення коректності і зручності використання отриманих результатів, координати географічних центрів (широти і довготи) подано у двох системах відліку – СК-42 та WGS-84. Зазначено також назви найближчих до отриманих локацій населених пунктів чи озер. Визначено середню квадратичну похибку положення географічних центрів, яка становить 7,1 м у натурі. Побудовано картосхему просторового розміщення обчислених центрів.

Порівняльний аналіз знайдених координат географічних центрів із результатами, які були отримані за даними серверу OpenStreetMap після опрацювання у середовищі QGIS, засвідчив їх високу точність (вона виявилася кращою більш ніж на порядок).

Створення пам'ятних знаків у визначених авторами точках розташування географічних центрів територіальних громад Сарненського району сприятиме популяризації цих територій, активізації культурно-освітніх процесів, посиленню патріотичного виховання як молоді, так і дорослого населення, а також стимулюватиме розвиток місцевої економіки.

[1] кандидат технічних наук,
доцент кафедри геодезії та картографії
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)
e-mail: s.m.ostapchuk@nuwm.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4493-1144

[2] старший викладач кафедри геодезії та картографії
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)
e-mail: a.v.prokopchuk@nuwm.edu.ua
ORCID: 0000-0001-8978-7476

[3] кандидат технічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)
e-mail: o.p.ostapchuk@nuwm.edu.ua
ORCID: 0000-0003-4774-3605

Зазначено, що запропонований підхід може бути використаний для визначення географічних центрів територіальних громад інших адміністративних одиниць.

Ключові слова: *центри територій, картографічні матеріали, координати, СК-42, WGS-84, туризм, громади.*

GEOGRAPHICAL CENTERS OF TERRITORIAL COMMUNITIES IN THE SARNY DISTRICT OF THE RIVNE REGION AS TOURIST ATTRACTIONS

S. M. Ostapchuk, A. V. Prokopchuk, O. P. Ostapchuk

Geographical centers of territories are important spatial landmarks that can perform a number of functions, including tourism and local history, cultural unification, and natural and educational. In this work, based on a scientifically sound method for determining the center of gravity of a plane figure, the coordinates of the geographic centers of 11 territorial communities in the Sarny district of the Rivne region were calculated. The study was based on digitized administrative boundaries of communities at a scale of 1:10,000, processed using the Digitals and AutoCAD software environments. The total number of digitized points across the entire territory exceeded 10,000. In order to ensure the accuracy and usability of the results, the coordinates of the geographic centers (latitude and longitude) are provided in two coordinate systems: URS-42 and WGS-84. The names of the nearest towns or lakes to the locations in question are also listed. The root mean square error in the position of the geographic centers was determined to be 7.1 m in the field. A map showing the spatial distribution of the calculated centers was constructed.

A comparative analysis of the coordinates of the geographical centers identified in this study with the results obtained from the OpenStreetMap server after processing in QGIS confirmed their high accuracy (which turned out to be more than an order of magnitude better).

The installation of commemorative markers at locations identified by the authors as the geographical centers of the territorial communities in the Sarny district will help promote these areas, revitalize cultural and educational initiatives, strengthen patriotic education among both young people and adults, and stimulate the development of the local economy.

It is noted that the proposed approach can be used to determine the geographical centers of territorial communities of other administrative units.

Key words: *territorial centers, cartographic materials, coordinates, SK-42, WGS-84, tourism, communities.*

Вступ

Географічні центри територій належать до базових просторових характеристик, поряд із показниками площі, протяжності меж, координат крайніх точок, абсолютних висот та іншими параметрами, які формують цілісне уявлення про географічне положення, конфігурацію та просторову організацію певної території. Їх визначення дає змогу конкретизувати та глибше зрозуміти особливості територіальної структури й просторових відношень. Географічні центри виконують важливі функції (Карпінський та ін., 2002; Шевченко, 2006; Остапчук і Німкович, 2017), серед яких доцільно виокремити наступні:

– туристично-краєзнавчі – як перспективні об'єкти для включення до туристичних маршрутів та екскурсійних програм;

– об'єднавчо-виховні – як елементи культурно-освітнього простору, що сприяють патріотичному вихованню, соціальній згуртованості та належній комунікації між поколіннями;

– природничо-пізнавальні – як об'єкти, що відображають характерні фізико-географічні властивості території.

З огляду на це, географічні центри різноманітних територіальних утворень (материків, островів, держав, їх різного рівня адміністративних одиниць) доцільно розглядати як стабільні та унікальні опорні точки простору. Відповідно, такі місця можуть і повинні бути закріплені в натурі шляхом облаштування спеціальних пам'ятних знаків або інформаційних стендів.

Насправді в практиці визначення географічних центрів досить часто виникають суттєві розбіжності, прикладів чого існує надзвичайно багато.

Показовим у цьому сенсі є питання встановлення географічного центру Європи (Шевченко, 2006; Остапчук, 2018). Цілком логічно, що такий центр мав би бути єди-

ною, загальновизнаною точкою, визначеною не довільно, а на основі чітких і усталених у науковому середовищі методичних підходів. Проте на практиці кількість задекларованих «центрів Європи» перевищує дві сотні, і в багатьох із цих місць встановлено символічні пам'ятні знаки.

Таким чином, центр Європи фактично перетворився на «рухому» точку, що змінює своє положення у досить широких просторових межах. Дискусії щодо його локалізації зумовлені використанням різних методів обчислення, відмінностями у вихідних даних, точності розрахунків та ін. (Гудзевич і Ільїн, 2024). Очевидним виглядає, що переважна більшість із понад двохсот «центрів» не має належного наукового обґрунтування, а їх поява здебільшого продиктована політичними або комерційно-туристичними мотивами. Така ситуація є цілком закономірною, зважаючи на прагнення використати подібні об'єкти як чинник економічної привабливості територій.

Схожа проблема, на жаль, характерна і для визначення географічного центру України (Карпінський та ін., 2002; Шевченко, 2006; Кисельов та ін., 2021). У наукових та публіцистичних джерелах наводяться різні варіанти його розташування, які віддалені між собою на десятки кілометрів.

Стійка зацікавленість простежується і щодо визначення географічних центрів територіальних утворень нижчого адміністративного рівня, що підтверджується науковими публікаціями (Джаман та ін., 2010; Лажнік і Пугач, 2017; Остапчук і Німкович, 2017). Така тенденція є закономірною, адже всі без винятку адміністративно-територіальні утворення орієнтовані на зміцнення власної фінансової бази (Калмикова, 2021; Леміш та ін., 2022; Джаман та ін., 2023; Остапенко та ін., 2023). У зв'язку з цим, розвиток туристичної інфраструктури має здійснюватися комплексно та охоплювати різні напрями. Поряд із уже традиційними об'єктами рекреації (відпочинковими комплексами, садибами сільського зеленого туризму, спеціально облаштованими зонами для пікніків і риболовлі, наявними пам'ятками історії, архітектури й природи) доцільно залучати й нові, оригінальні атракції, зокрема географічні центри відповідних територій.

Важливим є також інформаційне представлення таких об'єктів: офіційні вебресурси адміністративно-територіальних утворень доцільно наповнювати фотоматеріалами пам'ятних знаків географічних центрів із точно визначеними координатами їх розташування. За умов сучасного рівня поширення мобільних пристроїв і наявності базових навігаційно-картографічних навичок у населення це створює можливості для самостійного планування та здійснення подорожей до подібних місць.

Наявність таких туристичних атракцій, окрім реалізації окреслених вище пізнавальних, виховних і культурних функцій, сприятиме також економічному розвитку громад, оскільки відвідувачі користуватимуться місцевими торговельними, сервісними та транспортними послугами, купуватимуть продукцію, сувеніри, пальне, а за наявності відповідної інфраструктури – користуватимуться закладами тимчасового розміщення.

Методологічні засади розвитку туризму на регіональному рівні, значення територіальних громад у процесах його планування та необхідність комплексного вирішення супутніх організаційних і соціально-економічних питань висвітлюються в численних наукових працях (Перспективи, 2016; Бейдик та ін., 2019; Ляшенко і Копер, 2023; Sari et al., 2023; Ачкасов та ін., 2024; Тищук і Ільїна, 2024).

Метою дослідження є визначення точних координат географічних центрів територіальних громад Сарненського району Рівненської області та відображення особливостей їх просторового розташування засобами картографічного моделювання. Загальна площа району – 6 212,7 км^2, населення – 212,7 тис. осіб, населених пунктів – 168, територіальних громад – 11.

Матеріал і методи

Для обчислення координат географічних центрів застосовано метод визначення центру ваги плоскої фігури, який є загальноприйнятим у науковій практиці та забезпечує найвищу точність кінцевих результатів. Вихідною інформаційною основою слугували оцифровані межі територіальних громад у масштабі 1:10 000, створені в програмному середовищі Digitals. Кількість вершин векторних контурів визначалася площею та ступенем криволінійності меж кожної громади; сумарно для всієї території району було використано понад 10 тисяч точок. З огляду на те, що у середовищі Digitals реалізується пошук геометричного центру замкненої фігури, який не завжди відповідає центру мас, сформовані векторні шари були експортовані до AutoCAD, де процедура визначення центру ваги виконується коректно.

Результати та їх обговорення

Відповідно до описаного алгоритму було обчислено координати (широти та довготи) географічних центрів усіх 11 територіальних громад Сарненського району, які наведено в табл. 1.

Враховуючи, що більшість сучасних інтернет-картографічних ресурсів використовує світову геодезичну систему координат WGS-84 (має за основу загальноземний еліпсоїд з відповідними параметрами – так званим датумом), тоді як вітчизняні великомасштабні паперові топографічні карти укладені в СК-42 (системі координат 1942 р., де за основу взято референц-еліпсоїд Красовського), то з метою уникнення непорозумінь та забезпечення можливості роботи як з мобільними навігаційними засобами, так і з традиційними картографічними матеріалами, координати географічних центрів подано в обох системах відліку. Для покращення сприйняття інформації наведено також назви об'єктів (населених пунктів чи озер), які найближче знаходяться до кожного географічного центру. Середню квадратичну похибку визначення положення географічних центрів за картами масштабу 1:10 000 обчислено на рівні 0,71 мм, що відповідає приблизно 7,1 м на місцевості.

На рис. 1 подано картосхему Сарненського району із відображенням сітки меридіанів та паралелей, меж територіальних громад і їх географічних центрів, нумерація яких відповідає порядковим номерам, наведеним у табл. 1.

Координати цих самих центрів було також отримано альтернативним, більш оперативним і менш затратним за трудомісткістю методом, а саме: із використанням загальнодоступної бази геопросторових даних – адміністративних меж, завантажених із сервера OpenStreetMap та опрацьованих у середовищі настільної, багатофункціональної, відкритої для користувачів геоінформаційної системи QGIS.

Порівняльний аналіз одержаних у такий спосіб результатів із координатами СК-42 та WGS-84, наведеними в табл. 1, засвідчив наявність відхилень: за широтою – до 3,3″, за довготою – до 8,4″, що в лінійному вимірі відповідає приблизно 102,0 м та 167,3 м. З огляду на сучасні вимоги до точності картографічних досліджень, такі розбіжності, на нашу думку, слід вважати надто великими навіть для використання з туристичною метою.

Висновки

У роботі обґрунтовано актуальність і практичну доцільність визначення та подальшого використання географічних центрів територіальних громад у туристичних цілях. На основі найдетальніших на сьогодні картографічних матеріалів масштабу 1:10 000 із застосуванням програмних продуктів Digitals та AutoCAD уперше розраховано координати географічних центрів територіальних громад Сарненського району Рівненської області. З метою забезпечення зручності практичного застосування результати подано у двох системах координат – СК-42 та WGS-84. Проведений аналіз доступних авторам наукових джерел

Таблиця 1

Координати географічних центрів територіальних громад Сарненського району

№ п/п	Назва громади	СК-42		WGS-84		Найближчий населений пункт чи озеро
		широта	довгота	широта	довгота	
1	Березівська	51°32'52,5"	27°26'23,8"	51°32'52,1"	27°26'16,7"	с. Глинне
2	Вирівська	51°13'58,8"	26°52'42,5"	51°13'58,4"	26°52'35,5"	с. Олексіївка
3	Висоцька	51°44'19,3"	26°34'19,3"	51°44'18,8"	26°34'12,2"	с. Вербівка
4	Дубровицька	51°34'40,1"	26°34'21,7"	51°34'39,6"	26°34'14,6"	м. Дубровиця
5	Клесівська	51°23'45,7"	26°51'43,6"	51°23'45,2"	26°51'36,5"	оз. Сомине
6	Миляцька	51°42'28,2"	26°54'43,9"	51°42'27,8"	26°54'36,8"	с. Жадень
7	Немовицька	51°12'16,8"	26°40'29,5"	51°12'16,3"	26°40'22,5"	с. Зносичі
8	Рокитнівська	51°18'01,7"	27°14'02,9"	51°18'01,2"	27°13'55,9"	с. Рокитне
9	Сарненська	51°19'14,5"	26°28'15,2"	51°19'14,0"	26°28'08,1"	с. Чемерне
10	Старосільська	51°37'29,3"	27°06'21,2"	51°37'28,9"	27°06'14,1"	с. Старе Село
11	Степанська	51°07'26,9"	26°23'21,1"	51°07'26,4"	26°23'14,0"	с. Волоша

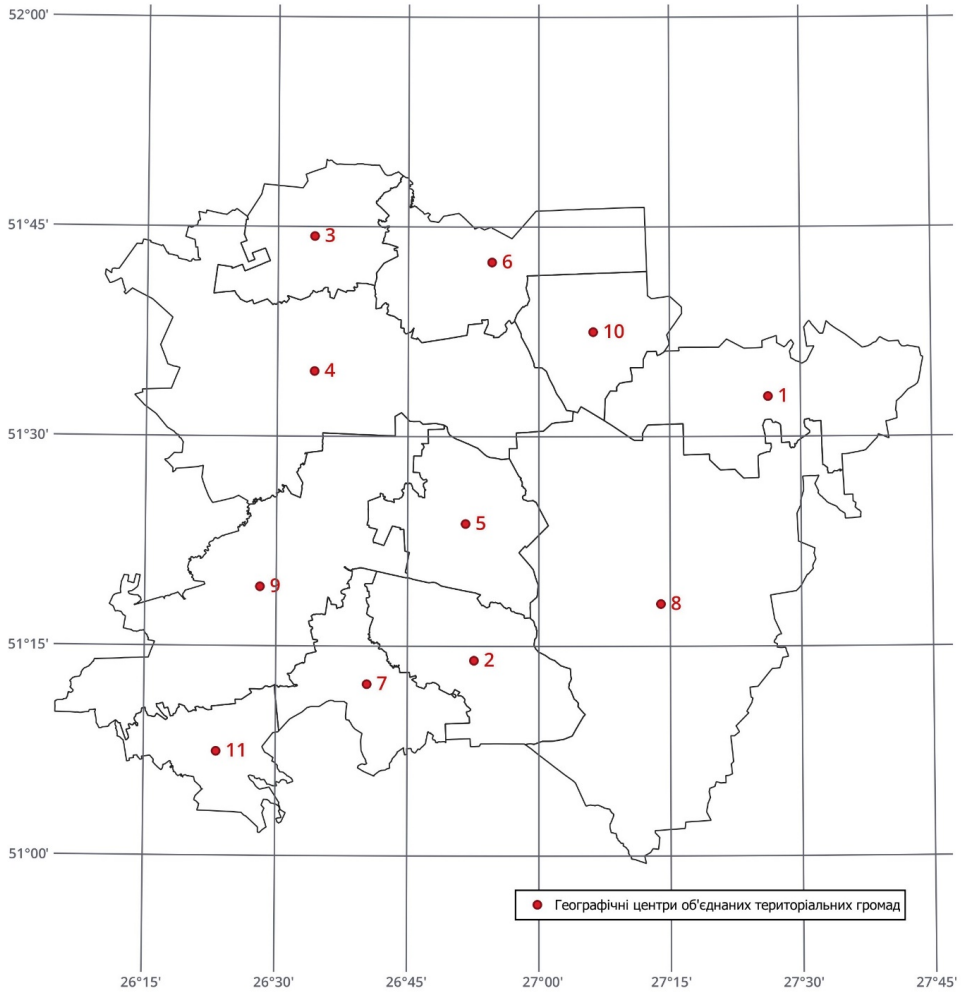


Рис. 1. Положення географічних центрів територіальних громад Сарненського району

засвідчив, що в аналогічних дослідженнях раніше не досягалося такого рівня точності визначення координат (7,1 м).

Порівняння одержаних результатів із координатами, обчисленими із залученням відкритої геоінформаційної бази OpenStreetMap та програмного забезпечення QGIS, показало істотно нижчу точність альтернативного підходу (102,0-167,3 м).

Створення у визначених локаціях пам'ятних знаків географічних центрів територіальних громад Сарненського району сприятиме популяризації цих територій, розвитку культурно-освітнього середовища, посиленню патріотичного виховання населення різних вікових груп, а також активізації місцевої економічної діяльності.

Запропоновану методику доцільно використовувати і для визначення та закріплення на місцевості географічних центрів територіальних громад інших адміністративних районів та областей.

Трансформація споживчих переваг у сфері туризму – від рекреаційно-розважальних до тематично-пізнавальних – зумовлює актуальність використання географічних центрів як перспективного туристичного ресурсу. Розгалужена мережа потенційних локацій та маршрутів створює належне підґрунтя для розвитку цього напряму.

Список використаної літератури

Ачкасов А., Попович Н., Пересадько В., Гордезіані Т. Геоінформаційне забезпечення геопорталів територіальних громад: довоєнні реалії й післявоєнні перспективи. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2024. №60. С. 124–136. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-09

Бейдик О.О., Топалова О.І., Прохорова Л.А. Трансформація регіонального туризму за умов децентралізації (на прикладі Запорізької області). *Український географічний журнал.* 2019. №3(107). С. 37–42. https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.037

Гудзевич А., Ільїн Л. Картографічне відображення меж Європи як спосіб вирішення проблеми уніфікації й ідентифікації частини світу. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки.* 2024. №4. С. 7–21. https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.01

Джаман В.О., Джаман Я.В., Чаплінський П. Розвиток етнічного туризму в поліетнічному просторі (на прикладі Чернівців). *Український географічний журнал.* 2023. №1(121). С. 35–45. https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.035

Джаман В.О., Заячук М.Д., Заячук О.Г. Визначення географічного центру території та оцінка транспортно-географічного положення адміністративних центрів Чернівецької області. *Науковий вісник Чернівецького університету: географія.* 2010. Вип. 527. С. 95–100.

Калмикова І.С. Сільський туризм в стратегічному плануванні сталого розвитку сільських територій. *Food Industry Economics.* 2021. Т. 13(2). С. 112–122. https://doi.org/10.15673/fie.v13i2.2047

Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Дьогтяр А.М. Визначення географічного центру України. *Вісник геодезії та картографії.* 2002. №1(24). С. 29–33.

Кисельов Ю., Шемякін М., Боровик П., Кононенко С., Мельник М. Проблема визначення геодезичного центру України в контексті еволюції центрографічних досліджень. *Геодезія, картографія і аерофотознімання.* 2021. №93. С. 42–47. https://doi.org/10.23939/istcgcap2021.93.042

Лажнік В., Пугач С. Просторовий аналіз структури центральних місць адміністративних районів Волинської області з використанням центрографічного методу. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки: географічні науки.* 2017. Вип. 9(358). С. 39–46.

Леміш К., Бондаренко Л., Швачко В. Стратегічний розвиток територіальних громад: роль зеленого туризму. *Економіка та суспільство.* 2022. №44. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-22

Ляшенко Д.О., Копер Н.Є. Концептуальне моделювання для завдань геоінформаційного забезпечення екологічного туризму. *Український географічний журнал.* 2023. №1(121). С. 67–73. https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.067

Остапенко П.О., Мальчикова Д.С., Пилипенко І.О., Мельничук А.Л., Остапенко С.О. Проєкт «Геоінформаційний портал Херсонської області»: ініціативи громадянського суспільства з підтримки регіонального розвитку. *Український географічний журнал.* 2023. №1(121). С. 54–66. https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.054

Остапчук С. Географічні центри Європи як тематичні туристичні локації. *Науковий вісник Чернівецького університету: географія.* 2018. Вип. 803. С. 52–57.

Остапчук С.М., Німкович Р.С. Визначення географічного центру території (на прикладі Рівненської області та її адміністративних районів). *Вісник НУВГП: технічні науки.* 2017. Вип. 4(80). С. 178–185.

Перспективи розвитку сільського та екологічного туризму в Україні / за заг. ред. М.Х. Шершуна. Рівне: Видавець Олег Зень, 2016. 264 с.

Тищук І., Ільїна О. Стратегія розвитку сільського зеленого туризму в Україні. *Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки.* 2024. №4. С. 84–93. https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.09

Шевченко В.О. Центризм та центричність в географії. Київ: Ніка-Центр, 2006. 156 с.

Sari C., Sehida K., Çakir G., Telebienieva I. Features of the local community involvement in the social tourism development (case study – Serik district, Antalya, Turkey). *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2023. 59. Pp. 221–236. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-16

References

Achkasov, A., Popovich, N., Peresadko, V., & Gordeziani T. (2024). Heoinformatsiine zabezpechennia heoportaliv terytorialnykh hromad: dovoienni realii y pisliavoienni perspektyvy [Geoinformation support for geoportals of territorial communities: pre-war realities and post-war prospects]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia» [Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series*

"Geology. Geography. Ecology"], 60, 124–136. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-09 [in Ukrainian].

Beidyk, O.O., Topalova, O.I., & Prokhorova, L.A. (2019). Transformatsiia rehionalnoho turyzmu za umov detsentralizatsii (na prykladi Zaporizkoi oblasti) [Transformation of regional tourism under decentralization (based on the example of Zaporizhzhia region)]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal],* 3(107), 37–42. https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.037 [in Ukrainian].

Gudzevich, A., & Ilyin, L. (2024). Kartohrafichne vidobrazhennia mezh Yevropy yak sposib vyrishennia problemy unifikatsii y identyfikatsii chastyny svitu [Cartographic representation of Europe's borders as a way to solve the problem of unification and identification of a part of the world]. *Heohrafichnyi chasopys Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical Journal of Lesya Ukrainka Volyn National University],* 4, 7–21. https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.01 [in Ukrainian].

Dzhman, V.O., Dzhman, Y.V., & Chaplinsky, P. (2023). Rozvytok etnichnoho turyzmu v polietnichnomu prostori (na prykladi Chernivtsiv) [Development of ethnic tourism in a multi-ethnic space (based on the example of Chernivtsi)]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal],* 1(121), 35–45. https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.035 [in Ukrainian].

Dzhaman, V.O., Zayachuk, M.D., & Zayachuk, O.G. (2010). Vyznachennia heohrafichnoho tsentru terytorii ta otsinka transportno-heohrafichnoho polozhennia administratyvnykh tsentriv Chernivetskoi oblasti [Determination of the geographical center of the territory and assessment of the transport and geographical location of administrative centers in the Chernivtsi region]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu: heohrafiia [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography],* 527, 95–100 [in Ukrainian].

Kalmykova, I.S. (2021). Silskyi turyzm v stratehichnomu planuvanni staloho rozvytku silskykh terytorii [Rural tourism in strategic planning for sustainable development of rural areas]. *Food Industry Economics,* 13(2), 112–122. https://doi.org/10.15673/fie.v13i2.2047 [in Ukrainian].

Karpinsky, Yu.O., Lyashchenko, A.A., & Dyogtyar, A.M. (2002). Vyznachennia heohrafichnoho tsentru Ukrainy [Determination of the geographical center of Ukraine]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii [Bulletin of Geodesy and Cartography],* 1(24), 29–33 [in Ukrainian].

Kiselev, Yu., Shemyakin, M., Borovik, P., Kononenko, S., & Melnik, M. (2021). Problema vyznachennia heodezychnoho tsentru Ukrainy v konteksti evoliutsii tsentrohrafichnykh doslidzhen [The problem of determining the geodetic center of Ukraine in the context of the evolution of centroidal studies]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia [Geodesy, cartography, and aerial photography],* 93, 42–47. https://doi.org/10.23939/istcgcap2021.93.042 [in Ukrainian].

Lazhnik, V., & Pugach, S. (2017). Prostorovyi analiz struktury tsentralnykh mists administratyvnykh raioniv Volynskoi oblasti z vykorystanniam tsentrohrafichnoho metodu [Spatial analysis of the structure of central places in administrative districts of Volyn Oblast using the centroid method]. *Naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky: heohrafichni nauky [Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University: Geographical Sciences],* 9(358), 39–46 [in Ukrainian].

Lemish, K., Bondarenko, L., & Shvachko, V. (2022). Stratehichnyi rozvytok terytorialnykh hromad: rol zelenoho turyzmu [Strategic development of territorial communities: the role of green tourism]. *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and Society],* 44. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-22 [in Ukrainian].

Lyashenko, D.O., & Koper, N.E. (2023). Kontseptualne modeliuvannia dlia zavdan heoinformatsiinoho zabezpechennia ekolohichnoho turyzmu [Conceptual modeling for geoinformation support tasks in ecological tourism]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal],* 1(121), 67–73. https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.067 [in Ukrainian].

Ostanpenko, P.O., Malchikova, D.S., Pylypenko, I.O., Melnychuk, A.L., & Ostanpenko S.O. (2023). Proiekt «Heoinformatsiinyi portal Khersonskoi oblasti»: initsiatyvy hromadianskoho suspilstva z pidtrymky rehionalnoho rozvytku [Project "Geoinformation Portal of Kherson Region": Civil Society Initiatives to Support Regional Development]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal],* 1(121), 54–66. https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.054 [in Ukrainian].

Ostapchuk, S. (2018). Heohrafichni tsentry Yevropy yak tematychni turystychni lokatsii [Geographical centers of Europe as thematic tourist locations]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu: heohrafiia [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography],* 803, 52–57 [in Ukrainian].

Ostapchuk, S.M., & Nimkovich, R.S. (2017). Vyznachennia heohrafichnoho tsentru terytorii (na prykladi Rivnenskoi oblasti ta yii administratyvnykh raioniv) [Determination of the geographical center of the territory (on the example of Rivne region and its administrative districts)]. *Visnyk NUVHP: tekhnichni nauky [Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering: Technical Sciences],* 4(80), 178–185 [in Ukrainian].

Shershun, M.H. (2016). Perspektyvy rozvytku silskoho ta ekolohichnoho turyzmu v Ukraini [Prospects for the development of rural and ecological tourism in Ukraine]. Rivne: Publisher Oleg Zen, 264 [in Ukrainian].

Tyshchuk, I., & Ilyina, O. (2024). Stratehiia rozvytku silskoho zelenoho turyzmu v Ukraini [Strategy for the development of rural green tourism in Ukraine]. *Heohrafichnyi chasopys Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky [Geographical Journal of Lesya Ukrainka Volyn National University],* 4, 84–93. https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.09 [in Ukrainian].

Shevchenko, V.O. (2006). Tsentryzm ta tsentrychnist v heohrafii [Centrism and Centricity in Geography]. Kyiv: Nika-Center, 156 [in Ukrainian].

Sari, C., Sehida, K., Çakir, G., & Telebienieva I. (2023). Features of the local community involvement in the social tourism development (case study – Serik district, Antalya, Turkey). *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina, seriia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»* [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology] 59, 221–236. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-16 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 21.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 556.53:556.5
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.7

ОЦІНКА ВОДНОГО РЕЖИМУ РІЧКИ СІРЕТ ТА ЇЇ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

О. В. Паланичко[1], О. О. Катринін[2]

Досліджено водний режим річки Сірет до м. Сторожинець з метою оцінки його особливостей та значення для управління водними ресурсами. Річка Сірет, притока Дунаю, є транскордонним водотоком. Вона характеризується складними умовами формування стоку, змішаним живлення та значною сезонною нерівномірністю водності. Використано багаторічні дані гідрологічних спостережень (1971–2020 рр.) із гідропоста, що розташований у місті Сторожинець. Було здійснено аналіз середньорічних та середньомісячних витрат води, оцінку багаторічної мінливості стоку, екстремальних витрат і сезонних закономірностей водного режиму. Для визначення багатоводних та маловодних періодів застосовано різницеві інтегральні криві модульних коефіцієнтів, а для просторового аналізу – геоінформаційні методи. Встановлено переважання весняного водопілля, літні зливові паводки та виражену багаторічну мінливість водності, включаючи маловодні періоди (1971–1980, 1986–2001 рр.) і тривалий багатоводний період (2001–2016 рр.). Результати дослідження дозволяють оцінити водозабезпеченість територій, прогнозувати можливі дефіцити водних ресурсів і визначити напрями управління річкою Сірет, включаючи регулювання стоку, удосконалення систем водовідведення та раціональне використання водозбірних територій. Поєднання статистичних та геоінформаційних методів забезпечує комплексну оцінку водного режиму та формує науково обґрунтовану основу для водогосподарського планування, охорони водних ресурсів та зменшення паводкових ризиків у межах басейну річки Сірет. Отримані результати мають практичне значення для ефективного управління водними ресурсами та розробки водоохоронних заходів у транскордонному басейні.

Ключові слова: *гідрографічна мережа, річковий стік, середньорічні та середньомісячні витрати води, водний баланс, гідрологічні розрахунки, гідрологічні небезпеки, ГІС-технології, водогосподарське планування.*

[1] кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: o.palanychko@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4407-4218
[2] провідний гідролог відділу ведення водного кадастру та моніторингу вод
(Басейнове управління водних ресурсів річок Прут і Сірет, м. Чернівці)
e-mail: oleksan.ok3@gmail.com
ORCID: 0009-0005-0319-5370

ASSESSMENT OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE SIRET RIVER AND ITS SIGNIFICANCE FOR WATER RESOURCES MANAGEMENT

O. V. Palanychko, O. O. Katrynin

The hydrological regime of the Siret River up to the city of Storozhynets was studied to assess its characteristics and significance for water resources management. The Siret River, a tributary of the Danube, is a transboundary watercourse. It is characterized by complex runoff formation conditions, mixed feeding, and significant seasonal variability of water flow. Long-term hydrological observation data (1971–2020) from the hydrological station in Storozhynets were used. Analysis of annual and monthly water discharges, assessment of long-term runoff variability, extreme discharges, and seasonal patterns of the hydrological regime were conducted. Differential integral curves of module coefficients were applied to determine high- and low-water periods, while GIS methods were used for spatial analysis. Spring flood predominance, summer rain floods, and pronounced long-term variability of water flow were identified, including low-water periods (1971–1980, 1986–2001) and a prolonged high-water period (2001–2016). The results allow for the assessment of regional water availability, forecasting potential water deficits, and determining directions for managing the Siret River, including flow regulation, improvement of drainage systems, and rational use of catchment areas. The combination of statistical and GIS methods provides a comprehensive assessment of the hydrological regime and forms a scientifically grounded basis for water management planning, water resource protection, and reduction of flood risks within the Siret River basin. The results have practical significance for effective water resources management and the development of water protection measures in the transboundary basin.

Key words: *hydrographic network, river runoff, average annual and average monthly water flows, water balance, hydrological calculations, hydrological hazards, GIS technologies, water management planning.*

Вступ

Управління водними ресурсами є одним із основних завдань сталого розвитку територій, особливо в умовах сучасних кліматичних змін, зростання антропогенного навантаження та трансформації природних ландшафтів. Адже відомо, що зміни річкового стоку, частота та інтенсивність паводків, а також тривалість меженних періодів впливають на водну безпеку та ефективність водогосподарської діяльності. Водний режим річок відображає просторово-часову мінливість гідрологічних процесів і визначає умови формування водних ресурсів, їхнє використання та відтворення. Його оцінка є необхідною передумовою для прогнозування небезпечних гідрологічних явищ, обґрунтування водогосподарських заходів та прийняття управлінських рішень у сфері водокористування. Варто зазначити, що важливу роль у дослідженні водного режиму відіграє аналіз гідрологічних характеристик стоку. Це дозволяє кількісно оцінити його динаміку, виявити закономірності змін та визначити рівень водозабезпеченості певної територій. Отримані результати є основою для оцінки сучасного стану водних об'єктів і визначення тенденцій їхнього розвитку. Разом із тим, сучасні дослідження водного режиму річок на окремих водозборах можуть бути ускладнені у зв'язку із недостатністю гідрометеорологічних спостережень. Відповідно виникає необхідність комплексного підходу до аналізу гідрологічної інформації із врахуванням впливу природних та антропогенних чинників.

Актуальним є дослідження водного режиму річки Сірет, яка належить до транскордонних водотоків. Вона характеризується складними умовами формування стоку. Аналіз гідрологічних особливостей Сірету дозволяє оцінити сучасний стан водних ресурсів та визначити їх значення для забезпечення сталого водокористування.

Метою дослідження є оцінка водного режиму річки Сірет та визначення його значення для управління водними ресурсами.

Об'єктом нашого дослідження є річка Сірет до міста Сторожинець, а предметом – просторово-часові особливості водного режиму річки Сірет та їхнє значення для управління водними ресурсами.

Попередні дослідження водного режиму річок показують значний розвиток методів гідрологічних розрахунків і оцінки характеристик стоку. Класичні підходи ґрунтувалися на статистичному аналізі гідрологічних рядів і розрахунку максимального та мінімального стоку (Вишневський, 2000; Вишневський і Косовець, 2003; Гопченко та ін., 2014). Подальший розвиток методів прикладної гідрології відображено у працях В. Гребеня, що

охоплюють сучасний водний режим річок, гідролого-гідрохімічне районування та водогосподарське планування (Гребінь, 2010; Гребінь, 2013). Значну увагу приділено довгостроковому прогнозуванню характеристик максимального стоку та весняного водопілля (Гопченко та ін., 2014), а також багаторічним змінам водного режиму річок України (Вишневський і Куций, 2022).

Регіональні дослідження в межах Українських Карпат розкривають особливості формування стоку та паводків. У працях М. Кирилюка проаналізовано водний баланс, якісний стан водних ресурсів та історичні затоплення (Кирилюк, 2001), а методи оцінки просторової синхронності та багаторічних коливань водності розроблено О. Лук'янець (Лук'янець, 2015; Лук'янець і Коноваленко, 2016) та М. Сусідко (Сусідко і Лук'янець, 1998; Сусідко, 1999). Їхні дослідження було узагальнено у праці про районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки, (Сусідко і Лук'янець, 2004). Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України розкрито О. Лук'янець та співавторів (Лук'янець та ін., 2021). Методи оцінки середнього річного стоку та його територіального розподілу описані в роботах О. Ободовського та співавторів (Ободовський та ін., 2016). Сучасні дослідження внутрішньорічного розподілу стоку річок України підкреслюють тенденції зміни сезонної структури водності та вплив кліматичних змін (Гребінь та ін., 2013; Горбачова, 2015).

Особливу увагу приділено водному режиму річки Сірет, що належить до транскордонних водотоків. Аналіз зміни її стоку у період глобального потепління показав трансформацію гідрологічного режиму, визначено межі природного та зміненого періоду, а також підвищення частоти та інтенсивності паводків (Ющенко та ін., 2023). Ці результати підтверджують необхідність комплексної оцінки водного режиму Сірету для ефективного управління водними ресурсами та розроблення водогосподарських заходів. Водночас сучасні дослідження гідроекологічного стану (Заячук та ін., 2024) та управління молодими річковими ландшафтами (Заячук та ін., 2025) річки Сірет розширюють уявлення про взаємозв'язок гідрологічного режиму, морфодинамічних процесів і антропогенного впливу, що підкреслює важливість інтегрованого підходу до оцінки та управління водними ресурсами.

Матеріал і методи

Для оцінки водного режиму річки Сірет нами було використано багаторічні дані гідрологічних спостережень за витратами води на річці Сірет (гідропост Сторожинець) за період 1971–2020 рр. Така тривалість ряду дозволяє простежити як сезонні особливості формування стоку, так і його багаторічну мінливість.

На початковому етапі проведено аналіз якості вихідної інформації. Зокрема здійснено перевірку рядів спостережень на повноту, однорідність та наявність пропусків. Подальше опрацювання даних здійснювалося з використанням методів статистичного аналізу, що дозволило визначити основні характеристики водного режиму.

Оцінку водного режиму річки Сірет виконано на основі аналізу середньорічних та середньомісячних витрат води. Це дало змогу встановити особливості внутрішньорічного розподілу стоку. Для виявлення довгострокових тенденцій і циклічності водності застосовано різницеві інтегральні криві модульних коефіцієнтів, за якими виділено багатоводні та маловодні періоди. Також проаналізовано екстремальні значення витрат води з метою характеристики паводкових і меженних фаз водного режиму річки Сірет в межах території дослідження.

Додатково нами було використано геоінформаційні методи для побудови басейну річки в межах території дослідження, узагальнення просторових характеристик водозбору. Це дозволило врахувати природні умови формування стоку та їхній вплив на водний режим річки Сірет.

Застосовані методи та підходи зорієнтовані на комплексну оцінку водного режиму річки Сірет і спрямовані на визначення його особливостей для управління водними ресурсами.

Результати та їх обговорення

Просторове розташування басейну річки Сірет, гідрографічної мережі та створу гідрологічних спостережень наведено на картосхемі (рис. 1), побудованій із використанням геоінформаційних технологій на основі цифрових моделей рельєфу та гідрографічних даних у середовищі QGIS.

Це дозволило нам уточнити просторові закономірності формування стоку, структуру водозбору, густоту річкової мережі та особливості її розгалуження, а також забезпечує наочне відображення територіального охоплення дослідження. Результати просторового аналізу свідчать про добре

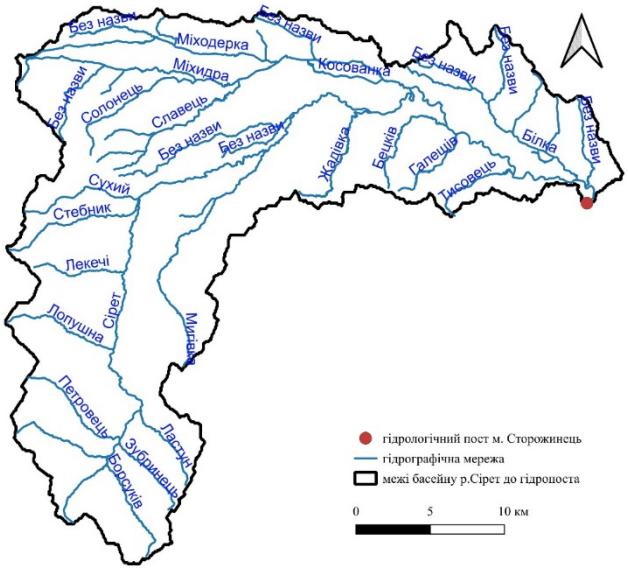


Рис. 1. Гідрографічна мережа та басейн річки Сірет до гідропоста м. Сторожинець

розвинену гідрографічну мережу. Варто зазначити, що це сприяє інтенсивному формуванню поверхневого стоку та зумовлює підвищену паводкову активність у межах досліджуваної території. Площа водозбірного басейну річки Сірет до гідропоста, що розташований у місті Сторожинець, становить 672 км^2.

Для оцінки водного режиму річки Сірет використано систему гідрологічних характеристик, які дозволяють комплексно проаналізувати як загальну водність, так і просторово-часові закономірності формування стоку. Такі показники є основою для аналізу гідрологічного режиму, оцінки водних ресурсів та обґрунтування водогосподарських рішень.

Однією з базових характеристик є середня річна витрата води, яка означає середній об'єм води, що проходить через поперечний переріз річки за рік. За даними гідропоста м. Сторожинець за досліджуваний період 1971–2020 рр. тире між цифрами (без пробілів) середнє значення витрати становить 6,84 м^3/с, при цьому мінімальні значення досягаються 1,77 м^3/с, а максимальні – 13,8 м^3/с (рис. 2).

Така амплітуда коливань характеризує суттєву річну мінливість водності, що формується під впливом кліматичних чинників, зокрема кількості атмосферних опадів і температурного режиму. Аналіз динаміки середніх річних витрат також дозволяє виявити загальні тенденції змін водності, що є місцем у контексті сучасних кліматичних трансформацій.

Важливим інструментом аналізу є різницева інтегральна крива (рис. 3), яка відображає накопичені відхилення річних витрат від середнього багаторічного значення. Дана форма дає можливість виявляти багатоводні та маловодні періоди. Висхідні ділянки кривої відповідають фазам підвищеної водності, спадні – періодам її зниження.

Аналіз побудованої різницевої інтегральної кривої дозволяє визначити періоди водності. Зокрема, для р. Сірет – м. Сторожинець маловодний період спостерігався у 1971–1980 рр. та у 1986–2001 рр. з коротким багатоводним періодом з 1980 по 1986 роки. Наступний багатоводний період чітко виражений та довготривалий, спостерігався з 2001 по 2016 роки. З 2017 року фіксується середній за водністю період. Варто зазначити, що для встановлення циклічності багаторічних коливань стоку доцільно використовувати різницеві інтегральні криві.

Аналіз середньомісячних витрат води дозволив встановити закономірності внутрішньорічного розподілу стоку (рис. 4). За обраний нами період спостережень екстремальні значення витрат становили 1,69 м^3/с і 61,3 м^3/с. Для наочності розглянули більш детально окремі характерні роки (1976, 1984, 1996, 2005, 2010, 2020), що характеризуються нерівномірністю розподілу стоку протягом року.

Максимальні витрати води спостерігаються у весняний та літній періоди, що зумовлено поєднанням сніготанення та інтенсивних опадів (дощу). Мінімальні зна-



Рис. 2. Середньорічні витрати води річки Сірет – м. Сторожинець за період 1971–2020 рр.

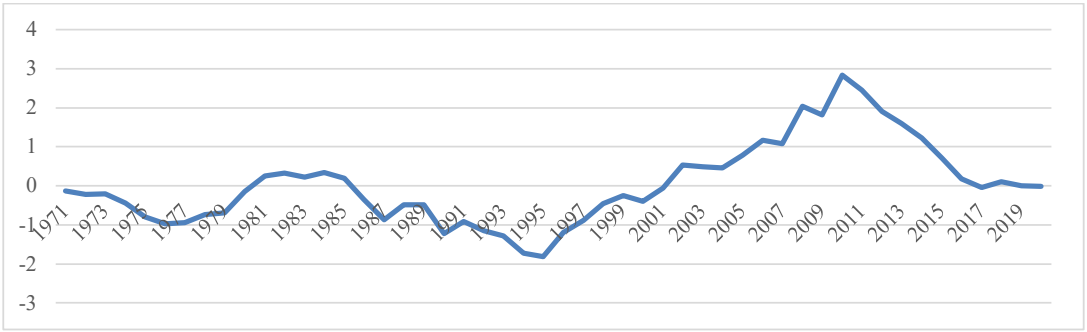


Рис. 3. Різницева інтегральна крива середньорічних витрат води річки Сірет – м. Сторожинець за період 1971–2020 рр.

чення характерні для зимового та пізнього літньо-осіннього періодів. У літні місяці можливі короткочасні, але значні підвищення водності, пов'язані з зливовими опадами, що зумовлює формування паводків в межах досліджуваного басейну річки Сірет.

Сезонний розподіл стоку (рис. 5) узагальнює внутрішньорічну динаміку і показує внесок кожного сезону у формування річного стоку. Найбільша частка стоку, по 36%, припадає на весняний та літній періоди, що обумовлено поєднанням процесів сні-

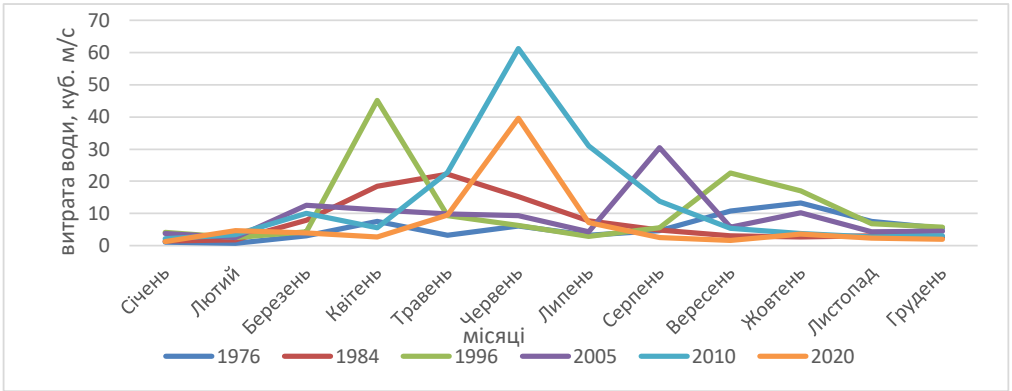


Рис. 4. Середньомісячні витрати води р. Сірет – м. Сторожинець (1971–2020 рр.)

готанення та інтенсивних дощових опадів. Це свідчить про змішаний тип живлення річки та визначає підвищену паводкову небезпеку у теплий період року. Найменше значення, 12%, характерне для зимового сезону – меженний період.

За допомогою кривої забезпеченості витрат води (рис. 6) визначено їхні розрахункові значення різної ймовірності перевищення. Зокрема, витрати води забезпеченістю 15 % становлять 9,54 м³/с, 50 % – 6,57 м³/с, а 95 % – 3,17 м³/с. Це свідчить про значну частину коливання водності та дозволяє оцінити як багатоводні, так і маловодні умови функціонування річки та свідчить про мінливість водності річки, що обумовлено природними кліматичними коливаннями та особливостями формування стоку в межах басейну. Такі дані є необхідними для водогосподарського планування та проектування гідротехнічних споруд.

Модуль стоку характеризує інтенсивність формування стоку з одиниці площі водозбору. Даний показник дозволяє порівнювати водність різних басейнів незалежно від площі. Для досліджуваного басейну даний показник становить: 10,18 л/с·км². Отримані значення свідчать про водозабезпеченість басейну, що зумовлено кліматичними умовами та особливостями рельєфу.

Шар стоку відображає загальний об'єм води, сформований у межах басейну, у вигляді умовної товщини шару води яка б утворилась, якби весь річний стік рівномірно розподілити по площі басейну. Його значення свідчать про достатній рівень зволоження території та ефективне формування річкового стоку. За даними спостережень 1971–2020 середній багаторічний шар стоку становить 321 мм.

Висновки

Отримані в ході дослідження результати дозволили встановити основні закономірності формування водного режиму річки Сірет у межах басейну до м. Сторожинець. Виявлено, що річка характеризується сезонною нерівномірністю стоку, переважанням весняного водопілля, наявністю літніх дощових паводків та вираженою багаторічною мінливістю водності, зокрема виділено маловодні періоди (1971–1980, 1986–2001 рр.) і тривалий багатоводний період (2001–2016 рр.).

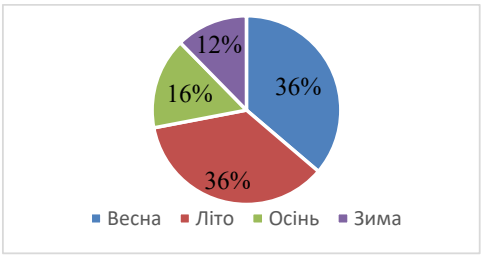


Рис. 5. Сезонний розподіл стоку за гідрологічним роком р. Сірет – м. Сторожинець за період 1971–2020 рр.



Рис. 6. Річна забезпеченість р. Сірет – м. Сторожинець за період 1971–2020 рр.

Встановлені особливості водного режиму зумовлюють необхідність врахування сезонної нерівномірності стоку при плануванні та регулюванні водокористування, а також багаторічної мінливості – при оцінці водозабезпеченості територій і прогнозуванні можливих дефіцитів водних ресурсів.

Аналіз паводкових періодів свідчить про підвищену паводкову небезпеку в басейні річки та обґрунтовує доцільність впровадження заходів щодо зменшення ризиків підтоплення, зокрема регулювання стоку, удосконалення систем водовідведення та раціонального використання водозбірних територій.

Варто зазначити, що поєднання статистичних методів аналізу з геоінформаційними технологіями дозволяє підвищити точність оцінки водного режиму та сформувати науково обґрунтовану основу для ефективного управління водними ресурсами. Отримані результати можуть бути використані при прогнозуванні гідрологічного режиму, плануванні водокористування, оцінці водних ресурсів та розробленні водоохоронних заходів у межах басейну річки Сірет.

Список використаної літератури

Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ : Віпол, 2000. 376 с.

Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ : Ніка-Центр, 2003. 324 с.

Вишневський В.І., Куций А.В. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ : Наукова думка, 2022. 252 с.

Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки : підручник. Одеса : ТЕС, 2014. 484 с.

Горбачова Л.О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. *Український географічний журнал.* 2015. № 3. С. 16–23.

Гребінь В.В. Гідролого-гідрохімічне районування: історія та сучасний стан. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2001. Т. 2. С. 83–93.

Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.

Гребінь В.В., Мокін В.Б., Сташук В.А., Хільчевський В.К., Яцюк М.В., Чунарьов О.В., Крижановський Є.М., Бабчук В.С., Ярошевич О.Є. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2013. 55 с.

Заячук М.Д., Костащук І.І., Пасічник М.Д., Паланичко О.В., Мельник А.А. Гідроекологічна оцінка стану молодого ландшафту річки Сірет в межах України. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Географічні науки».* 2024. Вип. 20. С. 46–55. https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2024-20-6

Заячук М.Д., Ющенко Ю.С., Пасічник М.Д., Паланичко О.В., Настюк М.Г. Методичні підходи оцінювання стану й управління молодими річковими ландшафтами в умовах антропогенного врізання річок (на прикладі Гірського краю Українських Карпат). *Український географічний журнал.* 2025. № 1 (129). С. 27–38. https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.027

Кирилюк М.І. Водний баланс і якісний стан водних ресурсів Українських Карпат. Чернівці : Рута, 2001. 246 с.

Лук'янець О.І. Закономірності та просторова синхронність багаторічних циклічних коливань водного стоку річок Українських Карпат. *Науковий вісник Чернівецького університету.* Чернівці : ЧНУ, 2015. Вип. 744-745. С. 18–24.

Лук'янець О.І., Коноваленко О.С. Аналіз просторового розподілу та мінливості середнього річного стоку води річок Українських Карпат. *Збірник праць XII з'їзду Українського географічного товариства «Українська географія: сучасні виклики».* Київ : Прінт-Сервіс, 2016. Т. ІІ. С. 175–177.

Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Гребінь В.В., Почаєвець О.О., Корнієнко В.О. Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. *Український географічний журнал.* 2021. №1, С. 6–14. https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006

Ободовський О.Г., Лук'янець О.І., Коноваленко О.С., Корнієнко В.О. Середній річний водний стік річок Українських Карпат та особливості його територіального розподілу *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2016. Т. 4(43). С. 25–32.

Сусідко М. М., Лук'янець Можливості оцінювання річкового стоку в Карпатах на найближчі роки з урахуванням його багаторічних коливань. *Наук. праці УкрНДГМІ*, 1998. Вип. 246. С. 46-55.

Сусідко М.М. Карпати найбільш паводконебезпечний регіон України. *Екологічні та соціально-економічні аспекти катастрофічних стихійних явищ у Карпатському регіоні (повені, селі, зсуви) : матер. Міжнар. наук.-практ. конф.* – у 2-ох т. Ужгород : Вид-во "Патент". 1999. Т. II. С. 158−162.

Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки. *Наукові праці УкрНДГМІ.* 2004. Вип. 253. С. 196-204.

Ющенко Ю., Пасічник М., Николаєв А., Паланичко О., Бузей О.В. Зміни режиму водного стоку річки Сірет у період глобального потепління. *Наукові перспективи. 2023.* № 11(41). С.410–434. https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-11(41)-419-434

References

Vyshnevskyi, V.I. (2000). Richky i vodoimy Ukrainy. Stan i vykorystannia [Rivers and water bodies of Ukraine. State and use]. Kyiv: Vipol [in Ukrainian].

Vyshnevskyi, V.I., & Kosovets, O.O. (2003). Hidrolohichni kharakterystyky richok Ukrainy [Hydrological characteristics of rivers of Ukraine]. Kyiv: Nika-Tsentr [in Ukrainian].

Vyshnevskyi, V.I., & Kutsyi, A.V. (2022). Bahatorichni zminy vodnoho rezhymu richok Ukrainy [Long-term changes in the water regime of rivers of Ukraine]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].

Hopchenko, Ye.D., Loboda, N.S., & Ovcharuk, V.A. (2014). Hidrolohichni rozrakhunky: pidruchnyk [Hydrological calculations: textbook]. Odesa: TES [in Ukrainian].

Horbachova, L.O. (2015). Suchasnyi vnutrishnorichnyi rozpodil vodnoho stoku richok Ukrainy [Modern intra-annual distribution of river runoff in Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 3, 16–23 [in Ukrainian].

Hrebin, V.V. (2001). Hidroloho-hidrokhimichne raionuvannia: istoriia ta suchasnyi stan [Hydrological and hydrochemical zoning: history and current state]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia [Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology]*, 2, 83–93 [in Ukrainian].

Hrebin, V.V. (2010). Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohichnyi analiz) [Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis)]. Kyiv: Nika-Tsentr [in Ukrainian].

Hrebin, V.V., Mokin, V.B., Stashuk, V.A., Khilchevskyi, V.K., Yatsiuk, M.V., Chunarov, O.V., Kryzhanovskyi, Ye.M., Babchuk, V.S., & Yaroshevych, O.Ye. (2013). Metodyky hidrohrafichnoho ta vodohospodarskoho raionuvannia terytorii Ukrainy vidpovidno do vymoh Vodnoi Ramkovoi Dyrektyvy YeS [Methods of hydrographic and water management zoning of Ukraine in accordance with the EU Water Framework Directive]. Kyiv: Interpres LTD [in Ukrainian].

Zaiachuk, M.D., Kostashchuk, I.I., Pasichnyk, M.D., Palanychko, O.V., & Melnyk, A.A. (2024). Hidroekolohichna otsinka stanu molodoho landshaftu richky Siret v mezhakh Ukrainy [Hydroecological assessment of the state of the young landscape of the Siret River within Ukraine]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriia "Heohrafichni nauky" [Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Geographical Sciences"]*, 20, 46–55. https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2024-20-6 [in Ukrainian].

Zaiachuk, M.D., Yushchenko, Yu.S., Pasichnyk, M.D., Palanychko, O.V., & Nastiuk, M.H. (2025). Metodychni pidkhody otsiniuvannia stanu y upravlinnia molodymy richkovymy landshaftamy v umovakh antropohennoho vrizannia richok (na prykladi Hirskoho kraiu Ukrainskykh Karpat) [Methodological approaches to assessment and management of young river landscapes under conditions of anthropogenic incision (case of the Ukrainian Carpathians)]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal],* 1(129), 27–38. https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.027 [in Ukrainian].

Kyryliuk, M.I. (2001). Vodnyi balans i yakisnyi stan vodnykh resursiv Ukrainskykh Karpat [Water balance and quality of water resources of the Ukrainian Carpathians]. Chernivtsi: Ruta [in Ukrainian].

Lukianets, O.I. (2015). Zakonomirnosti ta prostorova synkhronnist bahatorichnykh tsyklichnykh kolyvan vodnoho stoku richok Ukrainskykh Karpat [Patterns and spatial synchronicity of long-term cyclic fluctuations of river runoff in the Ukrainian Carpathians]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu [Scientific Bulletin of Chernivtsi University]*, 744–745, 18–24 [in Ukrainian].

Lukianets, O.I., & Konovalenko, O.S. (2016). Analiz prostorovoho rozpodilu ta minlyvosti serednoho richnoho stoku vody richok Ukrainskykh Karpat [Analysis of spatial distribution and variability of average annual river runoff in the Ukrainian Carpathians]. *Zbirnyk prats XII zizdu Ukrainskoho heohrafichnoho tovarystva "Ukrainska heohrafiia: suchasni vyklyky" [Proceedings of*

the XII Congress of the Ukrainian Geographical Society "Ukrainian Geography: Modern Challenges"], Vol. II, 175–177 [in Ukrainian].

Lukianets, O.I., Obodovskyi, O.H., Hrebin, V.V., Pochaievets, O.O., & Korniienko, V.O. (2021). Prostorovi zakonomirnosti zminy serednoho richnoho stoku vody richok Ukrainy [Spatial patterns of changes in average annual river runoff in Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 1, 6 –14. https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006 [in Ukrainian].

Obodovskyi, O.H., Lukianets, O.I., Konovalenko, O.S., & Korniienko, V.O. (2016). Serednii richnyi vodnyi stik richok Ukrainskykh Karpat ta osoblyvosti yoho terytorialnoho rozpodilu [Average annual river runoff in the Ukrainian Carpathians and its spatial distribution]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia [Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology]*, 4(43), 25–32 [in Ukrainian].

Susidko, M.M. (1998). Mozhlyvosti otsiniuvannia richkovoho stoku v Karpatakh na naiblyzhchi roky z urakhuvanniam yoho bahatorichnykh kolyvan [Possibilities of estimating river runoff in the Carpathians in the coming years considering long-term fluctuations]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI [Scientific Works of UkrNDHMI]*, 246, 46–55 [in Ukrainian].

Susidko, M.M. (1999). Karpaty naibilsh pavodkonebezpechnyi rehion Ukrainy [The Carpathians are the most flood-prone region of Ukraine]. *Ekolohichni ta sotsialno-ekonomichni aspekty katastrofichnykh stykhiinykh yavyshch u Karpatskomu rehioni (poveni, seli, zsuvy) [Ecological and socio-economic aspects of natural disasters in the Carpathian region]*. Uzhhorod: Patent, Vol. II, 158–162 [in Ukrainian].

Susidko, M.M., & Lukianets, O.I. (2004). Raionuvannia terytorii Ukrainy za stupenem hidrolohichnoi nebezpeky [Zoning of Ukraine by degree of hydrological hazard]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI [Scientific Works of UkrNDHMI]*, 253, 196–204 [in Ukrainian].

Yushchenko, Yu., Pasichnyk, M., Nycolaiev, A., Palanychko, O., & Buzey, O.V. (2023). Zminy rezhymu vodnoho stoku richky Siret u period hlobalnoho poteplinnia [Changes in the water runoff regime of the Siret River during global warming]. *Naukovi perspektyvy [Scientific Perspectives]*, 11(41), 410–434. https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-11(41)-419-434 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 911.3;314
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.8

СУЧАСНА ГЕОДЕМОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМІСЬКИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД МІСТА ТЕРНОПІЛЬ

І. Р. Рудакевич[1], Б. В. Заблоцький[2]

У статті проаналізована геодемографічна характеристика приміських територіальних громад міста Тернопіль. У публікації досліджено особливості людності 6 приміських громад: Байковецької, Білецької, Великоберезовицької, Великобірківської, Великогаївської та Підгороднянської. У цих адміністративних одиницях ще від 1980-их років відстежувався ріст кількості населення внаслідок процесу субурбанізації. Однак з 2022 року людність цих громад почала зменшуватися головно через активну фазу російсько-української війни. Продовжується зростання кількості мешканців Байковецької громади через активне житлове будівництво. З 64 населених пунктів у приміській зоні міста Тернопіль ріст населення помітний у 13, а зниження людності в 51 поселенні, що відображено на відповідній картосхемі. Зростання людності характерне для сіл, які межують з містом, а у віддалених населених пунктах простежується зниження кількості жителів. На прикладі населених пунктів Підгороднянської територіальної громади проаналізована зміна кількості населення сіл протягом XX століття. Статево-вікова структура населення охарактеризована на прикладі поселень Байковецької громади. У ній помітна тенденція щодо старіння людності, особливо із віддаленням сіл від адміністративних центрів. Показники природного та міграційного приросту населення проаналізовані на прикладі Великоберезовицької територіальної громади. Для неї характерний негативний природний приріст, однак позитивний міграційний баланс людності. Відповідно, села поблизу міста Тернопіль мають кращі показники природного та міграційного приросту, на відміну від більш віддалених населених пунктів. На динаміку населення приміських громад м. Тернопіль суттєво вплинула російсько-українська війна, яка призвела до посилення міграції та зменшення людності населених пунктів.

Ключові слова: *громада, людність, населення, населений пункт, приміська зона, субурбанізація, Тернопільський район.*

[1] кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри географії України і туризму
(Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль)
e-mail: ivaco@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3901-5897

[2] кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри географії та методики її навчання
(Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль)
e-mail: zablotskiy@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3788-9504

MODERN GEODEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF SUBURBAN TERRITORIAL COMMUNITIES OF THE CITY OF TERNOPIL

I. R. Rudakevych, B. V. Zablotskyi

The article analyzes the geodemographic characteristics of suburban territorial communities of the city of Ternopil. The publication examines the features of the population of 6 suburban communities: Baykivtsi, Bila, Velyka Berezovytsia, Velyki Birky, Velyki Hayi, and Pidhorodne. In these administrative units, population growth has been observed since the 1980s as a result of the suburbanization process. However, since 2022, the population of these communities has begun to decrease mainly due to the active phase of the Russian-Ukrainian war. The number of residents of the Baykivtsi community continues to grow due to active housing construction. Out of 64 settlements in the suburban zone of the city of Ternopil, population growth is noticeable in 13, and a decrease in population in 51 settlements, which is reflected in the corresponding map. Population growth is typical in villages bordering the city, while in remote settlements the number of residents decreases. The change in village populations during the 20th century is analyzed using the example of settlements in the Pidhorodne territorial community. The sex-age structure of the population is characterized using the example of settlements of the Baykivtsi community. There is a noticeable trend towards population aging, especially with the distance of villages from administrative centers. Indicators of natural and migration population growth are analyzed using the example of the Velyka Berezovytsia territorial community. It is characterized by negative natural growth but a positive population migration balance. Accordingly, villages near the city of Ternopil have better indicators of natural and migration growth, unlike more remote settlements. The dynamics of the population of suburban communities of the city of Ternopil were significantly affected by the Russian-Ukrainian war, which led to increased migration and a decline in settlement populations.

Key words: *community, populace, population, settlement, suburban area, suburbanization, Ternopil district.*

Вступ

Геодемографічні дослідження приміських зон за сучасних урбаністичних тенденцій набувають особливої актуальності, оскільки вони є ареалами соціально-економічних трансформацій. Приміська зона великих міст є специфічним простором, де міський спосіб життя перетинається з сільським ландшафтом, зумовлюючи певні демографічні процеси. У сучасній Україні спостерігаються загальносвітові тенденції відтоку багатого населення від міських центрів до передмість. Особливо вони прискорилися у часи повномасштабної російсько-української війни, коли міські мешканці масово виїжджають у передмістя, рятуючись від повітряних атак на міста та обстрілів.

Активне розростання приміських територій змінюють чисельність і склад населення населених пунктів, посилюючи навантаження на їх транспортну, комунальну та соціальну інфраструктуру. Розвиток передмість також зумовлює дефіцит місцевих ресурсів (водних, земельних), що впливає суттєво на якість життя їх мешканців. Традиційні сільські громади поступово трансформуються у сучасні урбанізовані спільноти, зумовлює зміну способу їх життя та соціально-культурних традицій. Відповідно старі моделі систем розселення втрачають актуальність, що зумовлює необхідність формування нової стратегії управління приміськими територіальними громадами.

Приміські населені пункти навколо міста Тернопіль теж перебувають у процесах різних змін і перетворень, зумовлених тенденціями субурбанізації. Однак активний розвиток передмість частково призупинився через вплив російсько-української війни, що особливо відчутно у демографічних процесах.

Проблематика розвитку приміських зон великих міст в Україні охарактеризована у колективній монографії «Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін» (Урбаністична ..., 2017). В окремих її частинах проаналізовані вплив житлової забудови, розвитку територій та міських агломерацій на формування населення приміських населених пунктів. Дослідженням розвитку процесу субурбанізації в Україні, в тому числі у геодемографічному аспекті, присвячено ряд публікацій К. Мезенцева та інших співавторів (Мезенцев та ін., 2019; Мезенцев та ін., 2020; Gnatiuk et al., 2021; Melnychuk, 2025). У монографії І. Закутинської та Р. Сливки охарактеризовані особливості субурбанізації навколо

міста Івано-Франківська та перетворенні сільських населених пунктів і територій (Закутинська і Сливка, 2016). Цікавими є також праці європейських науковців, присвячених проблемам розвитку приміських територій у Центрально-Східній Європі (Stanilov & Sykora, 2014; Mantey & Sudra, 2019; Kryczka et al., 2025). У них переважно аналізується типологія та динаміка процесу субурбанізації у постсоціалістичних країнах.

Особливості розміщення та динаміки населення Тернопільської області проаналізовані у монографічному виданні «Географія Тернопільської області». Однак геодемографічний аналіз регіону здійснений на основі старого адміністративного поділу на райони до 2020 року (Географія…, 2020). Аналіз трансформації системи розселення Тернопільського району на основі територіальних громад проведено у дослідженні М. Салія (Салій, 2024). Однак дослідження людності населених пунктів приміської зони міста Тернопіль, як і навколишніх ТГ на даний час відсутні.

Метою даної публікації є проведення актуального геодемографічного дослідження населення приміських територіальних громад навколо міста Тернопіль. Виходячи з мети дослідження передбачено виконання наступних його завдань:

– проаналізувати динаміку населення приміських територіальних громад м. Тернопіль;

– дати характеристику змін людності населених пунктів приміської зони міста Тернопіль;

– охарактеризувати окремі демографічні показники (склад населення, природний приріст) територіальних громад у контексті сучасних суспільних перетворень.

Матеріал і методи

Із завершенням реформи децентралізації та створення територіальних громад виникла проблема збору актуальної статистичної інформації, особливо у розрізі окремих населених пунктів. Дані про населення ТГ і окремих селищ і сіл не публікуються у виданнях офіційної статистики. Однак багато даних щодо демографічної ситуації відображається в офіційних документах територіальних громад, насамперед у програмах місцевого соціально-економічного та стратегічного розвитку. З шести досліджуваних приміських громад навколо м. Тернопіль у чотирьох вже розроблені та затверджені стратегії їх розвитку. Ще одним джерелом інформації для даного дослідження були паспорти ТГ (Паспорт …, 2025; Проєкт …, 2026), в яких вказані кількість населення у кожному населеному пункті та інші показники. Для вивчення динаміки людності сіл і селищ використовувалися довідкові видання «Етнічні групи південно-західної України» В. Кубійовича (Кубійович, 1939) та «Тернопільщина. Історія міст і сіл» (Тернопільщина…, 2014).

На основі вищеподаних літературних, довідкових, статистичних джерел інформації була розроблена картосхема динаміки людності населених пунктів приміських територіальних громад м. Тернопіль методом картодіаграми.

Результати та їх обговорення

У цьому дослідженні проаналізовано населені пункти шести ТГ: Байковецької, Білецької, Великоберезовицької, Великобірківської, Великогаївської та Підгороднянської. Ці громади перебували у колишніх межах Тернопільського району (до 2020 року) та поєднані багатьма адміністративними, соціальними та економічними зв'язками.

У 6 приміських територіальних громадах навколо м. Тернопіль станом на 1 квартал 2025 р. проживало 67414 осіб. Це на 4,9 % менше людей, ніж наприкінці 2020 року (70866 осіб) (табл. 1). За кількістю мешканців найбільшою є Великоберезовицька ТГ – 20714 осіб, а найменшою – Великобірківська (5704 осіб).

Станом на 1 квартал 2025 р. найвищою густота населення була у Великоберезовицькій громаді – 101,04 осіб/км², а найнижча – 52,77 осіб/км² у Підгороднянській ТГ. У приміських громадах м. Тернопіль середня щільність населення становила 98,92 осіб/км² (див. табл. 1).

З 2021 до 2025 років кількість населення у 5 територіальних громадах приміської зони м. Тернополя зменшувалася. Причому в Байковецькій ТГ за кількість мешканців останні 5 років зросла на 1262 жителя, що становить більше 10 %. У цій громаді чисельність населення зростає через інтенсивне будівництво багатоквартирних будинків, як в адміністративному центрі – с. Байківці, так і в сусідніх селах.

До грудня 2020 року переважна більшість населених пунктів територіальних громад приміської зони м. Тернопіль (без 5 доєднаних сіл) адміністративно належали до Тернопільського району в колишніх межах. У 2020 р. населення цього району становило 67,2 тис. мешканців, а сучас-

Таблиця 1

Площа і кількість населення у територіальних громадах приміської зони м. Тернопіль (Бюджети…, 2026)

№ п/п	Назва громади	Площа, км²	Кількість населення, 2021 р.	Кількість населення, 2025 р.	Густота населення, 2025 р., осіб/км²
1	Байковецька	158,50	12015	13277	83,77
2	Білецька	138,10	10943	9947	72,03
3	Великоберезовицька	205,00	23201	20714	101,04
4	Великобірківська	65,80	5977	5704	86,69
5	Великогаївська	142,00	11340	10880	76,62
6	Підгороднянська	130,60	7390	6892	52,77
	Всього:	681,50	70866	67414	98,92

них 6 досліджуваних приміських громад у 2025 р. – 67,4 тис. осіб. Слід зауважити, що від 1989 року кількість мешканців Тернопільського району в колишніх межах аж до його реорганізації (2020 р.) зростала переважно у процесі субурбанізації (рис. 1). До 2025 р. людність приміських громад скоротилася внаслідок посилення міграційних процесів, які були зумовлені російсько-українською війною.

Для простеження зміни людності територіальних громад приміської зони м. Тернопіль цікаво простежити динаміку кількості населення їх центрів (рис. 2). Чисельність мешканців цих населених пунктів у XX – початку XXI століть поступово зростала.

За останні 85 років найбільший приріст населення зафіксований у селищі Велика Березовиця – з 2060 осіб у 1939 р. до 8516 осіб у 2024 р. (більше як у 4 рази). Причиною такого росту людності є індустріалізація цього поселення у середині XX століття через спорудження цукрового заводу та інших підприємств. В інших адміністративних центрах громад за цей часовий період (1939–2024 рр.) кількість населення зросла у середньому в 2–3 рази. Протягом останніх 10 років різко збільшилася кількість мешканців (майже у 2 рази) села Байківці, що зумовлено спорудженням приміських житлових комплексів і котеджних містечок (див. рис. 2).

За останні 10 років (2014–2024 роки) помітне зростання людності сіл приміської зони м. Тернопіль, що межують безпосередньо з обласним центром (рис. 3). Хоча села Плотича, Товстолуг та Шляхтинці є дещо

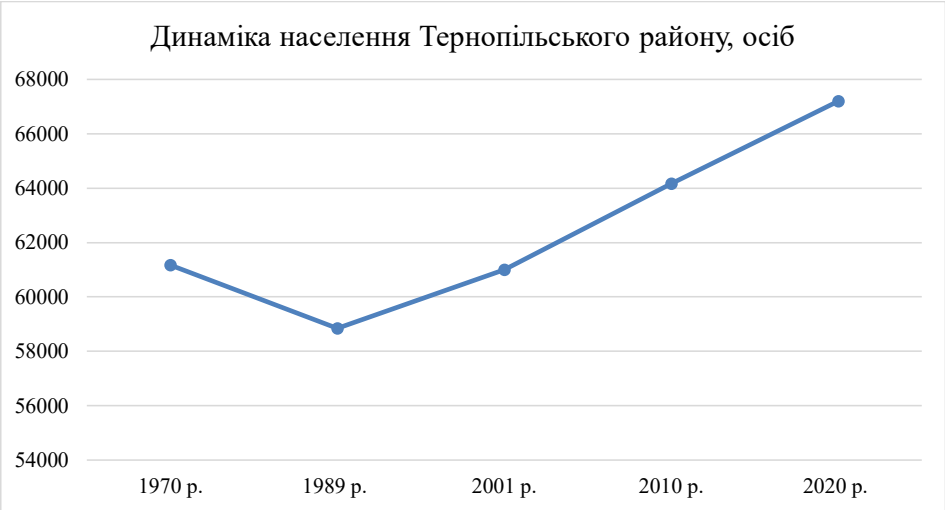


Рис. 1. Динаміка населення Тернопільського району (в колишніх межах) у 1970–2020 роках (Population…, 2026)

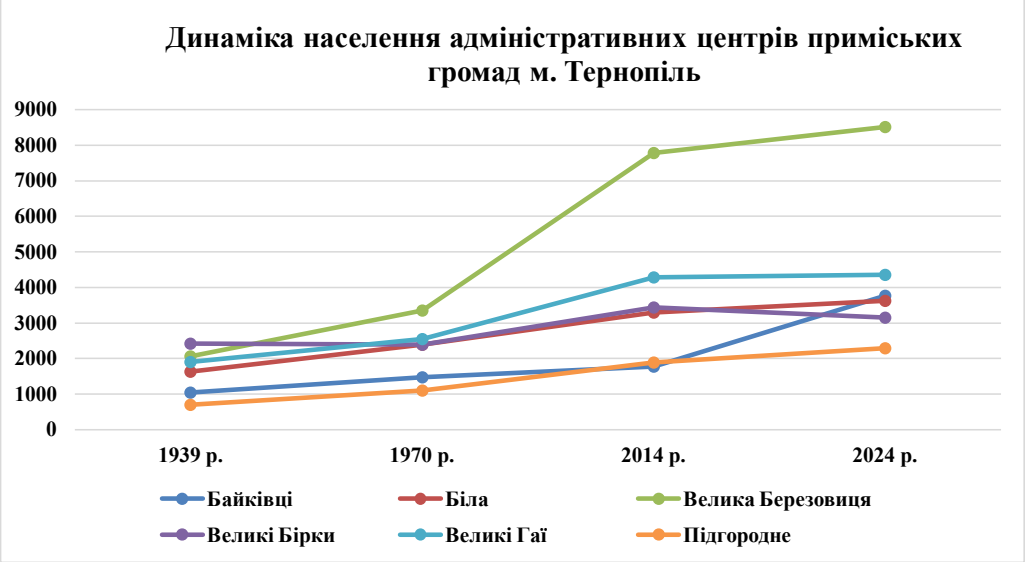


Рис. 2. Динаміка населення адміністративних центрів приміських громад м. Тернопіль

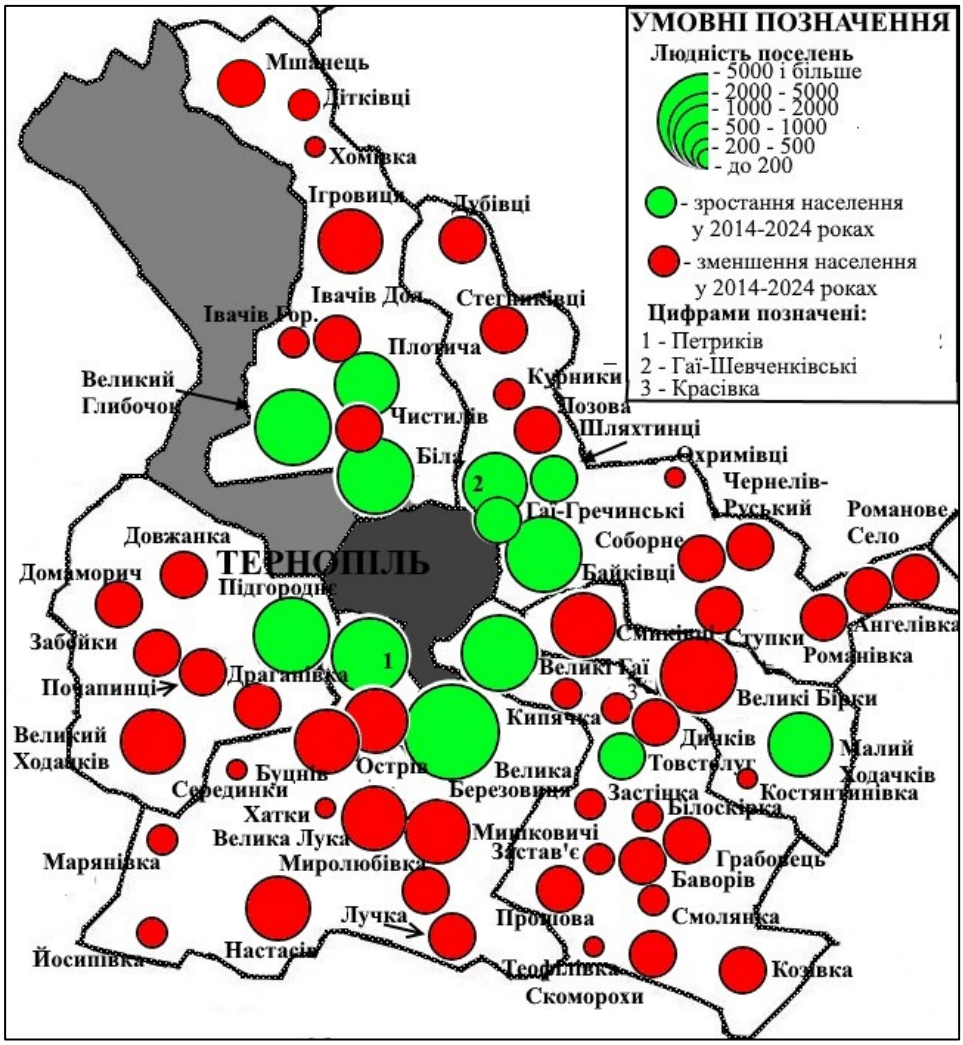


Рис. 3. Кількість та динаміка населення поселень територіальних громад приміської зони м. Тернопіль

віддаленими від міста, однак кількість мешканців там збільшується через близьке розташування до Тернополя. У селах Великий Глибочок (Білецька ТГ) та Малий Ходачків (Великобірківська ТГ) згідно документації місцевих громад теж зафіксовано зростання населення, однак воно зумовлене швидше уточненням статистичних даних у результаті завершення реформи децентралізації у 2020 році.

Серед сіл у приміській зоні м. Тернопіль найбільше зростання населення за останні 10 років спостерігалося у с. Байківці (з 1777 осіб у 2014 р. до 3776 у 2024 р.) та Гаї-Гречинські (з 459 до 817 жителів), тобто майже вдвічі. У селищі Велика Березовиця, селах Біла, Гаї-Шевченківські, Петриків, Підгородне людність збільшилася на кілька сотень мешканців. Загалом із 64 населених пунктів у 6 територіальних громадах приміської зони м. Тернопіль за останні 10 років у 13 зафіксоване зростання чисельності населення, а у 51 населеному пункті – його зменшення (рис. 3).

Своєю чергою, найбільше зниження людності помітне переважно у невеликих селах Великоберезовицької ТГ – Йосипівка, Мар'янівка, Настасів, Серединки, а також у с. Ступки Байковецької громади. У селах Йосипівка та Мар'янівка (Великоберезовицька ТГ) кількість населення протягом 2014–2024 років скоротилася приблизно на 20 %. Головною причиною негативної демографічної ситуації у даних селах є їх віддаленість від центру громади та магістральних транспортних шляхів. За останні 10 років більш ніж на 10 % скоротилося також населення у селах Ангелівка, Дубівці, Ступки, Соборне (Байковецька ТГ), Буцнів, Настасів, Лучка (Великоберезовицька ТГ), Домаморич, Забойки (Підгороднянська ТГ). Однак у декількох селах у приміських громадах міста Тернопіль скорочення людності за останнє десятиліття було мінімальним, як-от у селах Великий Ходачків Підгороднянської ТГ (8 осіб), Хатки Великоберезовицької ТГ (1 особа), Красівка Великогаївської ТГ (9 осіб), Івачів Горішній Білецької ТГ (5 осіб).

Зміни людності населених пунктів приміської зони м. Тернопіль розглянемо детальніше на прикладі Підгороднянської територіальної громади. У 1939–1947 роках у селах цієї ТГ відбулися значні зміни як кількості, так і національного складу населення. Більшість людності даних поселень ще у 1939 р. становили поляки (за винятком с. Домаморич). Внаслідок винищення євреїв (їх проживало у цих селах кілька десятків) і переселення поляків до Польщі після завершення Другої світової війни чисельність населення у цих селах зменшилася приблизно вдвічі.

Значне зростання людності спостерігалося лише у с. Підгородне, яке безпосередньо межує з містом Тернопіль. Кількість населення сіл Домаморич і Драганівка скорочується щороку приблизно на 1–1,5 %, що вже погіршує соціально-економічну ситуацію у цих поселеннях (рис. 4).

Для аналізу статево-вікової структури населення приміських громад м. Тернополя бракує статистичних матеріалів. Однак можна проаналізувати її на прикладі Байковецької ТГ, де такі показники розміщені у паспорті громади (табл. 2) (Паспорт …, 2025). Загальна кількість мешканців цієї громади станом на 2024 рік складала 13343 мешканці, з яких налічувалося 6175 чоловіків (46,2 %) і 7168 жінок (53,8 %), що приблизно відповідає загальноукраїнським значенням.

У віковій структурі населення Байковецької громади з 13343 жителів у 2024 році налічувалося: 2200 дітей (16,5 % загальної кількості), осіб віком більше 60 років – 3148 людей (23,6 %), а кількість людей працездатного віку становила 5348 осіб, що складає близько 40 % всієї людності ТГ. За віком населення «найстарішим» населеним пунктом Байковецької громади є с. Охримівці, де частка населення старших 60 років становила 45 %. В адміністративному центрі ТГ с. Байківці частка людей старшого віку складала всього 17,3 % (див. табл. 2).

На прикладі Байковецької громади також помітні зміни у віковій структурі населення сільських населених пунктів залежно їх віддаленості від обласного центру м. Тернопіль. У межуючих з містом селах (Байківці, Гаї-Шевченківські, Гаї-Гречинські) кількість неповнолітніх осіб переважає людей старшого віку, а у більш віддалених поселеннях (Дубівці, Романове Село, Охримівці) – навпаки (див. табл. 2).

Аналогічно розглянемо показники природного та міграційного приросту населення приміської громади на прикладі Великоберезовицької ТГ (табл. 3). У даній адміністративній одиниці помітно поступове зниження народжуваності, хоча рівень смертності без значних змін. Суттєве зниження як і кількості народжених, так і померлих, а також прибулих і вибу-

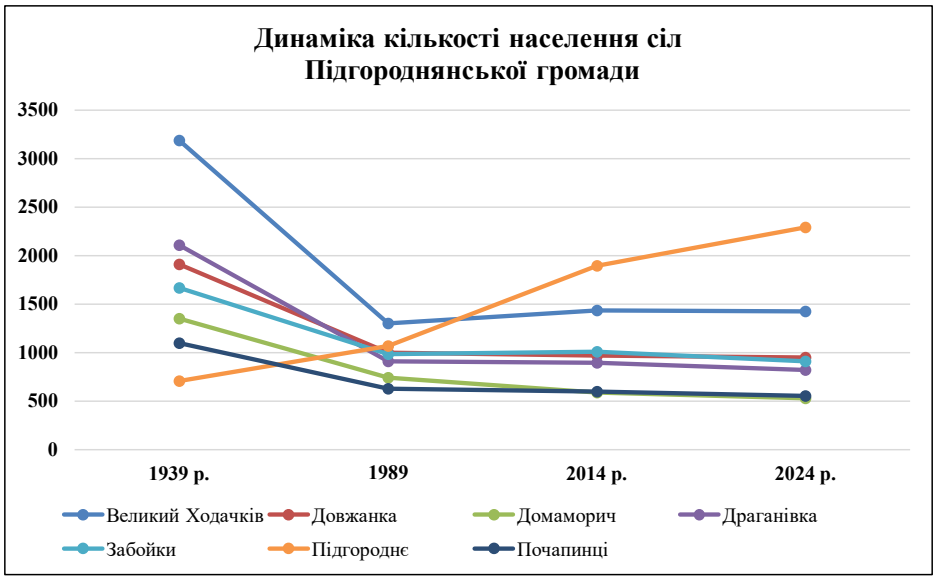


Рис. 4. Динаміка населення сіл Підгороднянської громади (Кубійович, 1939; Стратегія ..., 2026; Тернопільщина..., 2014)

Таблиця 2

Статево-вікова структура населення Байковецької громади (Паспорт ..., 2025)

Населений пункт	Всього жителів	Чоловіків				Жінок			
		Всього	0–17	18–59	60 і старші	Всього	0–17	18–59	60 і старші
Ангелівка	559	261	47	164	50	298	53	166	79
Байківці	3776	1673	488	924	261	2103	460	1249	394
Гаї-Гречинські	817	386	104	196	86	431	92	249	90
Гаї-Шевченківські	1930	926	202	489	235	1004	210	541	253
Дубівці	569	246	34	159	53	323	43	160	120
Лозова	612	299	55	182	62	313	44	185	84
Охримівці	166	75	9	37	29	91	5	41	45
Романівка	571	254	50	150	54	317	59	177	81
Романове Село	776	342	52	212	78	434	72	219	143
Соборне	510	258	43	156	59	252	32	127	93
Стегниківці	635	315	70	179	66	320	58	172	90
Ступки	535	246	40	148	58	289	41	148	100
Чернелів-Руський	703	332	63	209	60	371	56	201	114
Шляхтинці	846	400	95	217	88	446	89	226	131
Всього	13343	6175	1382	3513	1290	7168	1341	3959	1868

лих спостерігається з початком активної фази російсько-української війни після 2022 року, що пов'язано із значним виїздом людей закордон й інші безпечніші регіони України.

Найкращі показники природного приросту мають села Острів (від -8 до 0 осіб) і Мишковичі (від -10 до 0), а найгірші – центр громади селище Велика Березовиця (-10-54) і с. Настасів (-20-27) (Соціально-економічний..., 2026).

Кількість прибулих мешканців до Великоберезовицької ТГ теж за останні 8 років поступово знизилася, а вибулих – суттєво не змінилася, за винятком 2022 року (див. табл. 3). Позитивне сальдо міграційного приросту теж знизилося майже в 4 рази. Найбільша кількість як прибулих,

Таблиця 3

Показники природного та міграційного приросту населення Великоберезовицької ТГ, 2017–2024 рр (Соціально-економічний…, 2026)

Показники	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2022**	**2024**
Народжені	199	178	148	153	130	114
Померлі	256	265	278	257	251	227
Природний приріст	-57	-87	-130	-104	-121	-113
Прибулі	999	1215	1018	793	395	782
Вибулі	439	670	581	436	291	637
Сальдо міграції	560	545	437	357	104	145
Загальний приріст/спад	503	458	307	253	-17	32

так і вибулих осіб зафіксовані у селищі Велика Березовиця та селі Петриків, які безпосередньо межують з містом Тернопіль. Позитивне і найвище сальдо міграції теж помітне у с. Петриків, а найбільш негативне у селах Настасів, Мишковичі, Велика Лука (Соціально-економічний…, 2026). Відповідно можна зробити висновки, що кращі демографічні та міграційні показники мають населені пункти, які розташовані біля обласного і районного центру м. Тернопіль. З віддаленням від нього у селах Великоберезовицької громади демографічна ситуація погіршується, що підтверджує також картосхема на рис. 3.

Активна фаза російсько-української війни після 2022 року сформувала сучасні міграційні процеси, які також вплинули на зміну людності територіальних громад у приміській зоні м. Тернопіль. Кількість населення у досліджуваних ТГ протягом 2022–2025 років скоротилася лише на неповних 5 %, порівняно з 20–25 % загалом по території України згідно оціночних даних. Для Байковецької громади простежується невелике зростання кількості населення, особливо у найближчих до м. Тернопіль селах Байківці, Гаї-Шевченківські та Гаї-Гречинські.

Для 6 досліджуваних громад характерним є також переселення жителів м. Тернополя, переважно старшого віку, що є яскравим підтвердженням процесу субурбанізації. До даних ТГ також прибувають багато нових мешканців з інших громад Тернопільської області. З 2022 року до них також додалися люди з інших областей України, так звані внутрішньо переміщені особи. Зростання кількості людей старшого віку та переміщених осіб зумовлює збільшене навантаження на соціальну інфраструктуру приміських громад (особливо соціальний захист, медичні заклади).

Після активного зростання населення приміських поселень біля м. Тернопіль у 1990–2010-х роках, починаючи від активної фази російсько-української війни помітне сповільнення, а місцями і припинення субурбанізації. Причинами цього окрім міграцій населення є також здорожчання індивідуального будівництва. Лише у Байковецькій громаді продовжує зростати людність окремих сіл завдяки спорудженню на їх територіях котеджних містечок і приміських житлових комплексів.

Висновки

У публікації досліджено динаміку кількості населення у 6 приміських територіальних громадах навколо м. Тернопіль (Байковецька, Білецька, Великоберезовицька, Великобірківська, Великогаївська та Підгороднянська), в яких протягом останніх 30 років спостерігалося зростання кількості населення завдяки субурбанізації. Однак з 2022 року людність більшості населених пунктів приміської зони міста знижується. Найбільше зростання чисельності населення помітне у населених пунктах, які переважно межують з м. Тернопіль або розміщені за кілька кілометрів від нього, що відображено у картосхемі (див. рис. 3). Охарактеризовані головні демографічні показники (віковий і статевий склад, рух населення) в окремих приміських ТГ міста Тернопіль. Загалом демографічна ситуація у сільських населених пунктах погіршується із віддаленням від міста Тернопіль.

Матеріали цього дослідження можна використати для розробки стратегічних документів приміських територіальних громад (стратегічний план розвитку, програма

соціально-економічного розвитку, інвестиційний паспорт), а також у поточній діяльності органів місцевого самоврядування. Подібне дослідження варто повторити через 5–7 років, коли будуть оновлюватися стратегії розвитку громад, їх соціально-економічний аналіз з актуальною первинною статистичною інформацією у розрізі кожного населеного пункту. Рекомендується також у подальших наукових розвідках і характеристиках населення приміських територіальних громад м. Тернопіль враховувати кількість і структуру внутрішньо переміщених осіб, хоча інформація про них, особливо у сільській місцевості, переважно не є загальнодоступною.

Список використаної літератури

Бюджети територіальних громад України [Електронний ресурс]. URL: https://public.tableau.com/app/profile/ulead/viz/_16360623127390/sheet0 (дата звернення 01.02.2026).

Географія Тернопільської області : монографія. В 2-х т. Т.2. Населення. Господарство. 2-е вид., перероблене і доповнене. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка : Осадца Ю .В., 2020. 544 с.

Закутинська І. І., Сливка Р. Р. Субурбанізація в просторовому вимірі: Івано-Франківськ і його околиці. Київ, Логос, 2016. 216 с.

Кубійович В. Етнічні групи південно-західної України (Галичини) на 1.1.1939. Wiesbaden, Otto Harassowitz. 1983. 215 с.

Мезенцев К., Провотар Н., Гнатюк О., Мельничук А., Денисенко О. Неоднозначні приміські простори: тенденції та особливості зміни повсякденних практики. *Економічна та соціальна географія*. 2019. Вип. 82, С. 4–19. https://doi.org/10.17721/2413-7154/2019.82.4-19

Мезенцев К., Провотар Н., Гнатюк О., Мельничук А., Денисенко О. Траєкторії розвитку приміських просторів. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Географічні науки*. 2020. № 13. С. 63–75. https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2020-13-7

Паспорт Байковецької громади [Електронний ресурс]. URL: https://rada.info/upload/users_files/04394846/8dc7faba244b35a2d0cc79c0159cf909.pdf (дата звернення 02.12.2025).

Проєкт Стратегії розвитку Білецької сільської територіальної громади до 2030 року [Електронний ресурс]. URL: https://rada.info/upload/users_files/14029160/f9926064c21fd11ddfd7b2d2b46b2e04.docx (дата звернення 26.02.2026).

Салій М. Сучасні трансформаційні процеси Тернопільської районної системи розселення. *Науковий вісник Чернівецького університету : Географія*. 2024. № 847. С. 169–180. https://doi.org/10.31861/geo.2024.847.169-180

Соціально-економічний профіль Великоберезовицької територіальної громади [Електронний ресурс]. URL: https://vbsr.gov.ua/images/Strategia_rozvunky/ profil_hromady.pdf (дата звернення 01.03.2026).

Стратегія розвитку Підгороднянської територіальної громади [Електронний ресурс]. URL: https://pidgorodnyanska-gromada.gov.ua/strategichnij-plan-rozvitku-pidgorodnyanskoi-teritorialnoi-gromadi (дата звернення 05.03.2026).

Тернопільщина. Історія міст і сіл: у 3-х томах. Том 3. Тернопіль: ТзОВ "Терно-граф", 2014. 608 с.

Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін : монографія / за ред. К. Мезенцева, Я. Олійника, Н. Мезенцевої. Київ: Видавництво «Фенікс», 2017. 438 с.

Gnatiuk, O., Mezentsev, K., & Provotar, N. From agricultural station to luxury village? Changing and ambiguous everyday practices in the suburb of Vinnytsia, Ukraine. *Moravian Geographical Reports*. 2021. Vol. 29 (3). P. 202–216. https://doi.org/10.2478/mgr-2021-0015

Kryczka, P., Sikorski, D., Figlus, T., Lisowska-Kierepka, A., Musiaka, L., Spórna, T., Sudra, P., & Szmytkie, R. Defining suburbanization in Central and Eastern Europe: A systematic literature review. *Cities*. 2025. Vol. 158. P.105–626. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105626

Mantey, D., Sudra, P. Types of suburbs in post-socialist Poland and their potential for creating public spaces. *Cities*. 2019. Vol. 88. P. 209–221. https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.11.001

Melnychuk V. Suburban spaces research: approaches, criteria, conceptualisation. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya*. 2025. Vol. 93. P. 74–92. https://doi.org/10.17721/2413-7154/2025.93.74-92

Population statistics of Eastern Europe & former USSR [Electronic resource]. URL: http://pop-stat.mashke.org/ukraine-division.htm (access date 01.03.2026).

Stanilov, K., & Sýkora, L. Postsocialist suburbanization patterns and dynamics: A comparative perspective. *Confronting Suburbanization: Urban Decentralization in Postsocialist Central and Eastern Europe.* 2014. P. 256–295. https://doi.org/10.1002/9781118295861.CH9

References

Biudzhety terytorialnykh hromad Ukrainy [Budgets of territorial communities of Ukraine]. [Electronic resource] URL: https://public.tableau.com/app/profile/ ulead/viz/_16360623127390/ sheet0 (access date 01.02.2026) [in Ukrainian].

Heohrafiia Ternopilskoi oblasti: monohrafiia. (2020). T.2. Naselennia. Hospodarstvo. 2-e vyd., pereroblene i dopovnene [Geography of the Ternopil region: monograph. In 2 volumes] (Volume 2. Population. Economy. 2nd edition, revised and supplemented). Ternopil : TNPU im. V. Hnatiuka, Osadtsa Yu [in Ukrainian].

Zakutynska I. I., Slyvka R. R. (2016). Suburbanizatsiia v prostorovomu vymiri: Ivano-Frankivsk i yoho okolytsi [Suburbanization in the spatial world: Ivano-Frankivsk and its surroundings]. Kyiv: Lohos [in Ukrainian].

Kubiiovych V. (1983). Etnichni hrupy pivdenno-zakhidnoi Ukrainy (Halychyny) na 1.1.1939. [Ethnic groups of southern and eastern ,kraine (Halychyna) on 1.1.1939]. Wiesbaden: Otto Harassowitz [in Ukrainian].

Mezentsev K., Provotar N., Hnatiuk O., Melnychuk A., Denysenko O. (2019). Neodnoznachni prymiski prostory: tendentsii ta osoblyvosti zminy povsiakdennykh praktyky [Unidentified suburban spaces: tendencies and peculiarities of changing everyday practices]. *Ekonomichna ta sotsialna heohrafiia [Economic and social geography]*, 82, 4–19. https://doi.org/10.17721/2413-7154/2019.82.4-19 [in Ukrainian].

Mezentsev K., Provotar N., Hnatiuk O., Melnychuk A., Denysenko O. (2020). Traiektorii rozvytku prymiskykh prostoriv [Development trajectories of suburban areas]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriia Heohrafichni nauky [Scientific Bulletin of Kherson State University. Series of Geographical Sciences]*, 13, 63–75. https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2020-13-7 [in Ukrainian].

Pasport Baikovetskoi hromady [Passport of the Baikivtsi community]. [Electronic resource] URL: https://rada.info/upload/users_files/04394846/8dc7faba244b35a2d0 cc79c0159cf909.pdf (access date 02.12.2025) [in Ukrainian].

Proiekt Stratehii rozvytku Biletskoi silskoi terytorialnoi hromady do 2030 roku. [Draft Strategy for the Development of the Bila territorial community by 2030]. [Electronic resource] URL: https:// rada.info/upload/users_files/14029160/f992 6064c21fd11ddfd7b2d2b46b2e04.docx (access date 26.02.2026) [in Ukrainian].

Salii M. (2024). Suchasni transformatsiini protsesy Ternopilskoi raionnoi systemy rozselennia. [Current transformation processes of the Ternopil district settlement system]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu : Heohrafiia [Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography]*, 847, 169–180. DOI: https://doi.org/10.31861/geo.2024.847.169-180 [in Ukrainian].

Sotsialno-ekonomichnyi profil Velykoberezovytskoi terytorialnoi hromady. [Socio-economic profile of the Velyka Berezovytsia territorial community]. [Electronic resource] URL: https:// vbsr.gov.ua/images/Strategia_rozvunky/ profil_hromady.pdf (access date 01.03.2026) [in Ukrainian].

Stratehiia rozvytku Pidhorodnianskoi terytorialnoi hromady [Strategy of development of the Pidhorodne territorial community]. [Electronic resource] URL: https://pidgorodnyanska-gromada.gov.ua/strategichnij-plan-rozvitku-pidgorodnyanskoi-teritorialnoi-gromadi (access date 05.03.2026) [in Ukrainian].

Ternopilshchyna. Istoriia mist i sil: u 3-kh tomakh. (2014). Tom 3. [Ternopilshchyna. History of cities and villages: in 3 volumes. Volume 3]. Ternopil: TzOV "Terno-hraf" [in Ukrainian].

Urbanistychna Ukraina: v epitsentri prostorovykh zmin: monohrafiia. (2017) [Urbanistic Ukraine: in the epicenter of spatial changes: monograph] (ed. K. Mezentsev, Ya. Oliinyk, N. Mezentseva). Kyiv: Vydavnytstvo «Feniks». [in Ukrainian].

Gnatiuk, O., Mezentsev, K., & Provotar, N. (2021). From agricultural station to luxury village? Changing and ambiguous everyday practices in the suburb of Vinnytsia, Ukraine. *Moravian Geographical Reports*, 29 (3), 202–216. https://doi.org/10.2478/mgr-2021-0015 [in English].

Kryczka, P., Sikorski, D., Figlus, T., Lisowska-Kierepka, A., Musiaka, L., Spórna, T., Sudra, P., & Szmytkie, R. (2025). Defining suburbanization in Central and Eastern Europe: A systematic literature review. *Cities*, 158, 105–626. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105626 [in English].

Mantey, D., & Sudra, P. (2019). Types of suburbs in post-socialist Poland and their potential for creating public spaces. *Cities*, 88, 209–221. https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.11.001 [in English].

Melnychuk, V. (2025). Suburban spaces research: approaches, criteria, conceptualisation. *Ekonomichna Ta Sotsialna Geografiya*, 93, 74–92. https://doi.org/10.17721/2413-7154/2025.93.74-92 [in English].

Population statistics of Eastern Europe & former USSR [Electronic resource] URL: http://pop-stat.mashke.org/ukraine-division.htm (access date 01.03.2026) [in English].

Stanilov, K., & Sýkora, L. (2014). Postsocialist suburbanization patterns and dynamics: A comparative perspective. In K. Stanilov, L. Sýkora (Eds.), Confronting Suburbanization: Urban Decentralization in Postsocialist Central and Eastern Europe P. 256–295. https://doi.org/10.1002/9781118295861.CH9 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 06.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 556:551.4:911.2
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.9

ПРИРОДНІ ХОРИЧНІ РІЧКОВІ ЛАНДШАФТИ ТА БАСЕЙНОВІ ГЕОСИСТЕМИ (ХОРИЧНО-РЕГІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ЛАНДШАФТНОГО УСТРОЮ РАЙОНІВ РІЧКОВИХ БАСЕЙНІВ)

Ю. С. Ющенко[1], М. Д. Пасічник[2], А. А. Мельник[3]

У статті розглянуто методологічні та методичні засади формування гідроморфологічної хорично-регіональної моделі ландшафтного устрою річкових басейнових систем і районів річкових басейнів. Актуальність дослідження зумовлена сучасними потребами інтеграції басейнового управління водними ресурсами з ландшафтним і просторовим плануванням, що особливо важливо в умовах посилення антропогенних впливів та необхідності узгодження управлінських рішень із природною ієрархією річкових геосистем. Вихідним положенням є розуміння того, що річкові ландшафти мають гідроморфологічну природу, формуються у процесі функціонування системи потік–русло та повинні аналізуватися з урахуванням полімасштабності й кросмасштабності ландшафтної організації.

У роботі виконано огляд і порівняльний аналіз підходів українських учених до фізико-географічної та геоморфологічної регіоналізації, з'ясовано співвідношення регіонального, хоричного і топічного рівнів у дослідженні річкових басейнових систем. Особливу увагу приділено ролі геоморфологічної основи, насамперед ерозійно-акумулятивного рельєфу, який визначає просторову організацію річкових долин, басейнів і пов'язаних із ними ландшафтних комплексів. Показано, що для обґрунтування хорично-регіональної моделі необхідно поєднати загальну ієрархію ландшафтів із порядковою ієрархією річкових басейнових систем та парагенетичною ієрархією річково-долинних ландшафтів.

Обґрунтовано, що до хоричного рівня переважно належать річкові басейнові системи перших чотирьох порядків, однак їх ідентифікація не може бути суто формальною і повинна здійснюва-

[1] доктор географічних наук,
професор кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: y.yushchenko@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5616-8089
[2] кандидат географічних наук,
доцент кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: m.pasichnyk@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-9378-6302
[3] кандидат географічних наук,
доцент кафедри геодезії, картографії та управління територіями
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: a.melnik@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-1840-974X

тися з урахуванням положення таких систем у межах геоморфологічних районів і підрайонів. При переході до регіонального рівня ключового значення набувають річкові долини як парагенетично організовані ландшафтні системи. Використання парагенетичної таксономії дає змогу виокремлювати територіальну структуру долинно-річкових ландшафтів, зокрема молодого річкового ландшафту, сформованого сучасними руслами і заплавами. У цьому контексті показано, що пояс парагенетичного річкового ландшафту відповідає регіональному рівню, тоді як сектори і ланки належать до хоричного рівня та забезпечують детальніше розкриття внутрішньої будови річкових долин.

Запропонований підхід дає змогу інтегрувати басейнове та ландшафтне планування, розглядати райони річкових басейнів як поєднання хоричних річкових басейнових систем і регіональних ділянок долин, а також уточнювати наукове розуміння малих річок через їх зв'язок із хоричним рівнем організації. Сформована модель може бути використана як теоретична й методична основа для гідроморфологічних досліджень, територіального аналізу річкових ландшафтів і підготовки управлінських рішень у сфері охорони та збалансованого використання водних ресурсів.

Ключові слова: *річкова басейнова система, хоричний рівень, регіональний рівень, парагенетичні річкові ландшафти, молодий річковий ландшафт.*

NATURAL CHORICAL RIVER LANDSCAPES AND BASIN GEOSYSTEMS (A CHORICAL-REGIONAL MODEL OF THE LANDSCAPE STRUCTURE OF RIVER BASIN DISTRICTS)

Yu. S. Yushchenko, M. D. Pasichnyk, A. A. Melnyk

The article examines the methodological and procedural foundations for developing a hydromorphological chorical-regional model of the landscape organization of river basin systems and river basin districts. The relevance of the study is determined by the contemporary need to integrate river basin water resources management with landscape and spatial planning, which is especially important under conditions of increasing anthropogenic pressure and the need to harmonize management decisions with the natural hierarchy of river geosystems. The starting point of the study is the understanding that river landscapes are hydromorphological in nature, are formed through the functioning of the flow-channel system, and should be analyzed with due regard to the poliscale and cross-scale organization of landscapes.

The paper provides a review and comparative analysis of the approaches developed by Ukrainian scholars to physical-geographical and geomorphological regionalization, and clarifies the relationship between the regional, chorical, and topical levels in the study of river basin systems. Particular attention is paid to the role of the geomorphological framework, especially erosional-accumulative relief, which determines the spatial organization of river valleys, basins, and associated landscape complexes. It is shown that, in order to substantiate the chorical-regional model, it is necessary to combine the general hierarchy of landscapes with the order-based hierarchy of river basin systems and the paragenetic hierarchy of river-valley landscapes.

It is substantiated that river basin systems of the first four orders mainly belong to the chorical level; however, their identification cannot be purely formal and should be carried out with regard to the position of such systems within geomorphological regions and subregions. At the transition to the regional level, river valleys acquire key importance as paragenetically organized landscape systems. The use of paragenetic taxonomy makes it possible to distinguish the territorial structure of valley-river landscapes, in particular the young river landscape formed by contemporary channels and floodplains. In this context, it is shown that the belt of the paragenetic river landscape corresponds to the regional level, whereas sectors and links belong to the chorical level and provide a more detailed interpretation of the internal structure of river valleys.

The proposed approach makes it possible to integrate basin and landscape planning, to consider river basin districts as a combination of chorical river basin systems and regional valley sections, and also to refine the scientific understanding of small rivers through their connection with the chorical level of organization. The developed model may be used as a theoretical and methodological basis for hydromorphological studies, territorial analysis of river landscapes, and the preparation of management decisions in the field of water protection and the sustainable use of water resources.

Key words: *river basin system, chorical level, regional level, paragenetic river landscapes, young river landscape.*

Вступ

Сучасний стан розвитку управління водами, водними об'єктами, річковими басейновими системами характеризується застосуванням концепцій інтегрованого планування та управління аж до рівня сталого розвитку. Зокрема плани управління річковими басейнами доцільно інтегрувати у просторове планування загалом. Такі процеси вже відбуваються у Європейському Союзі, європейських країнах. Зокрема йдеться про інтеграцію басейнового та ландшафтного (ландшафтно-екологічного) планування. Вочевидь при цьому неможливо обійти увагою ієрархічне структурування річкових ландшафтів, ландшафтів річкових басейнових систем, районів річкових басейнів.

Річкові ландшафти, ландшафтний устрій річкових басейнових систем є складовими ландшафтної сфери Землі, ландшафтів суходолу. Ландшафти характеризуються певною часово-просторовою ієрархією. Для їх вивчення застосовують відповідну таксономію. Її важливими групами – рівнями є регіональний, хоричний і топічний. Розгляд відповідного ландшафтного устрою річкових басейнових систем, по-перше, розкриває сутнісно важливі, об'єктивні його закономірності, а по-друге, сприяє ефективності організації планування управління річковими ландшафтами. Оскільки ці ландшафти є генетично гідроморфологічними, зароджуються у процесах функціонування системи потік-русло, доцільно сформувати саме гідроморфологічну хорично-регіональну модель річкової басейнової системи.

Структурні рівні ієрархічно побудованих систем характеризуються власними закономірностями самоорганізацій, внутрішніми зв'язками та процесами. Водночас для розуміння їх сутності необхідно проводити порівняння з іншими рівнями. За М.Д. Гродзинським (Гродзинський, 2005) «пізнати ландшафт можна, аналізуючи його у різних масштабах простору і часу (полімасштабність ландшафту), а деякі його властивості виявляються при переході від одного масштабу до іншого (кросмасштабність ландшафту)» (Гродзинський, 2005). Цікавою аналогією пізнання системи потік-русло (СПР), функціонування якої на різних рівнях взаємопов'язане. Власне це функціонування лежить в основі генезису річкових ландшафтів.

Пізнання функціонування системи на різних рівнях стосується і основних процесів і відповідних чинників. За М.Д. Гродзинським (Гродзинський, 2005) до факторів регіонального рівня відносяться: «макроположення території щодо океанів та гірських систем; загальна циркуляція атмосфери; морфоструктури високих порядків; етногенез». Для потреб аналізу річкових ландшафтів, які у генетичній основі є гідроморфологічними, виділимо з наведеного переліку опади, водний баланс і морфоструктури високого рівня. Для топічного рівня характерною є дія локальних чинників. Відповідно, стосовно річок, у морфологічному відношенні може йтися про конкретні цілісні форми, починаючи від форм русел і завершуючи елементарними долинами та басейнами першого порядку.

Між топічним та регіональним рівнями формується хоричний рівень. М.Д. Гродзинський (Гродзинський, 2005) характеризував його дією внутрішьо територіальних факторів до яких належать екзогенні процеси, результатом дії яких є, перш за все, відповідні форми та елементи рельєфу.

З позицій планування управління річками, річковими ландшафтами доцільно перш за все сконцентрувати увагу на порівнянні регіонального та хоричного рівнів їх організації. Планування на топічному рівні можна розглядати як особливу, дуже деталізовану, складову планування на хоричному рівні. Порівняння можна виконати через огляд характерних рис нижчих рівнів регіоналізації (фізико-географічної та геоморфологічної).

Згідно О.М. Маринича та П.Г. Шищенка (Маринич і Шищенко 2006) фізико-географічні області характеризуються особливостями геолого-геоморфологічної будови (в межах провінцій), зумовлені оротектонікою. В межах областей виділяють підобласті, що характеризуються особливостями залягання корінних порід, зокрема четвертинних відкладів. Оротектоніка, рельєф і літологія визначають характерні для області/підобласті фізико-географічні процеси, зокрема ерозію та акумуляцію. Фізико-географічний район розкриває характерні відмінності сучасних фізико-географічних процесів та ландшафтної структури (системи місцевостей) в межах області/підобласті. Для нас важливо виділити відмінності ерозійно-акумулятивних процесів.

Згідно цих же авторів (Маринич і Шищенко, 2006) геоморфологічна область характеризується певною єдністю мор-

фоструктурних і морфоскульптурних рис рельєфу. Вона відповідає одній чи декільком геологічним структурам з однаковою інтенсивністю тектонічних рухів. У геоморфологічних районах переважає певний вид рельєфоутворюючих процесів та генетичний тип рельєфу. (Нас перш за все цікавлять особливості флювіального рельєфу).

За П.М. Цисем (Цись, 1962) та Я.С. Кравчуком (Кравчук, 1999) геоморфологічна область виділяється за морфоструктурними особливостями, а геоморфологічний район за характерним типом рельєфу, або за неповторним поєднанням кількох типів. Також виділяються підрайони (за особливостями рис морфографії та морфометрії).

Загалом описані характеристики регіональних одиниць є непротирічивими. Для рівня області з геолого-геоморфологічною будовою корелюють (пов'язані) єдність морфоструктурних і морфоскульптурних рис рельєфу або морфоструктурні особливості. Для району йдеться про характерні типи фізико-географічних та рельєфоутворюючих процесів (що відображаються у ландшафтах та рельєфі). Також відмітимо, що фізико-географічний або ландшафтний район це система місцевості.

Повертаючись до необхідності, способу виділення хоричного рівня через порівняння з регіональним, можемо констатувати, що до нього відносяться ландшафтні місцевості (та, відповідно, урочища), а також певні, територіально виражені, складові типового рельєфу. Це можуть бути певні форми рельєфу, їх комплекси. За М.Д. Гродзинським (Гродзинський, 2005) з поняттям «місцевість» корелює поняття «мезогеохора». У геоморфологічному відношенні це територія з одним геологічним фундаментом і вкриваючими його відкладами, розташованими на одній мезоформі земної поверхні (рельєфу). Мезоформи рельєфу формуються переважно під впливом екзогенних чинників. Це співпадає з характеристикою хоричного рівня. (Для порівняння, макроформи рельєфу це гірські хребти, великі западини, низовини і височини тощо).

Описані загальні фізико-географічні, ландшафтознавчі та геоморфологічні характеристики можна взяти за основу для аналізу хоричного рівня річкових ландшафтів і басейнових геосистем.

Матеріал і методи

Формування гідроморфологічної хорично-регіональної моделі ландшафтного устрою річкової басейнової системи, району річкового басейну це міждисциплінарна науково-прикладна проблема. Для її вирішення необхідно інтегрувати ландшафтознавчі, геоморфологічні, гідрологічні, гідроморфологічні підходи, знання. Такий синтез можна здійснити через аналіз відповідних теоретичних положень, базових понять, які базуються на узагальненні широкого емпіричного матеріалу. Важливим методом ідентифікації хоричного та регіонального рівнів, виявлення співвідношення між ними є застосування поняття про кросмасштабність ландшафту. Також дана методична проблема є особливою складовою ландшафтно-гідрологічних, ландшафтно-гідроморфологічних досліджень. Для формування хорично-регіональної моделі необхідно запропонувати конкретну методику, технологію.

Результати та їх обговорення

Розпочнемо аналіз з річкових басейнових геосистем (РБС). До хоричного рівня (включаючи і топічний) відносяться такі з них, що сформовані в межах геоморфологічних районів (менші за розмірами, ніж райони або підрайони). Підсумовуючи результати досліджень гідрологів, ландшафтних екологів, географів і характеризуючи басейнову конфігурацію ландшафтів М.Д. Гродзинський (Гродзинський, 2005) дає орієнтир – басейни від першого до четвертого порядків. Однак, відомо, що існують проблеми у визначенні, ідентифікації річок перших порядків. Тому, не виключається похибка в один порядок. І сам М.Д. Гродзинський (Гродзинський ,2005) зауважує, що ця межа має розмитий характер. Отже, у комплексі, спосіб ідентифікації РБС хоричного рівня повинен поєднувати оцінку порядку та порівняння з геоморфологічними районами і підрайонами досліджуваної території. У підсумку отримуємо, для достатньо великих РБС, хорично-регіональну модель ландшафтного устрою. У світі також є надвеликі РБС, що займають значні частини материків і досягають субглобального масштабного рівня. Вони потребують індивідуального підходу і можуть бути названі хорично-регіонально-субглобальними.

Серцевиною РБС є річково-долинні системи (РДС). Долини, що виходять за межі хоричних РБС мають характер, рівень регіональних (або субглобальних). Ландшафтний устрій і ландшафтну територіальну структуру таких долин доцільно описувати, характеризувати, ідентифіку-

вати за допомогою таксономічної системи парагенетичних річкових ландшафтів. Такі дослідження виконуються починаючи від 70-х років 20-го століття. Скористуємось розробками Г.І. Швебса, які підтримав М.Д. Гродзинський (Гродзинський, 2005). Вищий рівень це парагенетичний пояс. Це «територіально цілісний фрагмент долини з однотипним перебігом сучасних фізико-географічних процесів в умовах однієї морфоструктури». Ці ознаки корелюють з ознаками фізико-географічного району. Отже, це одиниці регіонального рівня. Такі ділянки долин можуть перетинати або знаходитись на межах двох та більше районів/підрайонів, областей, провінцій, країн.

Другим рівнем є парагенетичний сектор. Це ділянка «однотипна за структурою та динамікою насамперед терас та схилів». Такі ознаки корелюють з описом місцевостей, або мезогеохор. Таким чином, вони відносяться вже до хоричного рівня. Це верхній підрівень хоричного рівня регіональних ділянок річкових долин.

Третім рівнем парагенетичного річкового ландшафту (нижчим підрівнем хоричного рівня) виступають парагенетичні ланки. Це «сукупність суміжних генетично близьких місць у заплавно-русловій частині долини річки…». У руслознавчих дослідженнях це поняття корелює з поняттям морфологічно однорідних ділянок та поняттям однорідної ділянки русла і заплави (ОДРЗ) (Ющенко, 2005; Ющенко та ін., 2012; Ющенко та ін., 2017).

Описаний хорично-регіональний ландшафтний устрій РБС, акцентуючи на поєднанні РБС хоричного рівня та ділянок регіональних долин, нами було запропоновано називати також моделлю РБС «крона-стовбури». (Регіональні долини це стовбурні долини). На нашу думку, це зручна модель для інтеграції басейнового та ландшафтного планування. Враховуючи, що басейнове планування стосується районів річкових басейнів (РРБ) виділяємо їх хоричні складові (ХС РРБ) та регіональні складові (РС РРБ). Хоричні складові включають відповідні РБС в межах великих та поза ними, а також в межах регіональних ділянок долин.

Досвід наших досліджень (Ющенко, 2005; Ющенко та ін., 2012; Костенюк, 2012; Ющенко та ін., 2017) території південно-східного Передкарпаття суббасейнів Пруту та Сірету показує, що річки 4–5-го порядків у своїй верхній або нижній течії можуть заходити на території сусіднього геоморфологічного району (або знаходитися на межі). В обидвох випадках це не означає перехід на регіональний рівень. З іншого боку, ділянки річок та їх долин регіонального рівня досить часто служать межами геоморфологічних районів, областей, провінцій, країн.

Тематика хоричних РБС певним чином пов'язана з тематикою малих річок. Існують різні способи та аспекти кількісного опису категорій малих річок. Ґрунтовний аналіз даної проблеми знаходимо, наприклад, у працях В.В. Гребеня та В.К. Хільчевського (Гребінь і Хільчевський, 2016). Водночас відомо, що у гідрологічних дослідженнях процесів формування стоку води у річках використовують таке поняття як «басейни гранично малих річок», або «гранично малі водозбори». У зонах надлишкового зволоження площа становить 50–100 км^2. (Зокрема це стосується і умов Українських Карпат). У зонах помірного зволоження вона досягає 200–300 км^2, а у зонах недостатнього навіть понад 1000 км^2. За іншими даними для зони тундри та лісової ці значення становлять 30–100 км^2, лісостепової 200–300 км^2, напівпустель 2000–3000 км^2. Із цим корелюють дані щодо густоти річкової мережі. Для тундри, півночі лісової зони, зволожених гір вона становить біля, або понад 1 км/км^2; для помірних зволожених рівнин 0,3–0,5 км/км^2; для степів, сухих степів $\leq$ 0,1 км/км^2. Орієнтовний графік зв'язку наведено на рис. 1.

Він показує, що найбільше на площу гранично малих водозборів впливає саме посушливий клімат. Ці дані також дають можливість змістовно оцінювати формалізовані підходи до критеріїв виділення малих річок.

Поряд із даними досліджень стоку води у річках важливо звернути увагу на дані дослідження безпосередньо площ басейнів різних порядків. Для прикладу можемо скористатися найбільш відомими даними Леопольда, Вольмана і Міллера (Leopold et al., 1964) по Сполучених Штатах Америки (табл. 1).

Наведені осереднені дані показують, що з характерною для достатньо зволожених регіонів гранично малою площею водозбору (200–300 км^2) корелює осереднена площа характерна для річок США четвертого порядку. Також це перша градація площ, що входить до градації «середні річки» (100–1000 км^2) згідно ВРД ЄС.

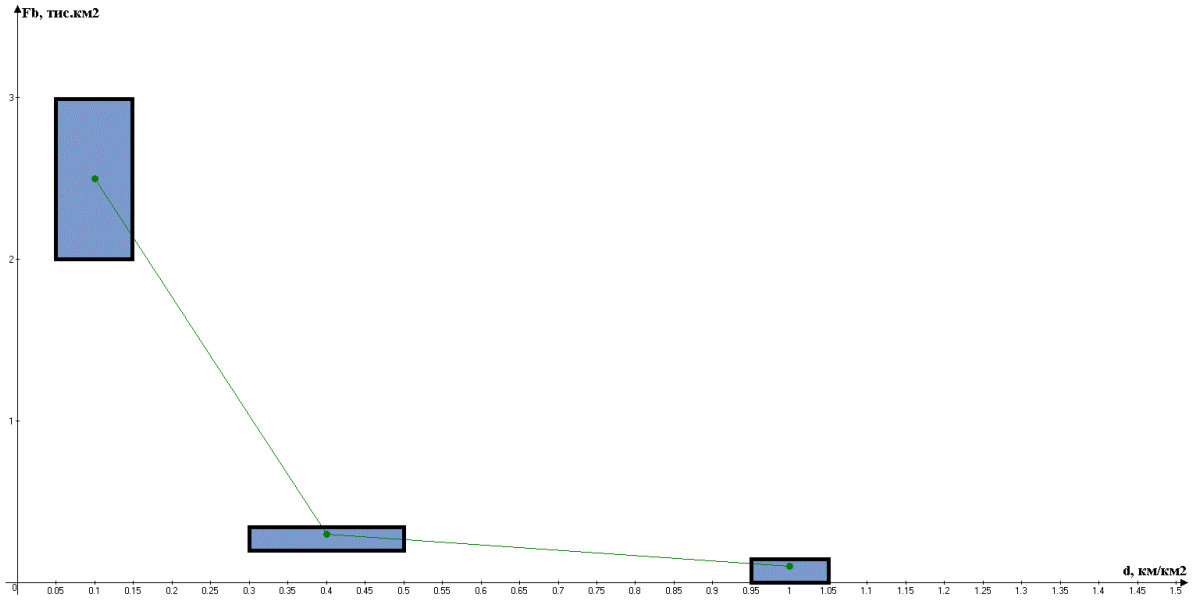


Рис. 1. Просторове співвідношення площ гранично малих водозборів та густоти річкової мережі залежно від зональних умов зволоження

Таблиця 1

Дані про річки Сполучених Штатів Америки (Leopold, et al., 1964)

Порядок	**Середня довжина, км**	**Середня площа водозбору, км²**
1	1,6	1,6
2	3,7	12,0
3	8,5	58,9
4	19,2	279
5	44,8	1326

Концепція вкладеної просторової ієрархії, де макромасштабні геоморфологічні процеси визначають розвиток і межі локальних руслових систем (Frissell et al., 1986), цілком узгоджується з принципами виділення хоричного та регіонального рівнів. Розгляд річкових коридорів як динамічної мозаїки ландшафтних елементів (Ward et al., 2002) та екосистемоцентрична платформа River Styles (Brierley, 2008) концептуально відповідають виділенню парагенетичних поясів і секторів, доводячи ключову роль геоморфологічної основи у формуванні екологічного потенціалу річок. Разом з тим, європейська багаторівнева структура REFORM (Gurnell et al., 2015) обґрунтовує просторову делінеацію ландшафтних одиниць та сегментів на основі площі водозбору та рельєфу, що є об'єктивним аналогом ідентифікації хоричних річкових систем 1-4 порядків. Нарешті, теорія річкового екосистемного синтезу, яка відкидає ідею безперервного континууму на користь масивів дискретних функціональних процесових зон (Thorp et al., 2006), виступає потужним епістемологічним еквівалентом парагенетичної таксономії долинно-річкових ландшафтів.

Водночас цікаво порівняти ці дані з даними про зв'язки довжин річок та площ їх водозборів. Наприклад, згідно В.В. Гребеня (Гребінь, 2019) для умов різних регіонів України площі водозборів довжиною біля 20 км становлять біля 100 км^2. Це значно менше, ніж згідно табл. 1. Отже, інформацію про порядки річок необхідно аналізувати із врахуванням умов конкретного регіону.

Висновки

Хоричний та регіональний рівні організації ландшафтної сфери Землі тісно пов'язані з відповідною будовою рельєфу, геоморфологічними процесами. Регіональний рівень пов'язаний з морфоструктурами високих порядків та макроформами рельєфу. Зокрема райони та підрайони пов'язані з характерними генетичними типами

рельєфу, серед яких важливу роль відіграє ерозійно-акумулятивний. Хоричний рівень пов'язаний з мезоформами рельєфу, комплексами більш дрібних форм, що лежать в основі формування місцевостей. Мезоформи розвиваються переважно під дією екзогенних чинників.

Разом з басейнами річок ерозійно-акумулятивний тип рельєфу охоплює практично весь суходіл. Він є складовою ієрархічної (таксономічної) системи ландшафтів. Водночас річкові басейнові системи та річковий гідроморфологічний ландшафт характеризується власною ієрархією: порядковою та парагенетичною. Порівняння цих ієрархій показує, що до хоричного рівня відносяться переважно басейни 1–4-го порядків. Водночас саме визначення (ідентифікація) порядків є складною процедурою, а також хорично-регіональна межа (як і більшість природних меж) є складною («розмитою»). Тому для ідентифікації річкових басейнових систем хоричного рівня необхідно проводити ув'язку з геоморфологічною регіоналізацією. З парагенетичних одиниць річкового (річково-долинного) ландшафту тільки пояс відноситься до регіонального рівня. Його можна пов'язувати з поняттям однорідної ділянки регіональної долини річки.

Райони річкових басейнів практично повністю охоплюються комплекси річкових басейнових систем хоричного рівня та ділянками річкових долин регіонального рівня. Сучасні гідроморфологічні річкові ландшафти, сформовані на основі русел і заплав в межах перших характеризуються значною залежністю від місцевих чинників, мінливістю. Вони потребують детального вивчення і відповідного масштабу відображення. Сучасний молодий гідроморфологічний річковий ландшафт в межах регіональних долин характеризується власною територіальною структурою, яку можна відображати як ланцюг індивідуальних ландшафтів. Отже, хорично-регіональна модель конфігурації сучасних річкових ландшафтів в межах районів річкових басейнів включає хоричні та регіональні складові, перш за все хоричні річково-басейнові системи та молодий річковий ландшафт регіональних долин. Це важливий спосіб інтеграції порядкової та парагенетичної ієрархії.

Поняття про хоричні річкові басейнові системи добре корелює з поняттям про малі річки. Водночас запропонований підхід для їх ідентифікації дає більш обґрунтоване, об'єктивне розуміння другого поняття. Існуючі формалізовані підходи до його визначення (зокрема у законах, нормативних документах) потребують ув'язки з географічними умовами.

Список використаної літератури

Гребінь В.В. Ідентифікація малих річок (існуючі проблеми та перспективи їх вирішення). Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології. Київ: Ніка-Центр, 2019. 17–31 с.

Гребінь В.В., Хільчевський В.К. Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2016. Т. 2. С. 32–47.

Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір : монографія: у 2 т. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. Т. 2. 504 с.

Костенюк Л.В. Закономірності руслоформування у річковій системі Верхнього Пруту : автореф. дис. канд. геогр. наук. Чернівці, 2012. 20с.

Кравчук Я.С. Геоморфологія Передкарпаття. Львів : Меркатор, 1999. 188 с.

Маринич О.М., Шищенко П. Г. Фізична географія України : підручник. 3-тє вид., стер. К. : Т-во «Знання», КОО, 2006. 479 с.

Цись П.Н. Геоморфологія УРСР. Львів : Вид-во Львів. ун-ту, 1962. 224 с.

Ющенко Ю.С. Геогідроморфологічні закономірності розвитку русел. Чернівці : Рута, 2005. 320 с.

Ющенко Ю.С., Гончар О.М., Григорійчук В.В. та ін. Гідроекологічне обґрунтування безпечного та збалансованого розвитку річкових природно-антропогенних систем Передкарпаття : монографія / за ред. Ю.С. Ющенка. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2017. 472 с. [Електронний ресурс]. URL: https://archer.chnu.edu.ua/handle/123456789/8935 (дата звернення 10.03.2026).

Ющенко Ю.С., Кирилюк А.О., Костенюк Л.В., Опеченик В.М., Паланичко О.В., Пасічник М.Д. Територіальна структура умов та проявів руслоформування річок. *Фізична географія та геоморфологія.* 2012. Вип. 2 (66). С. 72–79.

Brierley G. Geomorphology and river management. *Kemanusiaan.* 2008. Vol. 15. P. 13–26.

Frissell C.A., Liss W.J., Warren C.E., Hurley M.D. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management.* 1986. Vol. 10, no. 2. P. 199–214.

Gurnell A.M., Rinaldi M., Belletti B. [et al.]. A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. *Aquatic Sciences.* 2016. Vol. 78, no. 1. P. 1–16. https://doi.org/10.1007/s00027-015-0424-5

Luna B. Leopold, M. Gordon Wolman, John P. Miller. Fluvial Processes in Geomorphology. San Francisco: W. H. Freeman, 1964. 544 p.

Thorp J.H., Thoms M.C., DeLong M.D. The riverine ecosystem synthesis: biocomplexity in river networks across space and time. *River Research and Applications.* 2006. Vol. 22. P. 123–147. https://doi.org/10.1002/rra.901

Ward J.V., Tockner K., Arscott D.B., Claret C. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology.* 2002. Vol. 47. P. 517–539. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00893.x

References

Hrebin, V.V. (2019). Identyfikatsiia malykh richok (isnuiuchi problemy ta perspektyvy yikh vyrishennia) [Identification of small rivers: Existing problems and prospects for their solution]. *Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii [Problems of hydrology, hydrochemistry, and hydroecology]*, pp. 17–31. Nika-Tsentr. [in Ukrainian].

Hrebin, V.V., & Khilchevskyi, V.K. (2016). Retrospektyvnyi analiz doslidzhen richkovoi merezhi Ukrainy ta zastosuvannia typolohii richok Vodnoi ramkovoi dyrektyvy YeS na suchasnomu etapi [Retrospective analysis of studies of Ukraine's river network and application of the EU Water Framework Directive river typology at the present stage]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology],* Vol. 2, pp. 32–47. [in Ukrainian].

Hrodzynskyi, M.D. (2005). Piznannia landshaftu: Mistse i prostir [Cognition of landscape: Place and space] (Vol. 2). Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Kyivskyi universytet". [in Ukrainian].

Kosteniuk, L.V. (2012). Zakonomirnosti rusloformuvannia u richkovii systemi Verkhnoho Prutu: avtoref. dys. kand. heohr. nauk. [Regularities of channel formation in the river system of the Upper Prut: Extended abstract of candidate's thesis]. Chernivtsi: Yurii Fedkovych Chernivtsi National University. [in Ukrainian].

Kravchuk, Ya.S. (1999). Heomorfolohiia Peredkarpattia [Geomorphology of the Pre-Carpathians]. Lviv: Merkator. [in Ukrainian].

Marynych, O.M., & Shyshchenko, P.H. (2006). Fizychna heohrafiia Ukrainy [Physical geography of Ukraine] (3rd ed.). K: T-vo "Znannia", KOO. [in Ukrainian].

Tsys, P.M. (1962). Heomorfolohiia URSR [Geomorphology of the Ukrainian SSR]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoho universytetu. [in Ukrainian].

Yushchenko, Yu.S. (2005). *Heohidromorfolohichni zakonomirnosti rozvytku rusel* [Geo-hydromorphological regularities of channel development]. Ruta. [in Ukrainian].

Yushchenko, Yu.S., Honchar, O.M., Hryhoriichuk, V. V., Karavan, Yu. V., & Kosteniuk, L. V. (2017). Hidroekolohichne obgruntuvannia bezpechnoho ta zbalansovanoho rozvytku richkovykh pryrodno-antropohennykh system Peredkarpattia [Hydroecological substantiation of safe and balanced development of Pre-Carpathian river natural-anthropogenic systems]. Chernivtsi: Chernivetskyi natsionalnyi universytet imeni Yuriia Fedkovycha. [Electronic resource] URL: https://archer.chnu.edu.ua/handle/123456789/8935 (access date 10.03.2026) [in Ukrainian].

Yushchenko, Yu.S., Kyryliuk, A.O., Kosteniuk, L.V., Opechenyk, V.M., Palanychko, O. V., & Pasichnyk, M. D. (2012). Terytorialna struktura umov ta proiaviv rusloformuvannia richok [Territorial structure of conditions for and manifestations of river channel formation]. *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia [Physical geography and geomorphology], 2*(66), pp. 72–79. [in Ukrainian].

Brierley, G. (2008). Geomorphology and river management. *Kemanusiaan,* 15, 13–26. [in English].

Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E., & Hurley, M.D. (1986). A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. *Environmental Management, 10*(2), 199–214. [in English].

Gurnell, A.M., Rinaldi, M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., Ziliani, L. (2015). A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. *Aquatic Sciences.* https://doi.org/10.1007/s00027-015-0424-5 [in English].

Leopold, L.B., Wolman, M.G., & Miller, J.P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. W.H. Freeman [in English].

Thorp, J.H., Thoms, M.C., & DeLong, M.D. (2006). The riverine ecosystem synthesis: Biocomplexity in river networks across space and time. *River Research and Applications, 22*, 123–147. https://doi.org/10.1002/rra.901 [in English].

Ward, J.V., Tockner, K., Arscott, D.B., & Claret, C. (2002). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology, 47*, pp. 517–539. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00893.x [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 24.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ХІМІЯ

UDC 638.162:547.56:543.42
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.10

DETERMINATION OF POLYPHENOLIC COMPOUNDS IN HONEY SAMPLES OF DIFFERENT OTANICAL ORIGIN

V. M. Ischenko[1], N. P. Kvitkovska[2], I. V. Popova[3], M. V. Ischenko[4], V. S. Tanchyn[5]

A study was conducted on the quantitative determination of biologically active components of Ukrainian honey, in particular polyphenols and flavonoids, which are responsible for its antioxidant, antibacterial, and anti-inflammatory properties. Thirteen honey samples harvested in 2023–2024 from different regions of Ukraine were analyzed, including monofloral (sunflower, linden, rapeseed, black locust), polyfloral (wildflower), and blended varieties. The primary method for quantitative analysis of total polyphenol content was the Folin–Ciocalteu colorimetric assay (measured at 750 nm), while flavonoid determination was carried out using a photometric reaction with $AlCl_3$ in an alkaline medium (measured at 510 nm). The total phenolic content in the domestic samples was found to range from 108 to 770 mg GAE/kg. The highest values were characteristic of wildflower honey, while the lowest values were recorded in acacia and linden honeys. No direct correlation was found between polyphenol content and botanical origin for monofloral and polyfloral varieties. The flavonoid content in the studied samples ranged from 3 to 28 mg/kg. For rapid approximate estimation of total polyphenol content, spectrophotometric

[1] PhD in Chemistry,
Associate Professor at the Department of Food Chemistry
(National University of Food Technologies, Kyiv)
e-mail: ischenko_vn@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0218-8516
[2] Senior Lecturer at the Department of Food Chemistry
(National University of Food Technologies, Kyiv)
e-mail: suxodolska@ukr.net
ORCID: 0009-0008-3268-0510
[3] PhD in Engineering, Doctor of Sciences (Philosophy),
Professor at the Department of Food Chemistry
(National University of Food Technologies, Kyiv)
e-mail: nuftpopova@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0332-2681
[4] PhD in Chemistry,
Associate Professor at the Department of Analytical Chemistry
(Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv)
e-mail: ischenko_mv@knu.ua
ORCID: 0000-0002-0851-1679
[5] Master's Student at the Department of Analytical Chemistry
(Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv)
e-mail: tan4invik@gmail.com
ORCID: 0009-0001-6889-0471

analysis of the samples was performed. It was established that absorbance at 280 nm (A^{280}) exhibits an insufficiently strong correlation with total polyphenol content due to possible interference from non-phenolic components, and therefore it is not recommended for express analysis. In contrast, a strong correlation was found between optical density at 450 nm (A^{450}) and flavonoid content, which allows this parameter to be used for rapid assessment of the antioxidant potential of honey. The obtained data underscore the high competitiveness of Ukrainian honey on the international market.

Key words: *honey, polyphenols, flavonoids, spectrophotometry.*

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛІФЕНОЛЬНИХ СПОЛУК У ЗРАЗКАХ МЕДУ РІЗНОГО БОТАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

В. М. Іщенко, Н. П. Квітковська, І. В. Попова, М. В. Іщенко, В. С. Танчин

Проведено дослідження по кількісному визначенню біологічно активних компонентів українського меду, зокрема поліфенолів та флавоноїдів, які зумовлюють його антиоксидантні, антибактеріальні та протизапальні властивості. У роботі проаналізовано 13 зразків меду врожаю 2023–2024 років із різних регіонів України, що включали монофлорні (соняшниковий, липовий, ріпаковий, акацієвий), поліфлорні (різнотрав'я) та купажовані сорти. Основним методом кількісного аналізу загального вмісту поліфенолів обрано колориметричний метод Фоліна–Чокальтеу (вимірювання при 750 нм), а для визначення флавоноїдів – фотометричну реакцію з $AlCl_3$ у лужному середовищі (вимірювання при 510 нм). Встановлено, що загальний вміст фенольних речовин у вітчизняних зразках становить від 108 до 770 мг GAE/кг. Найвищі показники характерні для меду з різнотрав'я, тоді як мінімальні значення зафіксовано в акацієвому та липовому медах. Для монофлорних та поліфлорних сортів не виявлено прямої залежності показників вмісту поліфенолів від їхнього ботанічного походження. Вміст флавоноїдів у досліджуваних зразках становить від 3 до 28 мг/кг. Для швидкої наближеної оцінки загального вмісту поліфенолів у зразках проведено їх спектрофотометричне дослідження. Встановлено, що світлопоглинання при 280 нм (A^{280}) має недостатньо сильну кореляцію із загальним вмістом поліфенолів через можливий вплив нефенольних компонентів, тому воно не рекомендоване для експрес-аналізу. Натомість виявлено сильну кореляцію між оптичною густиною при 450 нм (A^{450}) та вмістом флавоноїдів, що дозволяє використовувати цей показник для оперативної оцінки антиоксидантного потенціалу меду. Отримані дані підкреслюють високу конкурентоспроможність українського меду на міжнародному ринку.

Ключові слова: *мед, поліфеноли, флаваноїди, спектрофотометрія.*

Introduction

Honey, consumed by humans since ancient times, is one of the most valuable dietary components. It is a unique natural product made by bees from flower nectar or plant secretions, yielding nectar or honeydew honey. Although the therapeutic potential of honey is still being investigated, numerous researchers confirm its exceptional biological value (Samarghandian et al., 2017; Hanif et al., 2025). Honey is known to possess antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant, antidiabetic, and antitumor effects, as well as to regulate digestion and cardiac function. These properties are attributable to the complex chemical composition of honey, which includes volatile and non-volatile compounds: phenolic substances, amino acids, enzymes, essential oils, etc. (Bobis et al., 2020; Kiran & Riyaz, 2026). In recent years, a substantial body of literature has emerged describing the mechanisms of action of individual honey compounds at the molecular level. The study by Wilczyńska & Żak (2024) (Wilczyńska & Żak, 2024), recommends dividing these compounds into two main groups: those with antimicrobial activity and those with antioxidant activity. The antioxidant properties of honey are primarily attributable to the presence of polyphenols, represented by flavonoids, phenolic acids, and their derivatives. The content of these compounds depends primarily on the botanical origin (nectar source), which determines the type and concentration of active substances (Mustafa et al., 2025). Other key factors include: geographical origin and climatic conditions, harvest time, processing methods, and storage conditions (Kędzierska-Matysek et al., 2021; Nyarko et al., 2023). Furthermore, a number of studies (Ibrahimi & Hajdari, 2020; Mendoza Bacilio et al., 2022) confirm a direct correlation between phenolic compound content and honey color intensity –

typically, darker varieties exhibit higher antioxidant activity.

Spectrophotometry is one of the most accessible and widespread methods for quantitative determination of certain honey components. In particular, the determination of total polyphenol content is predominantly based on the Folin–Ciocalteu colorimetric method (Gośliński et al., 2021). This method employs the eponymous reagent, which consists of phosphotungstic acid $H_3PW_{12}O_{40}$ and phosphomolybdic acid $H_3PMo_{12}O_{40}$ heteropolyacids. The reduction of these heteropolyacids by reducing agents in an alkaline medium yields a blue coloration measured at 750 nm. However, since this assay is based on a redox reaction, compounds other than phenols, such as reducing sugars and ascorbic acid, may also react with the heteropolyacids (Truchado et al., 2008). Standard solutions of gallic acid are used for calibration curve construction; therefore, the quantitative phenol content values obtained are expressed in gallic acid equivalents (mg GAE/kg). Depending on the aforementioned factors, the polyphenol content in Polish honey ranged from 71.7 to 202.6 mg GAE/kg (Pyrzynska & Biesaga, 2009), while in Croatian honey this parameter was 56–500 mg GAE/kg (Kenjerić et al., 2007). Meanwhile, the average total polyphenol content in Ethiopian honey samples varied from 170.3 to 420.4 mg GAE/kg (Yayinie et al., 2022). A study of honey from Colorado (USA) recorded total phenolic content levels of 816–1057 mg GAE/kg (Nyarko et al., 2023).

Photometry can also be applied for the determination of flavonoids (a subclass of polyphenols); the method for their determination in honey is described by Paula et al. (2024). The principle of the photometric determination of flavonoids involves the nitrosation of ring B of flavonoids followed by a reaction with $AlCl_3$ in an alkaline medium to form a colored product. The absorbance is measured at 510 nm. A calibration curve is constructed using a standard catechin solution, and accordingly, the results are expressed in mg catechin equivalents per kg of honey. Compared with the total phenolic content, the flavonoid content in honey is lower. For example, for Brazilian honey (Al-Farsi et al., 2018), the total phenolic content determined using the Folin–Ciocalteu reagent ranged from 250 to 548 mg GAE/kg, while the total flavonoid content determined using aluminum chloride was 9 to 48.6 mg catechin/kg of honey. For quantitative determination of the comprehensive phenolic profile of honey, high-performance liquid chromatography (HPLC) and capillary electrophoresis (CE) are employed, most commonly in combination with diode array detection (DAD) and mass spectrometry (MS). In the study by Badjah Hadj Ahmed et al. (2014), carbon nanotubes were proposed as a solid-phase extraction adsorbent for the simultaneous determination of phenolic acid, flavonoid, and other phenol content in various honey samples by HPLC. According to the studies by (Akbari et al., 2020; Soares et al., 2017), the phenolic profile of honey can be used as a «fingerprint» for determining its geographical origin and detecting adulteration. However, a significant limitation of these methods is the high cost of equipment and reagents, the need for a large number of analytical standards of phenolic compounds, and complex sample preparation.

The high export potential of Ukrainian honey (3rd place in the world ranking for 2024) imposes stringent certification requirements. Despite the fact that the current DSTU 4497:2005 standard regulates basic organoleptic and physicochemical characteristics, it does not account for the concentration of secondary metabolites, in particular polyphenols. Therefore, studying the polyphenolic composition of domestically produced honey is a relevant and strategically important issue that will enhance the competitiveness of Ukrainian products on the international food market.

Materials and Methods

The objects of investigation were 13 honey samples harvested in 2023–2024, selected based on the principle of diversity in botanical and geographical origin. The sample set included monofloral varieties (sunflower, linden, rapeseed, black locust), polyfloral wildflower honey, and two blended samples (No. 4 and No. 6). The detailed characteristics of the samples are presented in Table 1.

All reagents used in the analysis were of analytical grade. Standard solutions of 1.0 g/L catechin and 1.0 g/L gallic acid were prepared by dissolving an accurately weighed amount of the substance in ethanol. The Folin–Ciocalteu reagent was prepared according to the standard procedure (Pérez et al., 2023). Into a 1000 mL round-bottom flask containing 350 mL of distilled water, sodium tungstate weighing (50.00 ± 0.01) g and sodium molybdate weighing (12.25 ± 0.01) g were introduced. To the mixture, 25 mL of concentrated orthophosphoric acid and 50 mL of concentrated hydrochloric acid were added.

Table 1

Characteristics of the investigated samples

Sample No.	Geographical origin	Botanical origin	Color
1	Dnipropetrovsk region	Polyfloral (wildflower)	Golden
2	Dnipropetrovsk region	Sunflower	Light yellow
3	Dnipropetrovsk region	Sunflower	Bright yellow
4	Dnipropetrovsk region	Blend (Sunflower + wildflower)	Yellow
5	Dnipropetrovsk region	Rapeseed	Yellow
6	Dnipropetrovsk region	Blend (Wildflower + rapeseed)	Yellow
7	Cherkasy region	Linden	Light yellow
8	Kyiv region	Sunflower	Light yellow
9	Kyiv region	Black locust	Pale yellow
10	Kyiv region	Polyfloral (wildflower)	Light brown
11	Kyiv region	Polyfloral (wildflower)	Amber
12	Cherkasy region	Buckwheat	Amber
13	Cherkasy region	Black locust	Pale yellow

The flask was connected to a reflux condenser and heated on a water bath for 10 hours. Subsequently, lithium sulfate weighing (75.00 ± 0.01) g and 25 mL of distilled water were added to the solution, thoroughly mixed, and 5 drops of liquid bromine were introduced. To remove residual bromine, the mixture was boiled for 15 min without a condenser under constant stirring. The resulting reagent was cooled to room temperature, filtered through filter paper into a 500 mL volumetric flask, and the volume was adjusted to the mark with distilled water. Absorbance measurements were performed on a Shimadzu UV2100 PC spectrophotometer (Shimadzu, Japan) in the UV and visible spectral ranges.

Preparation of honey samples for measurement

A 5.000 g aliquot of honey was weighed in a graduated beaker and dissolved in approximately 10 mL of deionized water. The solution was quantitatively transferred into a 25 mL volumetric flask and diluted to the mark with deionized water. The resulting sample was filtered through a 0.45 μm regenerated cellulose syringe membrane filter to eliminate turbidity.

Procedure for the determination of total polyphenol content

Into a 50 mL volumetric flask, 5 mL of the honey filtrate was introduced, 4.0 mL of the Folin–Ciocalteu reagent was added, followed by 6.0 mL of a 20% Na_2CO_3 solution, and the flask was made up to volume with distilled water. The mixture was thoroughly mixed and, after 2.5 hours, absorbance measurements were taken at a wavelength of 750 nm with an optical path length of 0.5 cm. The reference solution contained all reagents except honey. The calibration curve for total polyphenol content determination was constructed using standard gallic acid solutions in the concentration range of 1–15 mg/L, prepared as described above. The polyphenol concentration in terms of gallic acid was determined from the calibration curve equation A^{750} = (0.008 ± 0.002) + (0.0707 ± 0.0008) × C (mg/L) and recalculated to gallic acid equivalents (mg GAE/kg) taking into account the honey sample weight. The limit of detection, calculated using the 3S criterion, was 0.1 mg/kg.

Procedure for the determination of flavonoids in honey samples

Into a test tube, 2 mL of the honey filtrate was added, followed by 3 mL of distilled water and 0.5 mL of a 15% $NaNO_2$ solution; the mixture was left to stand for 6 minutes, then 0.5 mL of a 5% $Al_2(SO_4)_3$ solution was added, the mixture was stirred, left for another 6 minutes, and 4.0 mL of a 4% sodium hydroxide solution was added. The mixture was thoroughly stirred and subsequently left to stand for an additional 10 minutes at room temperature. Absorbance measurements were taken at a wavelength of 510 nm with an optical path length of 1.0 cm. The reference solution contained all reagents except honey. The calibration curve for total flavonoid content determination was constructed using standard catechin solutions in the concentration range of 0.5–10 mg/L. The flavonoid concentration in terms of catechin was determined from the calibration curve equation: A^{510} = (0.039 ± 0.006) + (0.0436 ± 0.0010) × C (mg/L) and recalculated to catechin

equivalents (mg/kg) taking into account the honey sample weight. The limit of detection, calculated using the 3S criterion, was 0.05 mg/kg.

Spectrophotometric studies in the visible and UV regions

For the analysis, honey solutions with different mass fractions were prepared and pre-filtered through a 0.45 μm membrane filter. The absorbance of 50% honey filtrates was measured in the 400–600 nm range (1.0 cm cuvette), recording values at a wavelength of 450 nm. The optical density of 20% filtrates was determined in the 250–450 nm range with the same optical path length.

Results and Discussion

It is known that in the absorption spectra of polyphenols, a characteristic band is present at 280 nm (Harbertson & Spayd, 2006). Although such a determination is not absolutely selective, absorbance at this wavelength can be used for a rapid approximate estimation of total polyphenol content in various matrices. The absorption spectra of the investigated honey solutions in the 250–450 nm region are shown in Fig. 1. Table 2 presents the total polyphenol content determined by the Folin–Ciocalteu method, as well as the absorbance values at 280 nm (A^{280}) for the investigated samples. According to the presented data, the total phenolic compound content in the investigated samples (determined by the Folin–Ciocalteu method) varies from 108 to 770 mg GAE/kg. The minimum value was recorded in acacia honey, while the maximum was found in wildflower honey. It is noteworthy that buckwheat honey, which tra-

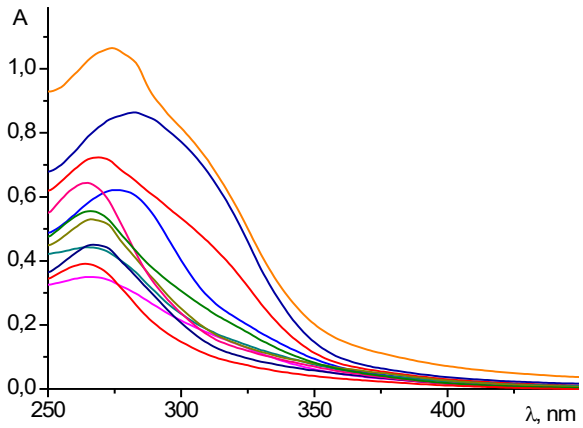


Fig. 1. Absorption spectra of the investigated solutions with a honey mass fraction of 20%, optical path length 1.0 cm (samples Nos. 7 and 12 are not shown)

Table 2

Total phenolic content in the samples and optical density of the solutions

Sample No.	**Total phenolic content, mg GAE/kg** **X ±ΔX (P=95%, n=3)**	**A^{280}**
1	185 ± 13	0,6685
2	165 ± 3	0,6158
3	244 ± 7	0,3853
4	174 ± 17	0,3114
5	332 ± 4	0,4363
6	241 ± 13	0,3779
7	146 ± 3	3,9282
8	123 ± 3	0,4743
9	165 ± 24	0,4595
10	365 ± 24	0,8611
11	770 ± 42	1,0396
12	543 ± 5	3,7441
13	108 ± 5	0,2921

ditionally leads in polyphenol content, showed a lower value of 543 mg GAE/kg. No direct correlation was found between polyphenol content and botanical origin for monofloral and polyfloral varieties.

It was established that honey absorbance at 280 nm (Fig. 2) correlates with the total polyphenol content (R = 0.7671). However, the correlation is not sufficiently strong to use the A^{280} value for estimating total polyphenol content, and for two samples (Nos. 7 and 12) anomalously high A^{280} values were observed, which may be attributed to the presence of other organic substances with strong absorption in the ultraviolet region of the spectrum. Thus, the A^{280} value is not recommended for rapid estimation of total polyphenol content.

Honey absorbance at 450 nm is commonly used to characterize honey color (Beretta et al., 2005; Moniruzzaman et al., 2013). The major contributors to absorbance at this wavelength are pigments and compounds with pronounced antioxidant activity. The results of flavonoid determination in the investigated honey samples by the method described above, as well as the A^{450} values, are presented in Table 3. The absorption spectra of the honey samples in the 350–600 nm range are shown in Fig. 3. The dependence of A^{450} on total flavonoid content is presented in Fig. 4. From the presented data, it is evident that a strong correlation exists between flavonoid content and A^{450}, and this correlation is substantially stronger than that between total polyphenol

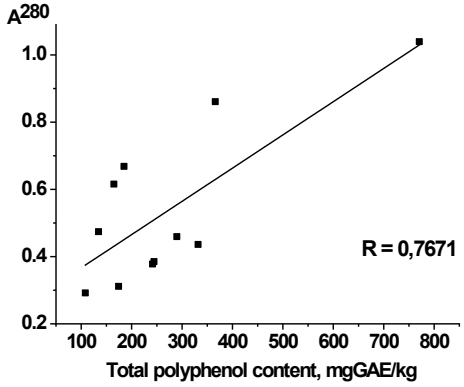


Fig. 2. Dependence of absorbance at 280 nm on the total polyphenol content (samples Nos. 7 and 12 are not shown)

Table 3

Results of honey analysis for total flavonoid content

Sample No.	Total flavonoid content, mg/kg	A^{450}
	X ±ΔX (P=95%, n=3)	
1	7,6 ± 0,7	0,1027
2	6,2 ± 1,9	0,1385
3	10,2 ± 0,4	0,1567
4	7,6 ± 1,5	0,1304
5	7,6 ± 0,8	0,1062
6	6,8 ± 1,2	0,0837
7	6,8 ± 0,4	0,0654
8	5,6 ± 0,4	0,0539
9	6,7 ± 1,2	0,0662
10	15,5 ± 0,4	0,2112
11	26,2 ± 2,4	0,3703
12	28,2 ± 1,2	0,5595
13	3,3 ± 1,2	0,0357

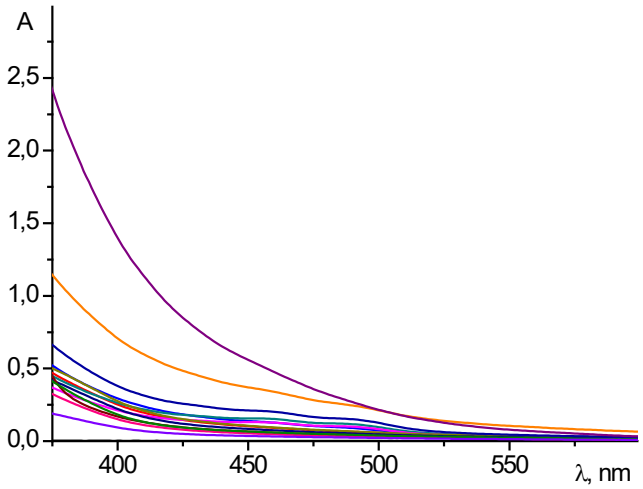


Fig. 3. Absorption spectra of the investigated solutions with a honey mass fraction of 50%, optical path length 1.0 cm

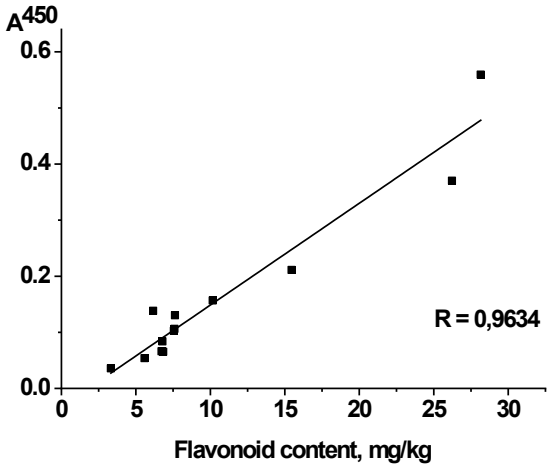


Fig. 4. Dependence of absorbance at 450 nm on flavonoid content

content and A^{280}. Therefore, the use of the A^{450} value for the overall assessment of antioxidant activity of honey is more appropriate than absorbance at 280 nm, where other non-phenolic components of honey, which exhibit weaker antioxidant activity, likely contribute to the absorption.

Conclusions

The total phenolic content in 13 Ukrainian honey samples obtained from different regions and different botanical sources was determined by the Folin–Ciocalteu method. The total phenolic content ranged from 108 to 770 mg GAE/kg. The highest polyphenol content was found in wildflower honey, while the lowest was observed in linden honey. No direct correlation was found between polyphenol content and botanical origin for monofloral and polyfloral varieties. The flavonoid content, determined photometrically by the formation of a colored complex with aluminum, ranged from 3 to 28 mg/kg.

Overall, the phenolic content in Ukrainian honeys is generally consistent with values reported for honeys from other countries, and in some cases exceeds them. It was established that honey absorbance at 280 nm, as a method for express estimation of total phenolic compound content, does not correlate sufficiently strongly with total polyphenol content and is not recommended for use. In contrast, the correlation between absorbance at 450 nm and total flavonoid content is strong and can be used for rapid assessment of the antioxidant properties of honey.

Bibliography

Akbari E., Baigbabaei A., Shahidi M. Determination of the floral origin of honey based on its phenolic profile and physicochemical properties coupled with chemometrics. *International Journal of Food Properties*. 2020. Vol. 23, № 1. P. 506–519. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1740249.

Al-Farsi M., Al-Amri A., Al-Hadhrami A., Al-Belushi S. Color, flavonoids, phenolics and antioxidants of Omani honey. *Heliyon*. 2018. Vol. 4, № 10. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00874

Badjah Hadj Ahmed A. Y., Obbed M. S., Wabaidur S. M., Alothman Z. A., Al-Shaalan N. H. High-performance liquid chromatography analysis of phenolic acid, flavonoid, and phenol contents in various natural Yemeni honeys using multi-walled carbon nanotubes as a solid-phase extraction adsorbent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. Vol. 62, № 24. P. 5443–5450. https://doi.org/10.1021/jf5011758.

Bobis O., Moise A. R., Ballesteros I. et al. Eucalyptus honey: Quality parameters, chemical composition and health-promoting properties. *Food Chemistry*. 2020. Vol. 325. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126870.

Hanif K., Ali Q., Waqas ul Hassan M. et al. Medicinal properties of honey: A review. *Zoo Botanica*. 2025. Vol. 2, № 3. P. 277–285. https://doi.org/10.55627/zoobotanica.002.03.0880.

Ibrahimi H., Hajdari A. Phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Kosovo. *Journal of Apicultural Research*. 2020. Vol. 59, № 4. P. 452–457. https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1714194.

Kędzierska-Matysek M., Stryjecka M., Teter A. et al. Relationships between the content of phenolic compounds and the antioxidant activity of Polish honey varieties as a tool for botanical discrimination. *Molecules*. 2021. Vol. 26, № 6. https://doi.org/10.3390/molecules26061810.

Kenjerić D., Mandic M. L., Primorac L., Bubalo D., Perl A. Flavonoid profile of Robinia honeys produced in Croatia. *Food Chemistry*. 2007. Vol. 102, № 3. P. 683–690.https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.055.

Kiran C., Riyaz M. Understanding the physicochemical profile of honey: A comprehensive review of quality and authenticity parameters. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2026. Vol. 151. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2026.108993.

Mendoza Bacilio C. I., Epifanio Gómez R., Yam Puc A. et al. Color influence on phenolic compounds and bioactive properties of honey from Guerrero, Mexico. *Biotecnia*. 2022. Vol. 24, № 2. P. 5–11. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1384.

Mustafa A., Cespi M., Preziuso S. et al. Analysis of the phenolic compounds, volatile profile, and evaluation of the antioxidant activity of 18 different varieties of honey from the Italian market. *Plants*. 2025. Vol. 14, № 19. https://doi.org/10.3390/plants14193109.

Nyarko K., Boozer K., Greenlief C. M. Profiling of the polyphenolcontent of honey from different geographical origins in the United States. *Molecules*. 2023. Vol. 28, № 13. https://doi.org/10.3390/molecules28135011.

Paula V. B., Sousa-Dias M. L., Seixas N. L. et al. Phenolic Class Analysis in Honey: Comparison of Classical and Single UV Spectrum Methodologies. *Processes*. 2024. Vol. 12, № 10. https://doi.org/10.3390/pr12102297.

Pérez M., Dominguez-López I., Lamuela-Raventós R. M. The chemistry behind the Folin−Ciocalteu method for the estimation of (poly)phenol content in food: Total phenolic intake in a Mediterranean dietary pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023. Vol. 71, № 47. P. 17543–17553. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022.

Pyrzynska K., Biesaga M. Analysis of phenolic acids and flavonoids in honey. *Trends in Analytical Chemistry*. 2009. Vol. 28, № 7. P. 893–902. https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.03.015.

Samarghandian S., Farkhondeh T., Samini F. Honey and health: A review of recent clinical research. *Pharmacognosy Research*. 2017. Vol. 9, № 2. P. 121–127. https://
doi.org/10.4103/0974-8490.204647.

Soares S., Amaral J. S., Oliveira M. B. P. P., Mafra I. A comprehensive review on the main honey authentication issues: Production and origin. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2017. Vol. 16, № 5. P. 1072–1100. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12278.

Truchado P., Ferreres F., Tomás-Barberán F. A. Nectar flavonol rhamnosides are floral markers of acacia (Robinia pseudacacia) honey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56, № 19. P. 8815–8824. https://doi.org/10.1021/jf801625t.

Wilczyńska A., Żak N. Polyphenols as the main compounds influencing the antioxidant effect of honey – A review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. Vol. 25, № 19. https://doi.org/10.3390/ijms251910606.

Yayinie M., Atlabachew M., Tesfaye A. et al. Polyphenols, flavonoids, and antioxidant content of honey coupled with chemometric method: Geographical origin classification from Amhara region, Ethiopia. *International Journal of Food Properties*. 2022. Vol. 25, № 1. P. 76–92. https://doi.org/10.1080/10942912.2021.2021940.

References

Akbari, E., Baigbabaei, A., & Shahidi, M. (2020). Determination of the floral origin of honey based on its phenolic profile and physicochemical properties coupled with chemometrics. *International Journal of Food Properties*, *23*(1), 506–519. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1740249 [in English].

Al-Farsi, M., Al-Amri, A., Al-Hadhrami, A., & Al-Belushi, S. (2018). Color, flavonoids, phenolics and antioxidants of Omani honey. *Heliyon*, *4*(10). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00874 [in English].

Badjah Hadj Ahmed, A. Y., Obbed, M. S., Wabaidur, S. M., Alothman, Z. A., & Al-Shaalan, N. H. (2014). High-performance liquid chromatography analysis of phenolic acid, flavonoid, and phenol contents in various natural Yemeni honeys using multi-walled carbon nanotubes as a solid-phase extraction adsorbent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(24), 5443–5450. https://doi.org/10.1021/jf5011758 [in English].

Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., & Facino, R. M. (2005). Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, *533*(2), 185–191. https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.11.010 [in English].

Bobis, O., Moise, A. R., Ballesteros, I., Reyes, E. S., Durán, S. S., Sánchez-Sánchez, J., Cruz-Quintana, S., Giampieri, F., Battino, M., & Alvarez-Suarez, J. M. (2020). Eucalyptus honey: Quality parameters, chemical composition and health-promoting properties. *Food Chemistry*, *325*. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126870 [in English].

Gośliński, M., Nowak, D., & Szwengiel, A.(2021). Multidimensional comparative analysis of bioactive phenolic compounds of honeys of various origin. *Antioxidants*. 10 (4), 530. https://doi.org/10.3390/antiox10040530 [in English].

Hanif, K., Ali, Q., Waqas ul Hassan, M., Aslam, A., Shehzad, M., Nazir, T., Akhtar, M. F., Malik, H., & Bilal Bin Iqbal, M. (2025). Medicinal properties of honey: A review. *Zoo Botanica*, *2*(3), 277–285. https://doi.org/10.55627/zoobotanica.002.03.0880 [in English].

Harbertson, J., & Spayd, S. (2006). Measuring phenolics in the winery. *American Journal of Enology and Viticulture*, *57*(3), 280–286. https://doi.org/10.5344/ajev.2006.57.3.280 [in English].

Ibrahimi, H., & Hajdari, A. (2020). Phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Kosovo. *Journal of Apicultural Research*, *59*(4), 452–457. https://doi.org/10.1080/00218839.2020.1714194 [in English].

Kędzierska-Matysek, M., Stryjecka, M., Teter, A., Skałecki, P., Domaradzki, P., & Florek, M. (2021). Relationships between the content of phenolic compounds and the antioxidant activity of Polish honey varieties as a tool for botanical discrimination. *Molecules*, *26*(6). https://doi.org/10.3390/molecules26061810 [in English].

Kenjerić, D., Mandic, M. L., Primorac, L., Bubalo, D., & Perl, A. (2007). Flavonoid profile of Robinia honeys produced in Croatia. *Food Chemistry*, *102*(3), 683–690. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.055 [in English].

Kiran, Chandra, & Riyaz, Murtaza. (2026). Understanding the physicochemical profile of honey: A comprehensive review of quality and authenticity parameters. *Journal of Food Composition and Analysis*, *151*. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2026.108993 [in English].

Mendoza Bacilio, C. I., Epifanio Gómez, R., Yam Puc, A., Avila Caballero, L. P., Palemon Alberto, F., Torres Guzmán, F., & Bello Martínez, J. (2022). Color influence on phenolic compounds and bioactive properties of honey from Guerrero, Mexico. *Biotecnia*, *24*(2), 5–11. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1384 [in English].

Moniruzzaman, M., Sulaiman, S. A., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2013). Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of sourwood and other Malaysian honeys: A comparison with manuka

honey. *Chemistry Central Journal*, *7*, Article 138. https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-138 [in English].

Mustafa, A., Cespi, M., Preziuso, S., Bianchi, L., Maggi, F., & Caprioli, G. (2025). Analysis of the phenolic compounds, volatile profile, and evaluation of the antioxidant activity of 18 different varieties of honey from the Italian market. *Plants*, *14*(19). https://doi.org/10.3390/plants14193109 [in English].

Nyarko, K., Boozer, K., & Greenlief, C. M. (2023). Profiling of the polyphenolcontent of honey from different geographical origins in the United States. *Molecules*, *28*(13). https://doi.org/10.3390/molecules28135011 [in English].

Paula, V. B., Sousa-Dias, M. L., Seixas, N. L., Combarros-Fuertes, P., Estevinho, L. M., & Dias, L. G. (2024). Phenolic Class Analysis in Honey: Comparison of Classical and Single UV Spectrum Methodologies. *Processes*, *12*(10). https://doi.org/10.3390/pr12102297 [in English].

Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The chemistry behind the Folin−Ciocalteu method for the estimation of (poly)phenol content in food: Total phenolic intake in a Mediterranean dietary pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *71*(47), 17543–17553. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022 [in English].

Pyrzynska, K., & Biesaga, M. (2009). Analysis of phenolic acids and flavonoids in honey. *Trends in Analytical Chemistry*, *28*(7), 893–902. https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.03.015 [in English].

Samarghandian, S., Farkhondeh, T., & Samini, F. (2017). Honey and health: A review of recent clinical research. *Pharmacognosy Research*, *9*(2), 121–127. https://doi.org/10.4103/0974-8490.204647 [in English].

Soares, S., Amaral, J. S., Oliveira, M. B. P. P., & Mafra, I. (2017). A comprehensive review on the main honey authentication issues: Production and origin. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*(5), 1072–1100. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12278 [in English].

Truchado, P., Ferreres, F., & Tomás-Barberán, F. A. (2008). Nectar flavonol rhamnosides are floral markers of acacia (*Robinia pseudacacia*) honey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(19), 8815–8824. https://doi.org/10.1021/jf801625t [in English].

Wilczyńska, A., & Żak, N. (2024). Polyphenols as the main compounds influencing the antioxidant effect of honey – A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(19). https://doi.org/10.3390/ijms251910606 [in English].

Yayinie, M., Atlabachew, M., Tesfaye, A., Hilluf, W., Reta, C., & Alemneh, T. (2022). Polyphenols, flavonoids, and antioxidant content of honey coupled with chemometric method: Geographical origin classification from Amhara region, Ethiopia. *International Journal of Food Properties*, *25*(1), 76–92. https://doi.org/10.1080/10942912.2021.2021940 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

UDC 544.7;546.3;549.5
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.11

FUNCTIONALIZED Fe_3O_4 NANOCOMPOSITES AS PLATFORMS FOR BIOACTIVE MOLECULE IMMOBILIZATION AND TARGETED DRUG DELIVERY

N. V. Kusiak[1], K. P. Svyrydiuk[2]

This review summarises various modern approaches to the synthesis and functionalisation of magnetite (Fe_3O_4) magnetic nanoparticles and analyses their application as platforms for the immobilisation of biologically active molecules and pharmaceutical compounds. The main methods for producing Fe_3O_4 nanoparticles are discussed, in particular coprecipitation, hydrothermal, solvothermal and sol-gel synthesis, with an emphasis on their influence on the morphology, size and magnetic properties of the materials. Particular attention is paid to the surface functionalisation of nanoparticles via silanisation using APTES, MPTES and TEOS, which promotes the formation of active functional groups ($–NH_2$, –SH, Si–OH) and determines the mechanisms of interaction with drug molecules. The main types of interactions are analysed, in particular electrostatic, hydrogen, covalent and coordination bonds, which determine the efficiency of immobilisation and the kinetics of drug release. Examples are given of the immobilisation of proteins, enzymes, immunoglobulins and anticancer drugs (doxorubicin, cisplatin) on the surface of magnetic nanocomposites. It is shown that the chemical nature of the surface determines not only the adsorption properties but also the biocompatibility, stability and therapeutic efficacy of the systems. The application of Fe_3O_4 nanoparticles in targeted drug delivery, magnetically controlled systems, hyperthermia and biosensors is considered separately. It is concluded that there is great potential for the creation of multifunctional nanocomposites with controllable surface properties for modern applications in nanomedicine.

Key words: *magnetite, nanocomposites, surface functionalisation, drug immobilisation, targeted delivery.*

[1] Ph.D. in Chemistry,
Associate Professor of the Department of Chemistry
(Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr);
(Chuiko Institute of Surface Chemistry National Academy of Science of Ukraine, Kyiv)
e-mail: nkusyak@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0143-3399
[2] Master's degree,
Assistant at the Department of Chemistry
(Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr)
e-mail: sviridyukk-97@ukr.net
ORCID: 0009-0000-1258-7644

ФУНКЦІОНАЛІЗОВАНІ НАНОКОМПОЗИТИ Fe_3O_4 ЯК ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ІММОБІЛІЗАЦІЇ БІОАКТИВНИХ МОЛЕКУЛ ТА ЦІЛЬОВОЇ ДОСТАВКИ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ

Н. В. Кусяк, К. П. Свиридюк

У цьому огляді узагальнено окремі сучасні підходи до синтезу та функціоналізації магнітних наночастинок магнетиту (Fe_3O_4) та проаналізовано їхнє застосування як платформ для іммобілізації біологічно активних молекул і фармацевтичних сполук. Обговорено основні методи отримання наночастинок Fe_3O_4, зокрема копреципітаційний, гідротермальний, сольвотермальний та золь-гель-синтез, з акцентом на їхньому впливі на морфологію, розмір та магнітні властивості матеріалів. Особлива увага приділяється поверхневій функціоналізації наночастинок шляхом силанізації з використанням APTES, MPTES та TEOS, що сприяє утворенню активних функціональних груп ($–NH_2$, –SH, Si–OH) та визначає механізми взаємодії з молекулами лікарських препаратів. Проаналізовано основні типи взаємодій, зокрема електростатичні, водневі, ковалентні та координаційні зв'язки, які визначають ефективність іммобілізації та кінетику вивільнення лікарського препарату. Наведено приклади іммобілізації білків, ферментів, імуноглобулінів та протипухлинних препаратів (доксорубіцину, цисплатину) на поверхні магнітних нанокомпозитів. Продемонстровано, що хімічна природа поверхні визначає не лише адсорбційні властивості, а й біосумісність, стабільність та терапевтичну ефективність систем. Окремо розглядається застосування наночастинок Fe_3O_4 цільовій доставці лікарських засобів, магнітно керованих системах, гіпертермії та біосенсорах. Зроблено висновок про великий потенціал створення багатофункціональних нанокомпозитів з керованими поверхневими властивостями для сучасних застосувань у наномедицині.

Ключові слова: *магнетит, нанокомпозити, функціоналізація поверхні, іммобілізація лікарських засобів, цільова доставка.*

Introduction

The vast majority of biological processes begin and take place at the molecular level. Consequently, the search for diagnostic and therapeutic solutions is conducted at the nanoscale. The application of nanoparticles (NPs) in medicine is determined by processes occurring at the biointerface. In this context, manipulating surface properties is of crucial importance, as this can determine the fate and functionality of the nanosystem, and this can be achieved using various surface functionalisation methods (Kohale et al., 2026). Among the matrices whose surfaces are subject to functionalisation and which have been actively investigated in recent years are magnetically controlled oxide materials, particularly those based on iron. Potential applications for these nanoparticles include fields such as catalysis, biomedicine, environmental remediation and electronics (Fig. 1).

Magnetite, haematite, and maghemite are various forms of iron oxide nanoparticles (IONPs) (Fig. 2), with Fe_3O_4 NPs being widely used in clinical practice due to their superparamagnetic properties and biocompatibility (Chatterjee et al., 2025; Das et al., 2025).

IONPs exhibit properties such as superparamagnetic, diamagnetic and ferromagnetic behaviour, and their manipulation in a magnetic field opens up numerous possibilities in biomedicine. Ferromagnetic materials retain a stable net magnetic moment after exposure to a magnetic field, whereas paramagnetic materials exhibit a weaker net moment during exposure, which is not retained after the field is removed. Diamagnetic materials lack unpaired electrons, resulting in a net magnetic moment of zero. Consequently, these materials exhibit minimal response to applied magnetic fields due to the rearrangement of electron orbitals. Paramagnetic iron oxide with particle sizes < 20 nm is known as superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs). NPs with superparamagnetic properties are of particular interest due to their ability to exhibit high magnetic interaction under the influence of an applied magnetic field, and this interaction disappears in the absence of a magnetic stimulus. The two main parts of coated nanoparticles are the core and the shell. The core consists of magnetic elements such as Fe, Co or Ni, and associated oxides. It plays a significant role in the quantum effect and magnetic properties. The role of the shell is to stabilise the core and protect it from external environmental influences.

This review is devoted to an analysis of some methods for the synthesis and surface functionalisation of one of the iron oxides

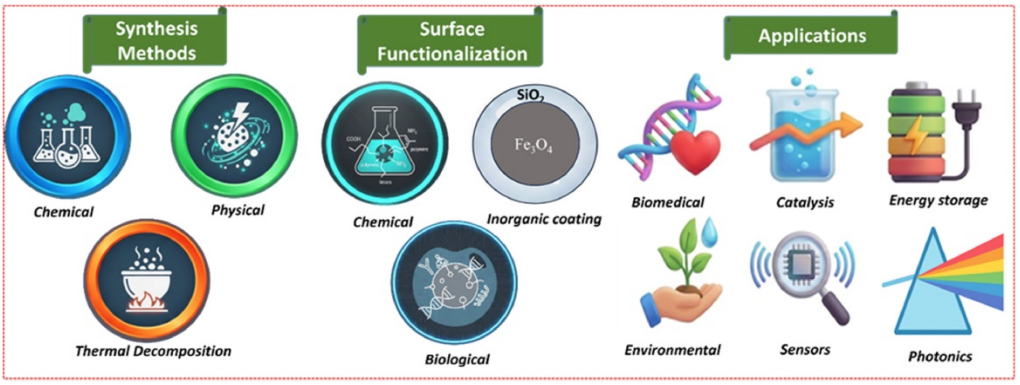


Fig. 1. Schematic overview of Fe_3O_4 NPs: synthesis routes, structure–property relationships, multifunctional applications (Kohale et al., 2026)

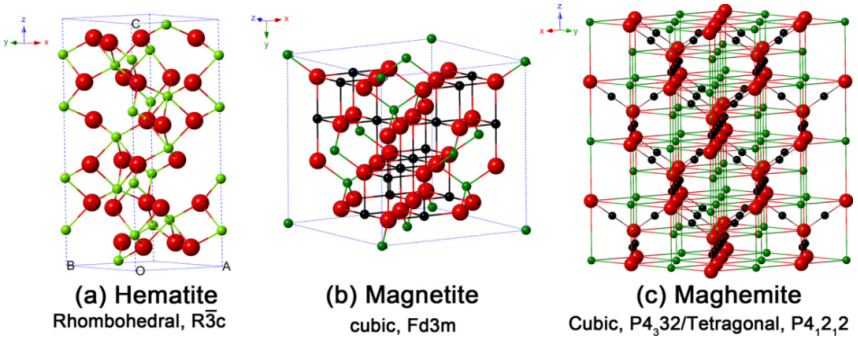


Fig. 2. Crystal structure and crystallographic data of the hematite, magnetite and maghemite (the black ball is Fe^{2+}, the green ball is Fe^{3+} and the red ball is O^{2-}) (Wu et al., 2015)

magnetite, an analysis of some recent studies on the development of new composite materials based on it, as well as an investigation of the characteristics of the immobilisation of biologically active molecules and pharmaceutical compounds.

Materials and Methods

This review is based on a comprehensive analysis of the latest scientific literature on magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles and their functionalised nanocomposites. The literature search was conducted using leading scientific databases, including Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Taylor & Francis, PubMed, the American Chemical Society (ACS), the Royal Society of Chemistry (RSC), Wiley Online Library, ResearchGate and Google Scholar. The following keywords were used: "Fe_3O_4 nanoparticles", "surface functionalization", "drug immobilization", "magnetic nanocomposites" and "targeted drug delivery".

Particular attention was paid to publications from the last decade, although early fundamental studies were also considered to provide a broader scientific context. The selected studies were analysed in terms of synthesis methods, surface modification strategies, types of interaction with bioactive molecules, and biomedical applications. To ensure the reliability and scientific validity of the analysis, only peer-reviewed articles relevant to this topic were included.

Results

A review of the literature indicates the existence of a wide range of approaches to the synthesis and functionalisation strategies for Fe_3O_4 nanoparticles, each of which results in different physicochemical and biomedical properties. The following sections summarise the main conclusions regarding the methods of synthesis, surface modification and practical application of magnetite-based nanocomposites.

Methods for producing magnetite based nanocomposite systems.

Various methods have been developed for the synthesis of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles, allowing precise control over their size, morphology, and magnetic properties (Rezaei et al., 2024). The most widely used approach

is co-precipitation, which involves the reaction of Fe^{2+} and Fe^{3+} salts in alkaline media and is valued for its simplicity and scalability. However, this method often results in broad particle size distribution and limited control over morphology. Hydrothermal and solvothermal methods provide improved crystallinity and uniformity by conducting reactions under high temperature and pressure conditions (Fig. 3 a) (Ahmad et al., 2025; Izaz et al., 2025). Thermal decomposition is another widely used technique that produces highly monodisperse nanoparticles with excellent control over size, although it requires organic solvents and elevated temperatures.

The sol–gel method allows the formation of homogeneous oxide networks and is suitable for coating applications, particularly in the fabrication of core–shell structures (Fig. 3 b,c) (Kusiak et al., 2021). Reverse micelle techniques enable the synthesis of ultra-small nanoparticles by confining reactions within nanoscale droplets. Microwave-assisted synthesis offers rapid heating and reduced reaction times, leading to uniform particle formation. Additionally, sonochemical methods utilize ultrasonic energy to enhance nucleation and particle dispersion. Recently, green synthesis approaches using plant extracts or biocompatible agents have gained attention due to their environmental friendliness. Each synthesis method significantly influences the surface chemistry and functionalization potential of Fe_3O_4 nanoparticles. Therefore, the choice of synthesis route plays a crucial role in determining their suitability for biomedical applications.

The functionalisation of the magnetite surface.

The functionalisation of the magnetite (Fe_3O_4) surface is a key step in the creation of stable and effective nanocomposites for the immobilisation of drugs. In an aqueous environment, the Fe_3O_4 surface is characterised by the presence of hydroxyl groups (≡Fe–OH), which are formed as a result of the hydration of the oxide surface. These groups act as active sites for subsequent chemical transformations, in particular silylation reactions. (Popescu et al., 2019; Rarokar et al., 2024). Surface hydroxyl groups can be protonated or deprotonated depending on the pH of the medium:

$$\equiv Fe–OH + H^+ \leftrightarrows \equiv Fe–OH_2^+$$

$$\equiv Fe–OH \leftrightarrows \equiv Fe–O^- + H^+$$

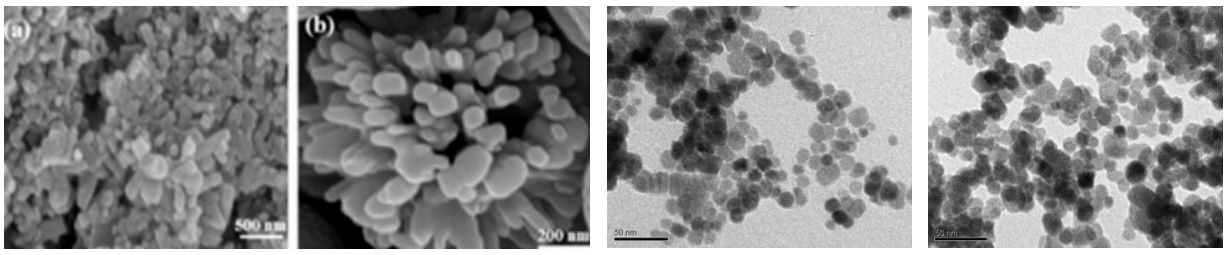
This determines the surface charge and the surface's ability to interact electrostatically with drug molecules. One of the most common modification methods is silylation, which is based on the hydrolysis and condensation of alkoxysilanes. The general reaction of silane coupling can be described as follows:

$$\equiv Fe–OH + (RO)_3–Si–R' \rightarrow \equiv Fe–O–Si–R' + 3ROH$$

This leads to the formation of a strong Fe–O–Si covalent bond, which ensures the stability of the functional layer.

$$\equiv Fe–OH+(RO)_3Si–R' \rightarrow \equiv Fe–O–Si–R' + 3ROH$$

Among silanes, (3-aminopropyl)triethoxysilane (APTES) is of particular importance, as it introduces amino groups ($–NH_2$) onto the surface of nanoparticles. Structurally, this can be represented as $Fe_3O_4–O–Si–(CH_2)_3–NH_2$. Aminofunctionalisation significantly expands immobilisation possibilities, as $–NH_2$ groups can participate in electrostatic interactions, hydrogen bonds and covalent bonds. When the pH decreases, the amino groups are protonated:



a **b** **c**

Fig. 3. SEM morphology of FeONPs produced by a microemulsion-hydrothermal technique (Ahmad et al., 2025) (a) and TEM images of Fe_3O_4 (b) and Fe_3O_4 /SiO_2 NPs (c) produced by a sol–gel method (Kusiak et al., 2021)

$$–NH_2 + H^+ – NH_3^+$$

which facilitates the binding of anionic drug molecules. Furthermore, amino groups can react with aldehyde agents, such as glutaraldehyde, to form imine bonds (Schiff bases):

$$–NH_2 + OHC–R–CHO \rightarrow –C=N^- + H_2O$$

$$-NH_2 + OHC–R–CHO \rightarrow -C=N^- + H_2O$$

Another important type of functionalisation is the introduction of thiol groups (*–SH*) using agents such as MPTES or DMSA. Thiol groups are weak donor centres and are capable of forming coordination bonds with metal ions. In particular, in the case of platinum-containing compounds, the formation of a *Pt–S* bond is possible:

$$Pt– Cl + R – SH \rightarrow Pt–S–R + HCl$$

$$Pt-Cl+R-SH\rightarrow Pt-S-R+HCl$$

This mechanism is key to the immobilisation of cisplatin and similar compounds. Thiol functionalisation ensures high selectivity and bond strength, which directly influences the release kinetics. Silylation using tetraethoxysilane (TEOS) leads to the formation of an SiO_2 shell containing a large number of silanol groups (*Si–OH*). Such surfaces are characterised by high hydrophilicity and the ability to form hydrogen bonds with drug molecules. Furthermore, the SiO_2 shell performs a protective function, preventing particle aggregation and ensuring stability in biological environments.

Thus, the type of functional groups determines the nature of the interaction between the surface of the nanocomposite and the drug molecules. Amino functionalisation provides universal binding mechanisms; thiol groups are responsible for the specific coordination of metal-containing compounds, whilst silane surfaces promote physical adsorption and the formation of hydrogen bonds. The choice of an appropriate functionalisation method allows for the targeted regulation of the efficiency of drug immobilisation and subsequent release, which is of crucial importance for the development of modern nanomedicine systems.

Applications of Fe_3O_4 NPs

Fe_3O_4 NPs are widely used in biomedicine due to their superparamagnetic properties, biocompatibility and ease of surface functionalisation. They are actively employed for targeted drug delivery, where an external magnetic field facilitates the accumulation of therapeutic agents in specific areas. Furthermore, Fe_3O_4 NPs serve as contrast agents in magnetic resonance imaging (MRI) and as mediators in magnetic hyperthermia for cancer treatment (Roy & Roy, 2022; Kohale et al., 2026). Apart from biomedical applications, they are also used for environmental remediation, catalysis and biosensing, thanks to their large surface area and ability to modulate surface chemical properties (Fig. 4).

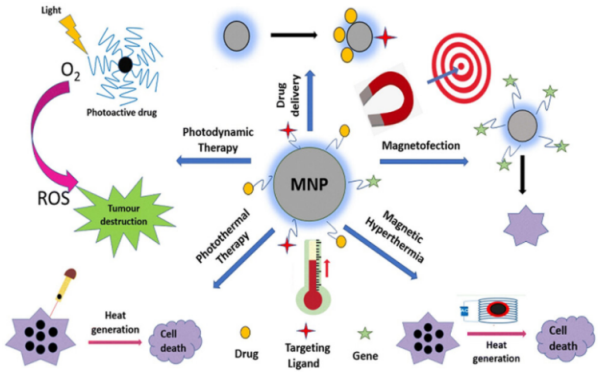


Fig. 4. The various therapeutic applications of MNPs (Azari et al. 2026)

Immobilisation of bioactive molecules and drugs on the surface of MNPs.

One of the most important steps in creating multifunctional nanocomposites is the immobilization of biologically active molecules, including immunoglobulins and drugs, on their surface (Popescu et al., 2019; Mishra & Yadav, 2024; Rarokar et al., 2024). Surface functionalization will facilitate the delivery of the drug exclusively to target cells in the body. Therefore, an important part of the research involves modeling the conditions and studying the mechanism of antibody immobilization on the surface of a magnetosensitive carrier (Gorbyk et al., 2026).

For example, the intensity of interactions between serum albumin and dendrimer-coated MNPs strongly depended on the composition of surface groups and the pH of the medium (Shao et al., 2009). The quenching of fluorescence of tryptophan residues in serum albumin following interaction with nanoparticles was investigated. A study of the interaction of Fe_3O_4 nanoparticles with human serum albumin showed (Huang et al., 2007) that the protein molecule exerts a stabilizing effect on the magnetite nanoparticles, preventing them from aggregating in an aqueous medium. It has been established that Fe_3O_4 nanoparticles functionalized with oleic acid and PEG have a high affinity for the albumin molecule ($K_{ass} > 10^5$/mol).

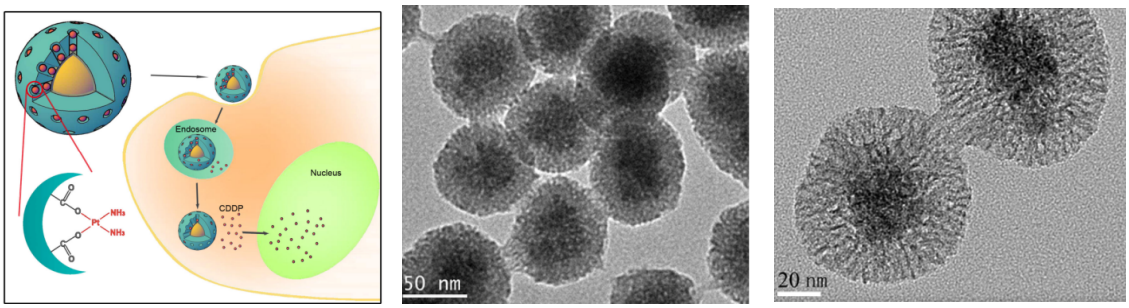
A 22-fold increase in the binding capacity of Fe_3O_4/SiO_2/PAA microspheres for lysozyme compared to Fe_3O_4/SiO_2 microspheres at the same pH values is discussed in (Qiu et al., 2010). The active amino groups of the magnetic carriers of zinc/tetraaminophthalocyanine/ Fe_3O_4 (ZnTAPc) nanocomposites with a diameter of about 15 nm were used to attach lactase via glutaraldehyde (Wu et al., 2009). The amino groups located on the surface of the composite are capable of covalently binding to glutaraldehyde, and the terminal aldehyde group of glutaraldehyde can covalently bind lactase. The optimal pH value for maintaining the activity of immobilized lactase, as for free lactase, is 3.0, and the optimal temperature for immobilization is 45 °C. The degree of immobilization and the Michaelis constant (K_m) of lactase were 25% and 20.1 μM, respectively. The im ed lactase exhibited high stability and can be used as a sensitive biocomponent for constructing a fiber-optic biosensor based on enzymatic catalysis.

Fe_3O_4/Au core-shell nanocomposite particles, attached to the surface of a magnetic glassy carbon electrode, were used to immobilize myoglobin (Mb) during the preparation of an Mb/Fe_3O_4/Au biofilm (Qiu et al., 2010). The properties of the nanocomposite were characterized using transmission electron microscopy, ultraviolet and visible spectroscopy, and cyclic voltammetry. The Fe_3O_4/Au nanoparticles exhibited magnetic properties, high electrical conductivity, and biocompatibility (due to the Au layer), which allowed for the maintenance of biological activity and facilitated the electrochemical attachment of Mb in the biofilm. The proposed method indicates the potential for use in the development of new biosensors and bioelectronic devices.

A new and relatively simple method for the preparation of Fe_3O_4/chitosan (CS) magnetic nanocomposites (Семко та ін., 2010) was proposed, which were used for the immobilization of lipase. The effects of reaction conditions, reaction temperature, and the CS/$Fe(OH)_2$ ratio were investigated. Transmission electron microscopy revealed that the diameter of the nanocomposites was approximately 80 nm, and Fe_3O_4 magnetic nanoparticles with a diameter of 20 nm were uniformly distributed in chitosan. The adsorption capacity for lipase was 129 mg/g. Protein A was immobilized on the surface of Fe_3O_4/SnO_2 nanoparticles. It was shown that the resulting magnetic nanosorbent can be used for the selective extraction of immunoglobulins from biological media (Gu et al., 2010). The composition of air-dried samples of activated Fe_3O_4/SnO_2 nanocomposites ranged from 88–92% Fe3O4 and 3–5% SnO_2 (the tin content is expressed as oxide, although the tin-containing shell consisted of tin (IV) hydroxides and tin acids of various structures (Thanh et al., 2019; Mu et al., 2015). By immobilizing *Staphylococcus aureus* protein A onto activated magnetic nanoparticles, a coating selective for immunoglobulin fragments was formed, which allowed for the preparation of an IgG-binding sorbent. The ability to isolate immunoglobulins from biological media using the sorbent prepared by the method has been demonstrated. By replacing *Staphylococcus aureus* protein A with a receptor center of a different type, the proposed method can be used for the adsorption of other biological and biochemical entities.

In (Zhu et al., 2014) magnetic mesoporous nanocomposites based on silicon dioxide with a «core-shell» structure were synthesised, containing a high concentration of Fe_3O_4@nSiO_2@ mSiO_2-COOH in the form of suspended carboxyl groups for the conjugation and release of cisplatin (CDDP) for the treatment of cancer. Water-soluble sodium carboxyethylsilanetriol was condensed with TEOS to form mesoporous shells modified with carboxyl groups (Fig. 5). The carboxyl groups inherent in the resulting nanocomposites serve as effective anchors for coordination with Pt atoms in the anticancer drug cisplatin, leading to an increase in the amount of loaded drug and its sustained release. The resulting nanocomposites demonstrate excellent dispersibility in water with a well-defined size distribution (approximately 85 nm), ordered mesoporosity, superparamagnetism and high magnetic susceptibility (37.0 emu/g^{-1}). They can be used for magnetically guided delivery and controlled release of CDDP, which exhibits higher cytotoxicity than free CDDP against MCF-7 and A549 cancer cell lines. The nanocomposites can not only effectively transport the encapsulated cisplatin into cancer cells, but also mediate its delayed release in endosomes or lysosomes, leading to enhanced antitumour efficacy.

A new plasma technology was used to synthesize carbon-iron magnetic nanoparticles (CMNPs) from benzene or acetonitrile at room temperature and atmospheric pressure structures (Ma et al., 2009). Scanning electron microscopy revealed that the nanoparticles are spherical in shape and have a diameter of 40–50 nm. Free doxorubicin (DOX) mol-



a **b**

Fig. 5. Schematic illustration of the preparation of Fe_3O_4@nSiO_2@mSiO_2-COOH, and the complexation process for CDDP with carboxyl groups suspended in the channels of mesoporus shells (a) and TEM image of Fe_3O_4@nSiO_2 @mSiO_2-COOH (b) (Zhu et al., 2014)

ecules were then immobilized on activated CMNP surfaces via to obtain CMNP/DOX conjugates. The antitumor activity of CMNP/DOX conjugates was confirmed in studies of their cytotoxicity against tumor cells.

Fe_3O_4 nanoparticles were pre-stabilized with polysaccharides (chitosan, O-carboxymethylchitosan, and N-succinyl-O-carboxymethylchitosan), and the adsorption of the antitumor drug camptothecin (CPT) onto the nanoparticles was investigated (Zhu et al., 2009). It has been shown that the size of magnetite/polysaccharide/CPT nanocomposites, as well as the efficiency of binding and release of the antitumor drug and the ability for nonspecific binding to protein molecules (bovine serum albumin), depend on the structure of the polysaccharide.

Colloidally stable, surface-modified poly(N,N-dimethylacrylamide-CO-acrylic acid) iron oxide-based nanoparticles were characterized using SEM, elemental analysis, and dynamic light scattering (DLS), and their zeta potential was measured (Macková et al., 2015). The efficacy of superparamagnetic nanoparticles was determined during the oxidation of blood lipids and serum proteins using 2-thiobarbituric acid and ThioGlo fluorofluor. A comparative study of the activity of the synthesized composite and cisplatin against Lewis carcinoma in male C57BL/6 mice was conducted. Tumor size was measured, and the number of metastases in the lungs was determined. The potential for using the obtained nanocomposites as effective antitumor agents was established.

Core-shell Fe_3O_4/SiO_2 nanoparticles, functionalised with 3-aminopropyltrimethoxysilane (NH_2) and folic acid (FA), were developed as a dual-targeting system for the delivery of doxorubicin (Dox) in work (Azari et al., 2026). SPIONs were synthesised as the core, coated with silicon dioxide and conjugated with FA to ensure binding to the folate receptor. Structural characterisation confirmed a cubic spinel structure of Fe_3O_4 (XRD) with an average particle size of 11 nm (HRTEM) and a hydrodynamic diameter of 14 nm (DLS). Magnetic measurements demonstrated strong superparamagnetic properties, confirming the possibility of external control. Cytotoxicity was assessed using MTT assays on A549 (lung cancer) and 5637 (bladder cancer) cell lines, demonstrating selective activity against malignant cells. Drug release studies revealed a pH-dependence: at pH 5.4, 50% of DOX was released within 4 hours and 68.09% within 93 hours, compared to 42% and 52.89% at pH 7.4. Kinetic modelling indicated first-order release kinetics. Taken together, these results indicate that Fe_3O_4/SiO_2 core nanoparticles represent a promising platform for the targeted and sustained delivery of doxorubicin, thereby reducing side effects and expanding the therapeutic potential of the treatment.

A series of studies (Lee & Yeo, 2015; Wani et al., 2016) is devoted to a review of the current literature on the synthesis of magnetosensitive nanocomposites for biomedical applications, nanorobots for oncological and neutron-capturing therapy, and the immobilization of cisplatin, as well as to investigating their effects on various types of cancer cells. With the aim of creating new forms of magnetically controlled drug delivery systems for oncology, a series of experimental samples of new types of magnetosensitive nanocomposites, as well as magnetic fluids based on them, for biomedical applications; their physical, chemical, and

biological properties were studied and systematized (Горбик та ін., 2013; Petranovska et al., 2018; Petranovska et al., 2019).

Theoretical assessments of the conditions for transport and fixation of magnetosensitive nanocomposites using an external magnetic field were performed. It has been shown that with an optimal selection of magnetic systems, it is possible to retain drug-loaded nanocontainers even in large main blood vessels. The calculations indicate a realistic possibility of targeted delivery and retention of magnetic carriers in target organs (Кусяк та ін., 2025a; Кусяк та ін., 2025b; Gorbyk et al., 2026).

The cytotoxic effect of magnetosensitive nanocomposites with an adsorbed cytostatic agent, conjugated with a monoclonal antibody, on the viability of the human breast cancer cell line MCF-7 was studied. The use of magnetic nanocomposites containing an antitumor drug and the monoclonal antibody CD-95 was accompanied by a significant synergistic effect of cytotoxic action. Their efficacy exceeded the combined effect of the corresponding control doses of cisplatin and the antibody by 20–200 %.

Magnetic nanomaterials exhibiting high specificity and biocompatibility have been synthesised to detect molecular interactions *in vitro* and *in vivo* and are used as biosensors for effective diagnosis. Magnetic anisotropy is used to regulate the critical magnetic field required to switch the magnetisation of the element between two stable states, thereby creating a binary barcode. Currently, magnetic biosensors for diagnostics are based not only on the properties of magnetic nanoparticles, but also on functionalised coated materials. Magnetic sphere-based biosensors are functionalised MNPs through the conjugation of target ligands, which gives magnetic sphere-based biosensors new specificity. At the same time, MNPs, together with target receptors and functionalised spheres/materials, act as a signal generator or detector, determining the sensitivity of the biosensors (Fig. 6).

Discussion

A comparative analysis of published studies clearly shows that no single synthesis or functionalisation strategy can be considered universally optimal. Each approach has its own advantages depending on the intended biomedical application. For example, the co-precipitation method offers scalability, whilst thermal decomposition provides excellent size control and monodispersity. Surface functionalisation plays a decisive role in determining not only the efficiency of immobilisation but also the biological characteristics of nanocomposites. The introduction of amino, thiol or silanol groups allows for the precise tuning of intermolecular interactions, which directly influences drug loading capacity and release kinetics. Importantly, the interaction between

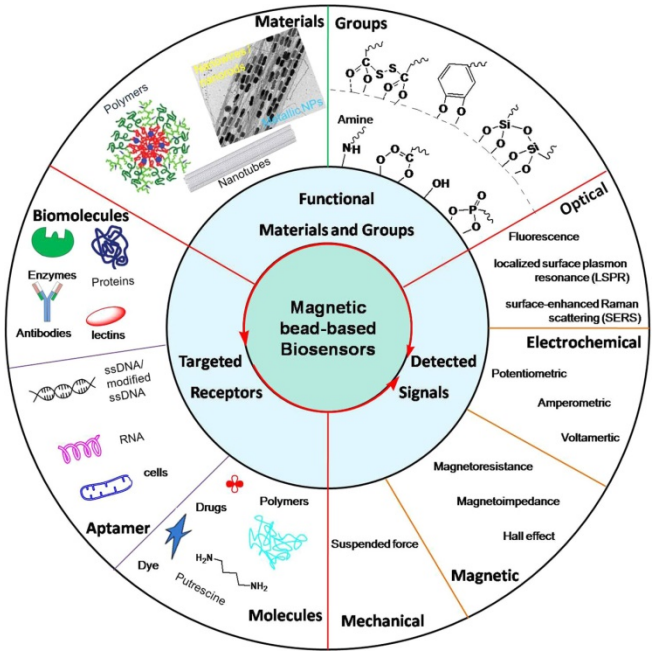


Fig. 6. Schematic representation of a magnetic biosensor (Wu et al., 2015)

synthesis conditions and surface chemistry remains a critical factor affecting reproducibility and stability. In many cases, minor changes in experimental parameters lead to significant differences in nanoparticle behaviour, complicating standardisation. Overall, current research trends are shifting towards the development of multifunctional and stimulus-responsive systems capable of controlled drug delivery, improved targeting efficiency and reduced side effects.

Conclusions

This review summarises current approaches to the synthesis, functionalisation and application of magnetite nanoparticles as versatile platforms for the creation of biomedical nanocomposites. It is shown that the synthesis method determines the size, morphology and magnetic properties of Fe_3O_4 nanoparticles, which directly influences their subsequent functionalisation and performance in applied systems. It has been established that surface modification using silanes (APTES, MPTES, TEOS) is a key tool for controlling interfacial interactions, as it allows the introduction of various types of functional groups and the regulation of the types of bonds with biomolecules. It has been established that the type of functional groups determines not only the binding efficiency but also the kinetics of drug release. Examples of the immobilisation of proteins, enzymes, immunoglobulins and anticancer drugs are provided, demonstrating the high efficiency of magnetic nanocomposites in biomedical applications. The potential for using Fe_3O_4 nanoparticles in targeted delivery systems, magnetically controlled therapies and biosensors has been demonstrated. The results obtained indicate that the rational selection of synthesis and functionalisation methods opens up broad possibilities for the creation of multifunctional nanomaterials with specified properties. Prospects for further research relate to the development of multi-stimulating systems, the improvement of biocompatibility and a deeper understanding of the mechanisms of interaction between nanoparticles and biological objects. Furthermore, future research should focus on integrating several functional components into a single nanoplatform, thereby achieving a synergistic effect in treatment and diagnosis. The development of such advanced systems requires not only the refinement of synthesis strategies, but also a deeper understanding of nanobiological interactions at the molecular level.

Bibliography

Ahmad S., Ni H., Al-Mubaddel F.S., Rizk M. A., Ammar M. B., Khan A.U., Almarhoon Z.M., Alanazi A. A., Zaki M. E. Magnetic properties of different phases iron oxide nanoparticles prepared by micro emulsion-hydrothermal method. *Scientific Reports.* 2025. Vol. 15. P. 878. https://doi.org/10.1038/s41598-025-85145-5

Azari E., Niad M., Nikmanesh H., Ahmadi A. H. Fe_3O_4/SiO_2 core-shell nanoparticles: dual-targeting drug carrier for doxorubicin delivery in cancer therapy, *Results in Chemistry*. 2026. P. 103181. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2026.103181

Chatterjee Sh., Das A., Datta P., Thomas S., Ghosal K. Medium molecular weight chitosan and magnetite based bead as a nanocomposite for delivery of anticancer drug: Development, evaluation and biocompatibility study. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2025. Vol. 293. P. 139246. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139246

Das A., Sengupta P., Khanam J., Augustine R., Avnesh S. Th., Thomas S., Roy S., Ghosal K. Magnetic nanoparticle as a new cutting-edge drug delivery and diagnostic platform: a review on its properties, synthesis, surface modification and applications. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications.* 2025. Vol. 11. P. 100905. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100905

Gorbyk P., Makhno S., Lisova O., Kusyak A., Mazurenko R., Prokopenko S., Kusyak N., Dubrovin I., Turanska S., Petranovskaya A. New Magnetosensitive Nanostructured Materials: Current Status and Research Prospects. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2026. Vol. 17. №1. P. 37–49. https://doi.org/10.15407/hftp17.01.037

Gu L., Park J.H., Duong K.H., Ruoslahti E., Sailor M.J. Magnetic luminescent porous silicon microparticles for localized delivery of molecular drug payloads *Small.* 2010. Vol. 6. № 22. P. 2546–2552. https://doi.org/10.1002/smll.201000841

Huang J., Liu C., Xiao H., Wang J., Jiang D., Gu E. Zinc tetraaminophthalocyanine-Fe_3O_4 nanoparticle composite for laccase immobilization. *International Journal of Nanomedicine*. 2007. Vol. 2. № 4. P. 775–784. PMID: 18203444

Izaz S., Shah A., Ahmad W., Anwar M., Shah R., Khan J. A., Noor S. S., Abdulaziz A. A., Changseok H. Synthesis, properties, and applications of Fe_3O_4 and Fe_3O_4-based nanocomposites. *A review,*

Applied Catalysis Open. 2025. Vol. 203. P. 207049. https://doi.org/10.1016/j.apcato.2025.207049

Kohale M., Inamdar H., Kokate K., Ingale R., Joshi J., Singh D., Aavishkar K., Polshettiwar S., Aher R., Kulkarni S. Engineering magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles: Controlled synthesis, surface functionalization, and multidisciplinary technological applications: A Review, Progress in Crystal. *Growth and Characterization of Materials*. 2026. Vol. 72. I. 1. P. 100698. https://doi.org/10.1016/j.pcrysgrow.2026.100698

Kusiak N. V., Kusyak A. P., Svyrydiuk K. P., Petranovska A. L., Gorbyk P. P. Evaluation of the acid–base surface properties of nanoscale Fe_3O_4 and Fe_3O_4/SiO_2 by potentiometric method. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2021. Vol. 719. P.140–152. https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/15421406.2021.1878744

Lee J. H. Yeo Y. Controlled Drug Release from Pharmaceutical Nanocarriers. *Chemical Engineering Science.* 2015. Vol. 125. №24. P. 75–84. https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.08.046

Ma Y., Manolache S., Denes F., Vail D., Thamm D., Kurzman I. Plasma synthesis of carbon-iron magnetic nanoparticles and immobilization of doxorubicin for targeted drug delivery. *Journal of Materials Engineering and Performance.* 2006. Vol. 15. P. 376–382. https://doi.org/10.1361/105994906X113705

Macková H., Horák D., Donchenko G. V., Andriyaka V. I., Palyvoda O. M., Chernishov V. I., Chekhun V. F., Todor I. N., Kuzmenko O. I. Colloidally stable surface-modified iron oxide nanoparticles: preparation, characterization and anti–tumor activity. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* 2015. Vol. 380. № 15. P. 125–131. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.09.037

Mishra S., Yadav M. D. Magnetic Nanoparticles: A Comprehensive Review from Synthesis to Biomedical Frontiers. *Langmuir.* 2024. Vol. 40. № 33. P. 17239–17269. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.4c01532

Mu X., Tong Z., Huang Q., Liu B., Liu Z., Hao L., Zhang J., Gao C., Wang F. Nano-Magnetic Immunosensor Based on Staphylococcus Protein A and the Amplification Effect of HRP-Conjugated Phage Antibody. *Sensors (Basel).* 2015 Vol. 15. №2. P. 3896–3910. https://doi.org/10.3390/s150203896

Petranovska A. L., Abramov M. V., Opanashchuk N. M., Turanska S. P., Kusyak N. V., Gorbyk P. P. Synthesis and properties of magnetically sensitive nanocomposites based on magnetite and gemcitabine. *Chemistry, Physics and Technology of Surface.* 2018. Vol. 9. №4. P. 353–361. https://doi.org/10.15407/hftp09.04.353

Petranovska A. L., Abramov M. V., Opanashchuk N. M., Turanska S. P., Gorbyk P. P., Kusyak N. V., Kusyak A. P., Lukyanova N. Y., Chekhun V. F. Magnetically sensitive nanocomposites and magnetic liquids based on magnetite, gemcitabine and antibody HER2. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*. 2019. Vol. 10. №4. P. 419–431. https://doi.org/10.15407/hftp10.04.419

Popescu R. C, Andronescu E, Vasile B. S. Recent Advances in Magnetite Nanoparticle Functionalization for Nanomedicine. *Nanomaterials.* 2019. Vol. 9. № 12. P. 1791. https://doi.org/10.3390/nano9121791

Qiu J. D., Peng H. P., Liang R. P., Xia X. H. Facile preparation of magnetic core-shell Fe_3O_4@Au nanoparticle/myoglobin biofilm for direct electrochemistry. *Biosens. Bioelectron.* 2010. Vol. 25. № 6. P. 1447–1453. https://doi.org/10.1016/j.bios.2009.10.043

Rarokar N., Yadav S., Saoji S., Bramhe P., Agade R., Gurav S., Khedekar P., Subramaniyan V., Wong L.S., Kumarasamy V. Magnetic nanosystem a tool for targeted delivery and diagnostic application: Current challenges and recent advancement. *International Journal of Pharmaceutics: X.* 2024. Vol. 23. №7. P. 100231. https://doi.org/10.1016/j.ijpx.2024.100231

Rezaei B., Yari P., Sanders S. M., Wang H., Chugh V. K., Liang S., Mostufa S., Xu K., Wang J.-P., Gómez-Pastora J., Wu K. Magnetic Nanoparticles: A Review on Synthesis, Characterization, Functionalization, and Biomedical Applications. *Small.* 2024. Vol. 20. P. 2304848. https://doi.org/10.1002/smll.202304848

Roy K., Roy I. Therapeutic applications of magnetic nanoparticles: recent advances. *Materials Advances*. 2022. Vol. 3. № 20. P. 7425–7444. https://doi.org/10.1039/D2MA00444E

Shao D., Xu K., Song X., Hu J., Yang W., Wang C. Effective adsorption and separation of lysozyme with PAA-modified Fe_3O_4@silica core/shell microspheres. *Journal of Colloid and Interface Science.* 2009. Vol. 15. № 336 (2). P. 526–532. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.02.061

Trung Th. B., Nguyen V. S., Bashir J. H., Mohammed J. K., Kiat J., H., Bach P., Th., Minh N., Q., Quyen T., N., Hoang H, T., Hung V. Ph., Nguyen T. T., Immobilization of Protein A on Monodisperse

Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications. *Journal of Nanomaterials*. 2019. P. 2182471. https://doi.org/10.1155/2019/2182471

Wani W. A., Prashar S., Shreaz Sh., Gómez–Ruiz S. Nanostructured materials functionalized with metal complexes: in search of alternatives for administering anticancer metallodrugs. *Coordination Chemistry Reviews*. 2016. Vol. 312. №1. P. 67–98. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2016.01.001

Wu Y., Wang Y., Luo G., Dai Y. In situ preparation of magnetic Fe_3O_4–chitosan nanoparticles for lipase immobilization by cross–linking and oxidation in aqueous solution. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100. I. 14. P. 3459–3464. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.018

Wu W., Wu Z., Yu T., Jiang, C., Kim W. S. Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*. 2015. Vol. 16. №2. P. 023501. https://doi.org/10.1088/1468-6996/16/2/023501

Zhu A., Lanhua Y., Wenjie J., Sheng D., Qianqian W., Zhengfeng X., Aijian Q., Polysaccharide surface modified Fe_3O_4 nanoparticles for camptothecin loading and release. *Acta Biomaterialia*. 2009. Vol. 5. I. 5. P. 1489–1498. https://doi.org/10.1016/j.actbio.2008.10.022

Zhu X., Gu J., Li Y., Zhao W., Shi J. Magnetic core–mesoporous shell nanocarriers with drug anchorages suspended in mesopore interior for cisplatin delivery. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2014. Vol. 196. № 15. P. 115–121. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.04.057

Горбик П. П., Турелик М. П., Горобець С. В. Чехун М.Ф., Шпак А.П. Біофункціоналізовані наноматеріали і нанокомпозити: наукові основи та напрями застосування: навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 471 с.

Кусяк Н.В., Свиридюк К.П., Кичкирук О.Ю., Листван В.В., Горбик П.П. Кислотно-основні властивості поверхні нанорозмірного Fe_3O_4. *Український журнал природничих наук*. 2025a. № 12. С. 138–145. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.13

Кусяк Н.В., Свиридюк К.П., Ходюк О.В., Кусяк А.П., Горбик П.П. Сорбційні характеристики нанорозмірного Fe_3O_4 щодо імуноглобуліну людини Ig. *Український журнал природничих наук.* 2025b. № 14. С. 140–149. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.13

Семко Л.С., Хуторний С.В., Сторожук Л.П., Дзюбенко Л.С.. Абрамов Н.В., Горбик П.П. Хімічне конструювання та дослідження властивостей магнытокерованих адсорбентів для екстракції нуклеїнових кислот. *Поверхня*. 2010. Т. 2. №17. С. 330–339. https://surfacezbir.com.ua/index.php/surface/article/view/423/421

References

Ahmad, S., Ni, H., Al-Mubaddel, F. S., Rizk, M. A., Ammar, M. B., Khan, A.U., Almarhoon, Z.M., Alanazi, A. A. & Zaki, M. E. (2025). Magnetic properties of different phases iron oxide nanoparticles prepared by micro emulsion-hydrothermal method. *Scientific Reports*, 15, 878. https://doi.org/10.1038/s41598-025-85145-5 [in English].

Azari, E., Niad, M., Nikmanesh, H. & Ahmadi, A. H. (2026). Fe_3O_4/SiO_2 core-shell nanoparticles: dual-targeting drug carrier for doxorubicin delivery in cancer therapy. *Results in Chemistry*, 103181. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2026.103181 [in English].

Chatterjee, Sh., Das, A., Datta, P., Thomas, S. & Ghosal, K. (2025). Medium molecular weight chitosan and magnetite based bead as a nanocomposite for delivery of anticancer drug: Development, evaluation and biocompatibility study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 293, 139246. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139246 [in English].

Das, A., Sengupta, P., Khanam, J., Augustine, R., Avnesh, S. Th., Thomas, S., Roy, S. & Ghosal, K. (2025). Magnetic nanoparticle as a new cutting-edge drug delivery and diagnostic platform: a review on its properties, synthesis, surface modification and applications. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 11, 100905. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100905 [in English].

Gorbyk, P., Makhno, S., Lisova, O., Kusyak, A., Mazurenko, R., Prokopenko, S., Kusyak, N., Dubrovin, I., Turanska, S. & Petranovskaya, A. (2026). New Magnetosensitive Nanostructured Materials: Current Status and Research Prospects. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*, 17(1), 37–49. https://doi.org/10.15407/hftp17.01.037 [in English].

Gu, L., Park, J.H., Duong, K.H., Ruoslahti, E. & Sailor, M.J. (2010). Magnetic luminescent porous silicon microparticles for localized delivery of molecular drug payloads. *Small*, 6(22), 2546–2552. https://doi.org/10.1002/smll.201000841 [in English].

Huang, J., Liu, C., Xiao, H., Wang, J., Jiang, D. & Gu, E. (2007). Zinc tetraaminophthalocyanine-Fe3O4 nanoparticle composite for laccase immobilization. *International Journal of Nanomedicine*, 2(4), 775–784. PMID: 18203444 [in English].

Izaz, S., Shah, A., Ahmad, W., Anwar, M., Shah, R., Khan, J. A., Noor, S. S., Abdulaziz, A. A. & Changseok, H. (2025). Synthesis, properties, and applications of Fe3O4 and Fe3O4-based nanocomposites. A review. *Applied Catalysis Open*, 203, 207049. https://doi.org/10.1016/j.apcato.2025.207049 [in English].

Kohale, M., Inamdar, H., Kokate, K., Ingale, R., Joshi, J., Singh, D., Aavishkar, K., Polshettiwar, S., Aher, R. & Kulkarni, S. (2026). Engineering magnetite (Fe3O4) nanoparticles: Controlled synthesis, surface functionalization, and multidisciplinary technological applications: A Review, Progress in Crystal. *Growth and Characterization of Materials*, 72(1), 100698. https://doi.org/10.1016/j.pcrysgrow.2026.100698 [in English].

Kusiak, N. V., Kusyak, A. P., Svyrydiuk, K. P., Petranovska, A. L. & Gorbyk, P. P. (2021). Evaluation of the acid–base surface properties of nanoscale Fe_3O_4 and Fe_3O_4/SiO_2 by potentiometric method. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 719, 140–152. https://doi.org/10.1080/15421406.2021.1878744 [in English].

Lee, J. H. & Yeo, Y. (2015). Controlled Drug Release from Pharmaceutical Nanocarriers. *Chemical Engineering Science*, 125(24), 75–84. https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.08.046 [in English].

Ma, Y., Manolache, S., Denes, F., Vail, D., Thamm, D. & Kurzman, I. (2006). Plasma synthesis of carbon-iron magnetic nanoparticles and immobilization of doxorubicin for targeted drug delivery. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 15, 376–382. https://doi.org/10.1361/105994906X113705 [in English].

Macková, H., Horák, D., Donchenko, G. V., Andriyaka, V. I., Palyvoda, O. M., Chernishov, V. I., Chekhun, V. F., Todor, I. N. & Kuzmenko, O. I. (2015). Colloidally stable surface-modified iron oxide nanoparticles: preparation, characterization and anti–tumor activity. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 380(15), 125–131. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.09.037 [in English].

Mishra, S. & Yadav, M. D. (2024). Magnetic Nanoparticles: A Comprehensive Review from Synthesis to Biomedical Frontiers. *Langmuir*, 40(33), 17239–17269. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.4c01532 [in English].

Mu, X., Tong, Z., Huang, Q., Liu, B., Liu, Z., Hao, L., Zhang, J., Gao, C., Wang, F. (2015). Nano-Magnetic Immunosensor Based on Staphylococcus Protein A and the Amplification Effect of HRP-Conjugated Phage Antibody. *Sensors (Basel)*, 15(2), 3896–3910. https://doi.org/10.3390/s150203896 [in English].

Petranovska, A. L., Abramov, M. V., Opanashchuk, N. M., Turanska, S. P., Kusyak, N. V. & Gorbyk, P. P. (2018). Synthesis and properties of magnetically sensitive nanocomposites based on magnetite and gemcitabine. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*, 9(4), 353–361. https://doi.org/10.15407/hftp09.04.353 [in English].

Petranovska, A. L., Abramov, M. V., Opanashchuk, N. M., Turanska, S. P., Gorbyk, P. P., Kusyak, N. V., Kusyak, A. P., Lukyanova, N. Y. & Chekhun V. F. (2019). Magnetically sensitive nanocomposites and magnetic liquids based on magnetite, gemcitabine and antibody HER2. *Chemistry, Physics and Technology of Surface*, 10(4), 419–431. https://doi.org/10.15407/hftp10.04.419 [in English].

Popescu, R. C., Andronescu, E. & Vasile, B. S. (2019). Recent Advances in Magnetite Nanoparticle Functionalization for Nanomedicine. *Nanomaterials*, 9(12), 1791. https://doi.org/10.3390/nano9121791 [in English].

Qiu, J. D., Peng, H. P., Liang, R. P. & Xia, X. H. (2010). Facile preparation of magnetic core-shell Fe3O4@Au nanoparticle/myoglobin biofilm for direct electrochemistry. *Biosens. Bioelectron*, 25(6), 1447–1453. https://doi.org/10.1016/j.bios.2009.10.043 [in English].

Rarokar, N., Yadav, S., Saoji, S., Bramhe, P., Agade, R., Gurav, S., Khedekar, P., Subramaniyan, V., Wong, L.S. & Kumarasamy, V. (2024). Magnetic nanosystem a tool for targeted delivery and diagnostic application: Current challenges and recent advancement. *International Journal of Pharmaceutics: X*, 23(7), 100231. https://doi.org/10.1016/j.ijpx.2024.100231 [in English].

Rezaei, B., Yari, P., Sanders, S. M., Wang, H., Chugh, V. K., Liang, S., Mostufa, S., Xu, K., Wang, J.-P., Gómez-Pastora, J. & Wu, K. (2024). Magnetic Nanoparticles: A Review on Synthesis, Characterization, Functionalization, and Biomedical Applications. *Small*, 20, 2304848. https://doi.org/10.1002/smll.202304848 [in English].

Roy, K. & Roy, I. (2022). Therapeutic applications of magnetic nanoparticles: recent advances. *Materials Advances*, 3(20), 7425–7444. https://doi.org/10.1039/D2MA00444E [in English].

Shao, D., Xu, K., Song, X., Hu, J., Yang, W. & Wang, C. (2009). Effective adsorption and separation of lysozyme with PAA-modified Fe_3O_4@silica core/shell microspheres. *Journal of Colloid and Interface Science*, 336(2), 526–532. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.02.061 [in English].

Trung, Th. B., Nguyen, V. S., Bashir, J. H., Mohammed, J. K., Kiat, J. H., Bach, P. Th., Minh, N. Q., Quyen, T. N., Hoang, H. T., Hung, V. Ph. & Nguyen, T. T. (2019). Immobilization of Protein A on Monodisperse Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications. *Journal of Nanomaterials*, 2182471. https://doi.org/10.1155/2019/2182471 [in English].

Wani, W. A., Prashar, S., Shreaz, Sh. & Gómez–Ruiz, S. (2016). Nanostructured materials functionalized with metal complexes: in search of alternatives for administering anticancer metallodrugs. *Coordination Chemistry Reviews*, 312(1), 67–98. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2016.01.001 [in English].

Wu, Y., Wang, Y., Luo, G. & Dai, Y. (2009). In situ preparation of magnetic Fe3O4–chitosan nanoparticles for lipase immobilization by cross–linking and oxidation in aqueous solution. *Bioresource Technology*, 100(14), 3459–3464. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.018 [in English].

Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C. & Kim, W. S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 16(2), 023501. https://doi.org/10.1088/1468-6996/16/2/023501 [in English].

Zhu, A., Lanhua, Y., Wenjie, J., Sheng, D. & Qianqian, W. (8009). Polysaccharide surface modified Fe3O4 nanoparticles for camptothecin loading and release. *Acta Biomaterialia*, 5(5), 1489–1498. https://doi.org/10.1016/j.actbio.2008.10.022 [in English].

Zhu, X., Gu, J., Li, Y., Zhao, W. & Shi, J. (2014). Magnetic core–mesoporous shell nanocarriers with drug anchorages suspended in mesopore interior for cisplatin delivery. *Microporous and Mesoporous Materials*, 196(15), 115–121. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.04.057 [in English].

Gorbyk, P. P., Turelyk, M. P., Gorobets, S. V., Gorobets, O. Yu. & Demianenko, I. V. (2013). Biofunktsionalizovani nanomaterialy i nanokompozyty: naukovi osnovy ta napriamy zastosuvannia: navchalnyi posibnyk [Biofunctionalized nanomaterials and nanocomposites: scientific foundations and directions of application: monograph]. Kyiv: NTUU «KPI», 480 p. [in Ukrainian].

Kusiak, N. V., Svyrydiuk, K. P., Kychkyruk, O. Yu., Lystvan, V. V. & Gorbyk, P. P. (2025a). Kyslotno-osnovni vlastyvosti poverkhni nanorozmirnoho Fe_3O_4 [Acid-base properties of the surface of nanoscale Fe_3O_4]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 12, 138–145. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.13 [in Ukrainian].

Kusiak, N. V., Svyrydiuk, K. P., Khodyuk, O. V., Kusyak, A. P. & Gorbyk, P. P. (2025b). Sorbtsiini kharakterystyky nanorozmirnoho Fe_3O_4 shchodo imunohlobulinu liudyny Ig [Sorption characteristics of nanoscale Fe_3O_4 regarding human immunoglobulin Ig]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 14, 140–149. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.13 [in Ukrainian].

Semko, L. S., Hutornyy, S. V., Storozhuk, L. P., Dzyubenko, L. S., Abramov, N. V. & Gorbyk, P. P. (2010). Khimichne konstruiuvannia ta doslidzhennia vlastyvostei mahnytokerovanykh adsorbentiv dlia ekstraktsii nukleinovykh kyslot [Chemical engineering and research the properties of magnetically operated adsorbents for the extraction of nucleic acids]. *Poverkhnia [Surface],* 2(17), 330–339. https://surfacezbir.com.ua/index.php/surface/article/view/423/421 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 08.04.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 543.42+628.16
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.12

ОЦІНКА ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ КИЇВЩИНИ МЕТОДОМ АТОМНО-ЕМІСІЙНОЇ СПЕКТРОМЕТРІЇ

О. І. Хижан[1], Л. О. Ковшун[2], О. І. Хижан[3], А. Г. Галстян[4]

Сучасний стан водних систем потребує контролю їх хімічного складу, оскільки антропогенний фактор може призводити до накопичення у водному середовищі потенційно небезпечних речовин. Значну увагу привертають важкі метали, які відзначаються високою токсичністю, здатністю до біоакумуляції та негативним впливом на водні екосистеми і здоров'я населення навіть у дуже низьких концентраціях. З огляду на це, визначення елементного складу природних вод є пріоритетним завданням сучасного екологічного та аналітичного контролю. Актуальність дослідження пояснюється необхідністю отримання достовірних даних щодо вмісту хімічних елементів у водних системах Київщини для оцінки їх екологічного стану та відповідності нормативним вимогам.
Метою роботи було визначення елементного складу зразків води з різних водних об'єктів Київщини, зокрема встановлення концентрацій важких металів та оцінка їх розподілу у поверхневих водах регіону. Отримані результати мають важливе значення для аналізу якості водних ресурсів Київщини, а також для створення комплексу заходів щодо їх раціонального використання, охорони та відтворення.
Дослідження виконувалися в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, що акредитована відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025 і гарантує досто-

[1] кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри загальної, органічної та фізичної хімії
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: olenakhyzhan@nubip.edu.ua
ORCID: 0000-0002-2986-3251
[2] доктор технічних наук, професор,
професор кафедри загальної, органічної та фізичної хімії
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: kovshunlidiia@nubip.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2036-0145
[3] кандидат хімічних наук,
науковий співробітник відділу хімії гетероциклічних сполук
(Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л. М. Литвиненка НАН України, м. Київ)
e-mail: khyzhan@gmail.com
ORCID: 0009-0008-0799-688X
[4] доктор хімічних наук, професор,
завідувач кафедри загальної, органічної та фізичної хімії
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: aggaalst@nubip.edu.ua
ORCID: 0000-0001-8475-8166

вірність та відтворюваність отриманих результатів. Для встановлення елементного складу водних зразків застосовано метод атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод характеризується високою чутливістю, точністю та можливістю одночасного визначення значної кількості хімічних елементів у низьких концентраціях. Межа детектування для основної більшості елементів становить близько 0,01 мг/дм³, що дає змогу виявляти навіть слідові кількості металів у водних пробах. Для досягнення точності та контролю якості аналітичних вимірювань використовували багатоелементний стандартний розчин IV виробництва Merck KGaA (Німеччина).

Аналіз отриманих даних показав, що концентрації таких важких металів, як кобальт (Co), кадмій (Cd), свинець (Pb), нікель (Ni), хром (Cr) та мідь (Cu) у зразках води, що досліджувались, є незначними та не перевищують встановлених нормативних значень. Крім того, з'ясовано, що вміст цинку (Zn), мангану (Mn), молібдену (Mo), вісмуту (Bi), арсену (As) та ртуті (Hg) перебуває в межах допустимих концентрацій. Результати свідчать про задовільний екологічний стан досліджених водних об'єктів Київщини з точки зору вмісту важких металів.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному визначенні елементного складу природних вод регіону із застосуванням сучасного високочутливого методу ICP-AES. Це дозволило одержати достовірні дані щодо концентрацій мікроелементів та важких металів у водних об'єктах Київщини. Практичне значення даного дослідження полягає у можливості застосування отриманих результатів для оцінки екологічного стану водних ресурсів регіону, прогнозування ризиків їх забруднення та забезпечення екологічної безпеки. Крім того, отримані дані можуть бути використані для оцінки впливу якості води на безпечність вирощування сільськогосподарської продукції та формування системи ефективного моніторингу водних ресурсів.

Ключові слова: *атомно-емісійна спектрометрія, вода, важкі метали, елементний склад води, якість води.*

ASSESSMENT OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF AQUATIC ECOSYSTEMS OF THE KYIV REGION USING ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY

O. I. Khyzhan, L. O. Kovshun, O. I. Khyzhan, A. G. Galstyan

The current state of aquatic systems requires careful monitoring of their chemical composition, as anthropogenic factors may lead to the accumulation of potentially hazardous substances in the aquatic environment. Particular attention is paid to heavy metals, which are characterized by high toxicity, the ability to bioaccumulate, and negative impacts on aquatic ecosystems and human health even at very low concentrations. In this regard, determining the elemental composition of natural waters is a priority task of modern environmental and analytical monitoring. The relevance of this study is explained by the need to obtain reliable data on the content of chemical elements in water systems of the Kyiv region in order to assess their ecological status and compliance with regulatory requirements. The aim of this work was to determine the elemental composition of water samples from various water bodies of the Kyiv region, in particular to establish the concentrations of heavy metals and evaluate their distribution in the surface waters of the region. The obtained results are important for the analysis of water resource quality in the Kyiv region, as well as for the development of a set of measures aimed at their rational use, protection, and restoration.

The research was carried out at the Ukrainian Laboratory of Quality and Safety of Agricultural Products of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, which is accredited in accordance with the requirements of the DSTU ISO/IEC 17025 standard and ensures the reliability and reproducibility of the obtained results. To determine the elemental composition of water samples, the method of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) was applied. This method is characterized by high sensitivity, accuracy, and the ability to simultaneously determine a large number of chemical elements at low concentrations. The detection limit for the majority of elements is approximately 0.01 mg/dm³, which makes it possible to detect even trace amounts of metals in water samples. To ensure accuracy and quality control of analytical measurements, a multielement standard solution IV produced by Merck KGaA (Germany) was used.

Analysis of the obtained data showed that the concentrations of such heavy metals as cobalt (Co), cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr), and copper (Cu) in the studied water samples are insignificant and do not exceed the established regulatory limits. In addition, it was found that the content of zinc (Zn), manganese (Mn), molybdenum (Mo), bismuth (Bi), arsenic (As), and mercury (Hg) is within the permissible concentrations. The results indicate a satisfactory ecological state of the studied water bodies of the Kyiv region in terms of heavy metal content.

The scientific novelty of this work lies in the comprehensive determination of the elemental composition of natural waters of the region using the modern highly sensitive ICP-AES method. This made it possible to obtain reliable data on the concentrations of trace elements and heavy metals in water bodies of the Kyiv region. The practical significance of this study lies in the possibility of using the obtained results to assess the ecological condition of the region's water resources, predict the risks of their contamination, and ensure environmental safety. In addition, the obtained data may be used to evaluate the impact of water quality on the safety of agricultural production and to develop an effective water resource monitoring system.

Key words: *atomic emission spectrometry, water, heavy metals, elemental composition of water, water quality.*

Вступ

Забруднення довкілля важкими металами є однією з найсучасніших екологічних проблем. Такі елементи характеризуються високою токсичністю, здатністю до біоакумуляції та стійкістю у природному середовищі. Потрапляючи у водне середовище, вони можуть накопичуватися в організмах живих істот і переходити через харчові ланцюги, що посилює їх негативний вплив на екосистеми та здоров'я людини (Balali-Mood et al., 2021; Parida & Patel, 2023). Відомо, що навіть незначні концентрації таких металів, як свинець (Pb), ртуть (Hg), кадмій (Cd) і миш'як (As), викликають значні порушення у функціонуванні організму людини, таких як ураження нервової, серцево-судинної системи та нирок (Zhang et al., 2023; Saravanan et al., 2024).

Основними джерелами надходження важких металів у водні екосистеми є промислові підприємства, транспорт, гірничодобувна діяльність, сільське господарство і нераціональне поводження з відходами. Поверхневий стік з урбанізованих територій, промислові стічні води та атмосферні випадіння сприяють перенесенню токсичних металів у озера, річки та підземні води, що призводить до погіршення якості водних ресурсів (Xu et al., 2024; Piwowarska et al., 2024).

Значну небезпеку становить здатність важких металів до біоакумуляції та біомагніфікації. Під час біоакумуляції токсичні елементи можуть поступово накопичуватися у тканинах живих організмів, а в процесі біомагніфікації їх концентрація збільшується на кожному наступному рівні харчового ланцюга. Тому навіть низькі концентрації металів у водному середовищі можуть становити значну небезпеку для тварин та людини у довгостроковій перспективі (Yaashikaa et al., 2024).

Автори (Kumar et al., 2023) проаналізували інформацію 233 наукових публікацій за 2010–2022 рр., щоб дати оцінку поширення токсичних металів у поверхневих водах на різних континентах. Встановлено, що середні концентрації таких елементів, як Fe, Pb, Cr, Hg, Cd та As у багатьох регіонах перевищують гранично допустимі норми, встановлені World Health Organization. За результатами оцінки ризику показано, що миш'як і свинець можуть спричиняти значні неканцерогенні ризики для здоров'я людини при споживанні такої води.

Забруднення води важкими металами має також негативний вплив на сільське господарство (Orosun et al., 2023). Використання забрудненої води для зрошення спричиняє накопичення токсичних елементів у ґрунтах і рослинах, що призводить до їх потрапляння у харчовий ланцюг і становить ризик для здоров'я людини. Автори акцентують необхідність впровадження ефективних заходів контролю для зниження забруднення водних ресурсів токсичними металами.

Зростання рівня урбанізації та індустріалізації сприяє збільшенню антропогенного навантаження на природні водні системи. У зв'язку з цим особливого значення набуває проведення регулярного моніторингу хімічного складу води. Визначення концентрацій важких металів у водних системах дозволяє оцінити рівень забруднення, встановити джерела його виникнення та розробити заходи для зниження негативного впливу на довкілля (Khan et al., 2023).

Важливим показником якості води є її елементний склад. Сучасні аналітичні методи дають змогу визначати навіть дуже низькі концентрації металів у водних зразках. Одним із найефективніших методів є індуктивно зв'язана плазмова мас-спектрометрія (ICP-MS), яку можна охарактеризувати високою чутливістю та можливістю одночасного визначення широкого спектра елементів. Використання цього методу дозволяє визначати токсичні метали навіть у слідових концентраціях, що є над-

звичайно важливим для екологічних досліджень (Abdallah & Bashir, 2023).

У сучасних наукових дослідженнях значна увага приділяється також розробці нових методів очищення води від важких металів. Серед найперспективних технологій виділяють адсорбційні методи, використання наноматеріалів, біоремедіацію та застосування метал-органічних каркасів. Ці підходи дозволяють ефективно знижувати концентрацію токсичних металів у водних системах і мінімізувати їх негативний вплив на довкілля (Hama Aziz et al., 2023; Kayani & Mohammed, 2025).

Дослідження останніх років (De Silva et al., 2025) також демонструють значний потенціал використання наноматеріалів для вилучення важких металів із водних середовищ. Наноструктуровані матеріали мають високу площу поверхні та здатні ефективно адсорбувати токсичні елементи. Це робить їх перспективними для застосування у сучасних системах очищення води.

Водночас актуальним напрямом досліджень є оцінка просторового розподілу важких металів у природних водах та визначення факторів, що впливають на їх концентрацію. Аналіз таких даних (Chen & Ding, 2025) дозволяє встановити закономірності поширення забруднення та розробити ефективні стратегії управління водними ресурсами.

Таким чином, дослідження елементного складу води та визначення концентрацій важких металів є важливим етапом оцінки екологічного стану водних систем. Отримані результати можуть бути використані для оцінки рівня антропогенного навантаження на довкілля, визначення джерел забруднення та розробки заходів щодо охорони і раціонального використання водних ресурсів.

Метою даного дослідження є визначення елементного складу води водойм Київщини та оцінка їх екологічного стану. Отримані результати дозволять встановити концентрації важких металів у поверхневих водах регіону, оцінити можливі джерела їх надходження та визначити потенційні ризики для довкілля і здоров'я людини.

Матеріал і методи

Дослідження виконували в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, що акредитована відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025. Наявність такої акредитації засвідчує високий рівень компетентності та надійності лабораторії у виконанні різних аналітичних досліджень, зокрема визначення кількісного вмісту хімічних елементів, у тому числі важких металів, у зразках води з водних об'єктів Київщини.

Для якісного та кількісного визначення вмісту хімічних елементів, зокрема важких металів, застосовували один із сучасних аналітичних методів – атомно-емісійну спектрометрію з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод відзначається високою чутливістю, швидкістю та точністю виконання вимірювань, що робить його ефективним для проведення стандартних досліджень як неорганічних, так і органічних компонентів у водних зразках. Метод ICP-AES дає можливість виявлення навіть дуже низьких концентрацій важких металів у водних розчинах. Висока роздільна здатність методу та мінімальні втрати аналіту під час аналізу дають достовірне визначення вмісту елементів. Крім того, застосування цього підходу дає можливість виконувати аналізи у короткі терміни та отримувати результати практично в режимі реального часу. Використання методу ICP-AES у дослідженнях забезпечує високу якість аналітичних вимірювань і достовірність отриманих результатів, що має важливе значення для проведення подальших наукових досліджень і виконання екологічного моніторингу стану водних ресурсів. Підготовку зразків води для подальшого визначення їх елементного складу здійснювали відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO 11885:2005 «Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою» (ISO 11885:1996, IDT). Зразки води попередньо фільтрували через мембранні фільтри з метою видалення зважених частинок. Після фільтрації проби піддавали кислотному розкладанню із застосуванням концентрованої нітратної кислоти, що забезпечувало повне розчинення наявних елементів.

Визначення елементного складу досліджуваних водних зразків виконували за допомогою атомно-емісійного спектрофотометра з індуктивно зв'язаною плазмою. Даний аналітичний прилад належить до сучасного лабораторного обладнання та забезпечує точне визначення концентрацій різних хімічних елементів у водних пробах. Межа виявлення для більшості елементів становить 0,01 мг/дм^3, що дає можливість фіксувати навіть дуже незначні їх кількості у воді. Як стандарт застосовували

багатоелементний стандартний розчин IV виробництва Mercs KGaA (Німеччина). Використання стандартних розчинів сприяє підвищенню точності вимірювань і забезпечує відтворюваність отриманих результатів.

Підготовлені проби вводили до приладу, де відбувалося збудження атомів хімічних елементів. У збудженому стані атоми випромінюють світло з характерними довжинами хвиль, які реєструються спектрометром. Інтенсивність такого випромінювання є пропорційною концентрації відповідних елементів у зразку. Отримані спектри обробляли за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке порівнює інтенсивність сигналів із калібрувальною кривою для визначення концентрацій елементів у досліджуваних пробах.

Результати та їх обговорення

Київська область має вагоме значення для сільського господарства України, що обумовлює необхідність ретельного лабораторного контролю стану водних ресурсів у цьому регіоні. Значне антропогенне навантаження на довкілля, особливо на водні екосистеми, сприяє підвищенню концентрацій важких металів у підземних і поверхневих водах. Така тенденція являє серйозну екологічну проблему, адже важкі метали практично не піддаються природному розкладанню і можуть довгий час зберігатися в навколишньому середовищі. У водних екосистемах вони можуть знаходитися у різних формах, зокрема у вигляді іонів, колоїдних частинок або сполук, зв'язаних з неорганічними та органічними компонентами. Навіть за незначних концентрацій їх постійна присутність може бути загрозливою для здоров'я людини і тварин, оскільки багато важких металів характеризуються вираженими токсичними властивостями. Надходження важких металів у водне середовище може бути обумовлене різними чинниками, серед яких сільськогосподарські стоки, промислові викиди, неналежне поводження з відходами, а також природні геохімічні процеси. Зниження рівня забруднення вод важкими металами вимагає застосування комплексних заходів, що включають систематичний моніторинг їх концентрацій, контроль і обмеження викидів забруднювальних речовин, використання ефективних технологій очищення води, а також відновлення забруднених водних екосистем. Дослідження вмісту важких металів у водних об'єктах Київщини має важливе значення для підтримання екологічної рівноваги, збереження здоров'я населення та забезпечення раціонального використання водних ресурсів у регіоні. З метою дослідження елементного складу водного середовища та визначення можливих джерел ксенобіотичного забруднення було здійснено відбір проб води на території одного із сіл Київщини. Досліджувана місцевість характеризується значною площею сільськогосподарських угідь, наявністю лісосмуг та різноманітних типів водойм, що робить її показовою для аналізу впливу аграрної діяльності на стан водних ресурсів.

З метою врахування гідрологічного різноманіття та відображення просторових особливостей місцевості було визначено кілька контрольних точок, які представляють різні типи водних об'єктів. Розміщення пунктів відбору проб планувалося з урахуванням гідрологічних характеристик водойм, рівня антропогенного навантаження, а також їхнього просторового розташування відносно потенційних джерел сільськогосподарського впливу.

Точки відбору були визначені таким чином:

Точка 1 (Т1) – витік річки (північна частина населеного пункту);

Точка 2 (Т2) – місце впадіння струмка або притоку в озеро;

Точка 3 (Т3) – центральна частина озера.

Кожна з обраних точок характеризує певний стан водного об'єкта залежно від локальних умов – наявності сільськогосподарського використання прилеглих територій, близькості інфраструктурних об'єктів або природних ділянок. Диференційоване розташування пунктів відбирання дає можливість визначити шляхи надходження забруднювальних речовин у водне середовище, зокрема залишків пестицидів, важких металів та інших ксенобіотиків.

Відбирання проб здійснювали у ранкові години за умов відносно стабільної температури навколишнього середовища. Зразки води відбирали у стерильні поліетиленові контейнери об'ємом 1 л, попередньо промиті водою з відповідної точки відбору. Доставлення зразків до лабораторії проводили у термоконтейнерах при температурі близько +4 °С не пізніше ніж через 6 годин після відбору, що забезпечувало збереження аналітичної стабільності проб до проведення лабораторних досліджень. За результатами проведеного елементного аналізу проб води (табл. 1), відібраних у досліджуваних водних об'єктах Київської області, здійснено оцінку вмісту важких металів

у водному середовищі. Отримані дані свідчать, що концентрації кобальту, кадмію, свинцю, нікелю, хрому, міді та арсену не перевищують встановлених нормативних значень і визначаються у незначних кількостях. Це вказує на відсутність істотного техногенного навантаження за цими показниками та підтверджує їхній безпечний рівень у досліджуваних водах. Водночас результати моніторингу демонструють відносно низький вміст окремих мікроелементів, зокрема Купруму, Цинку та Мангану. Відповідно до даних, наведених у таблиці 1, концентрація Купруму становить близько 0,01 мг/дм³, вміст Цинку також знаходиться на рівні 0,01 мг/дм³, тоді як концентрація Мангану складає приблизно 0,013 мг/дм³. Такі значення свідчать про незначну забезпеченість досліджуваних вод зазначеними мікроелементами.

Крім того, встановлено, що вміст Молібдену, Кадмію, Свинцю, Арсену та Вісмуту у відібраних зразках води не перевищує 0,01 мг/дм³, що також характеризує їх як екологічно безпечні за цими показниками. Концентрація Ртуті визначена на рівні менше 0,005 мг/дм³, що відповідає чинним нормативним вимогам і не свідчить про потенційний ризик для якості водних ресурсів.

За результатами елементного аналізу води, представленими в таблиці 2, встановлено, що концентрації Co, Cd, Pb, Ni, Cr, Cu та As перебувають у межах допустимих значень або визначаються у незначних кількостях.

Отримані дані свідчать про те, що вміст зазначених металів у досліджуваних зразках води не перевищує нормативно встановлених рівнів і не становить загрози для якості водного середовища. Разом із тим результати лабораторного контролю показали, що відібрані проби характеризуються відносно низьким вмістом окремих мікроелементів. Зокрема, концентрація купруму становить близько 0,01 мг/дм³, вміст цинку також перебуває на рівні 0,01 мг/дм³, тоді як концентрація мангану складає приблизно 0,012 мг/дм³.

Крім того, встановлено, що вміст Mo, Cd, As та Bi у воді не перевищує

Таблиця 1

Результати елементного аналізу зразків води Київщини точки відбору Т1

Хімічний елемент	**Масова частка, г/дм³**	**Розширена невизначеність**	**Межа детектування, мг/дм³**
Кальцій, Ca	38,44	±5,31	0,01
Натрій, Na	29,31	±3,24	0,01
Магній, Mg	17,14	±3,05	0,01
Ферум, Fe	0,05	±0,04	0,01
Калій,K	9,51	±2,04	0,01
Стронцій, Sr	0,71	±0,07	0,01
Бор, B	0,07	±0,02	0,01
Барій, Ba	0,05	±0,02	0,01
Літій, Li	0,03	±0,01	0,01
Манган, Mn	0,013	±0,003	0,01
Алюміній, Al	<0,010	-	0,01
Цинк, Zn	<0,010	-	0,01
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni	<0,010	-	0,01
Кобальт,Co	<0,010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,001
Бісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd,	<0,001	-	0,001
Арсен, As,	<0,001	-	0,001
Селен, Se,	<0,001	-	0,001
Ртуть, Hg	<0,0005	-	0,0005

Таблиця 2

Результати елементного аналізу зразків води Київщини точки відбору Т2

Хімічний елемент	**Масова частка, мг/дм³**	**Розширена невизначеність**	**Межа детектування, мг/дм³**
Кальцій, Ca	41,12	±5,13	0,01
Натрій, Na	29,15	±3,16	0,01
Магній, Mg	20,01	±3,01	0,01
Ферум, Fe	0,09	±0,02	0,01
Калій, K	8,22	±1,51	0,01
Стронцій, Sr	0,90	±0,08	0,01
Бор, B	0,11	±0,05	0,01
Барій, Ba	0,06	±0,04	0,01
Літій, Li	0,03	±0,01	0,01
Марганець, Mn	0,012	±0,005	0,01
Алюміній, Al	<0,010	-	0,01
Цинк, Zn	<0,010	-	0,01
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni	<0,010	-	0,01
Кобальт, Co	<0,010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,001
Бісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,001
Миш'як, As	<0,0010	-	0,001
Селен, Se	<0,0010		0,001
Ртуть, Hg	<0,0005	-	0,0005

0,01 мг/дм³, що можна розглядати як позитивну характеристику стану водного середовища, оскільки такі значення відповідають чинним нормативним вимогам. Концентрація Hg визначена на рівні менше 0,005 мг/дм³, що також узгоджується з допустимими нормативами та не свідчить про погіршення якості водних

Аналіз результатів, представлених у таблиці 3, показує, що у точці відбору Т3 спостерігаються дещо вищі концентрації окремих елементів порівняно з іншими дослідженими ділянками.

Зокрема, вміст кальцію становить 51,24 мг/дм³, магнію – 27,15 мг/дм³, а калію – 29,43 мг/дм³, що може свідчити про підвищений рівень мінералізації води у цій частині водойми. Концентрація натрію є близькою до значень, зафіксованих у точках Т1 та Т2. Також відзначається підвищений вміст феруму та марганцю порівняно з іншими точками дослідження, що може бути пов'язано з локальними умовами водного середовища або процесами мобілізації цих елементів із донних відкладів. У цій точці також зафіксовано наявність цинку та алюмінію, концентрації яких перевищують рівні, визначені у попередніх зразках. Вміст стронцію, бору, літію та барію також дещо вищий порівняно з точками Т1 та Т2. Разом з тим концентрації таких токсичних елементів, як свинець, хром, мідь, нікель, кадмій, миш'як, селен та ртуть, залишаються нижчими за межу детектування методу.

Висновки

Узагальнюючи отримані результати, можна відзначити, що елементний склад досліджуваних зразків води формується переважно за рахунок природних геохімічних процесів. Найбільший внесок у мінералізацію води здійснюють кальцій, натрій та магній, тоді як концентрації більшості потенційно токсичних елементів є дуже низькими або не перевищують межі визначення аналітичного методу. Порівняльний аналіз показує, що у точці Т3 спостерігається дещо вищий рівень мінералізації та вмісту окремих мікроелементів, що може бути пов'язано з локальними природними умовами або особливостями гідрологічного режиму водойми.

Таблиця 3

Результати елементного аналізу зразків води Київщини точки відбору Т3

Хімічний елемент	**Масова частка, мг/дм³**	**Розширена невизначеність**	**Межа детектування, мг/дм³**
Кальцій, Ca	51,24	±9,23	0,01
Натрій, Na	28,12	±4,88	0,01
Магній, Mg	27,15	±4,26	0,01
Калій, K	29,43	±3,76	0,01
Ферум, Fe	0,50	±0,07	0,01
Стронцій, Sr	1,14	±0,14	0,01
Цинк, Zn	0,09	±0,03	0,01
Марганець, Mn	0,09	±0,02	0,01
Бор, B	0,19	±0,06	0,01
Літій, Li	0,04	±0,01	0,01
Алюміній, Al	0,06	±0,02	0,01
Барій, Ba	0,07	±0,01	0,01
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu, мг/дм³	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni, мг/дм³	<0,010	-	0,01
Кобальт, Co	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,01
Вісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,001
Миш'як, As	<0,0010	-	0,001
Селен, Se	<0,0010		0,001
Ртуть, Hg	<0,0005		0,0005

Отримані результати можуть слугувати науковим підґрунтям для розроблення та впровадження ефективних заходів, спрямованих на контроль і мінімізацію забруднення водних ресурсів, що, у свою чергу, сприятиме підтриманню належного рівня їх якості та безпечності для різних напрямів використання. Водночас продовження систематичного моніторингу стану водного середовища є необхідною умовою забезпечення екологічної рівноваги та своєчасного виявлення можливих змін у хімічному складі водних об'єктів.

Список використаної літератури

Abdallah O., Bashir K. Quantitative determination of heavy metals in water using ICP-MS. *International Journal of Advanced Chemistry Research*. 2023. Vol. 5. Issue 1. P. 115–116. https://doi.org/10.33545/26646781.2023.v5.i1b.192

Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z., Khazdair M. R., Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*. 2021. Vol. 12. Article 643972. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972

Chen S., Ding Y. Systematic bibliographic analysis of heavy metal remediation. *Water Science and Technology*. 2025. Vol. 91. № 1. P. 56–68. https://doi.org/10.2166/wst.2024.396

De Silva M., Cao G., Tam K. C. Nanomaterials for the removal and detection of heavy metals: a review. *Environmental Science: Nano*. 2025. Vol. 12. №4. P. 2154–2176. https://doi.org/10.1039/D4EN01041H

Hama Aziz K. H., Mustafa F. S., Omer K. M., Hama S., Hamarawf R. F., Rahman K. O. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. *RSC Advances*. 2023. Vol. 13. № 26. P. 17595–17610. https://doi.org/10.1039/D3RA00723E

Kayani K. F., Mohammed S. J. Heavy metal pollution in aquatic environments and removal using metal-organic frameworks. *RSC Advances*. 2025. Vol. 15. № 43. P. 35756–35769. https://doi.org/10.1039/D5RA06296A

Khan M., Omer T., Ellahi A., Ur Rahman Z., Niaz R., Lone S. A. Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water of selected rivers. *Geocarto International*. 2023. Vol. 38. Issue 1. Article 2256313. https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2256313

Kumar A., Kumar V., Pandita S., Singh S., Bhardwaj R., Varol M., Rodrigo-Comino J. A global meta-analysis of toxic metals in continental surface water bodies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2023. Vol. 11. Issue 3. Article 109964. https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109964

Orosun M. M., Ige S. O., Orosun R. O. et al. Potentially toxic metals in irrigation water, soil, and vegetables and their health risks using Monte Carlo models. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Article 21220. https://doi.org/10.1038/s41598-023-48489-4

Parida L., Patel T. N. Systemic impact of heavy metals and their role in cancer development: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023. Vol. 195. Article 766. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11399-z

Piwowarska D., Kiedrzyńska E., Jaszczyszyn K. A global perspective on the nature and fate of heavy metals polluting water ecosystems, and their impact and remediation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2024. Vol. 54, № 19. P. 1436–1458. https://doi.org/10.1080/10643389.2024.2317112

Saravanan P., Saravanan V., Rajeshkannan R., Arnica G., Rajasimman M., Baskar G., Pugazhendhi A. Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. *Environmental Research*. 2024. Vol. 258. Article 119440. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119440

Xu W., Jin Y., Zeng G. Introduction of heavy metals contamination in the water and soil: a review on source, toxicity and remediation methods. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 2024. Vol. 17, № 1. Article 2404235. https://doi.org/10.1080/17518253.2024.2404235

Yaashikaa P. R., Palanivelu J., Hemavathy R. V. Sustainable approaches for removing toxic heavy metal from contaminated water: a comprehensive review of bioremediation and biosorption techniques. *Chemosphere*. 2024. Vol. 357. Article 141933. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141933

Zhang P., Yang M., Lan J., Huang Y., Zhang J., Huang S., Yang Y., Ru J. Water quality degradation due to heavy metal contamination: health impacts and eco-friendly approaches for heavy metal remediation. *Toxics*. 2023. Vol. 11, № 10. Article 828. https://doi.org/10.3390/toxics11100828

References

Abdallah, O., & Bashir, K. (2023). Quantitative determination of heavy metals in water using ICP-MS. *International Journal of Advanced Chemistry Research, 5*(1), 115–116. https://doi.org/10.33545/26646781.2023.v5.i1b.192 [in English]

Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology, 12*, 643972. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972 [in English]

Chen, S., & Ding, Y. (2025). Systematic bibliographic analysis of heavy metal remediation. *Water Science and Technology, 91*(1), 56–68. https://doi.org/10.2166/wst.2024.396 [in English]

De Silva, M., Cao, G., & Tam, K. C. (2025). Nanomaterials for the removal and detection of heavy metals: A review. *Environmental Science: Nano, 12*(4), 2154–2176. https://doi.org/10.1039/D4EN01041H [in English]

Hama Aziz, K. H., Mustafa, F. S., Omer, K. M., Hama, S., Hamarawf, R. F., & Rahman, K. O. (2023). Heavy metal pollution in the aquatic environment: Efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: A review. *RSC Advances, 13*(26), 17595–17610. https://doi.org/10.1039/D3RA00723E [in English]

Kayani, K. F., & Mohammed, S. J. (2025). Heavy metal pollution in aquatic environments and removal using metal-organic frameworks. *RSC Advances, 15*(43), 35756–35769. https://doi.org/10.1039/D5RA06296A [in English]

Khan, M., Omer, T., Ellahi, A., Ur Rahman, Z., Niaz, R., & Lone, S. A. (2023). Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water of selected rivers. *Geocarto International, 38*(1), Article 2256313. https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2256313 [in English]

Kumar, A., Kumar, V., Pandita, S., Singh, S., Bhardwaj, R., Varol, M., & Rodrigo-Comino, J. (2023). A global meta-analysis of toxic metals in continental surface water bodies. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 11*(3), Article 109964. https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109964 [in English]

Orosun, M. M., Ige, S. O., Orosun, R. O., et al. (2023). Potentially toxic metals in irrigation water, soil, and vegetables and their health risks using Monte Carlo models. *Scientific Reports, 13*, Article 21220. https://doi.org/10.1038/s41598-023-48489-4 [in English]

Parida, L., & Patel, T. N. (2023). Systemic impact of heavy metals and their role in cancer development: A review. *Environmental Monitoring and Assessment, 195*, Article 766. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11399-z [in English]

Piwowarska, D., Kiedrzyńska, E., & Jaszczyszyn, K. (2024). A global perspective on the nature and fate of heavy metals polluting water ecosystems, and their impact and remediation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 54*(19), 1436–1458. https://doi.org/10.1080/10643389.2024.2317112 [in English]

Saravanan, P., Saravanan, V., Rajeshkannan, R., Arnica, G., Rajasimman, M., Baskar, G., & Pugazhendhi, A. (2024). Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: Sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. *Environmental Research, 258*, Article 119440. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119440 [in English]

Xu, W., Jin, Y., & Zeng, G. (2024). Introduction of heavy metals contamination in the water and soil: A review on source, toxicity and remediation methods. *Green Chemistry Letters and Reviews, 17*(1), Article 2404235. https://doi.org/10.1080/17518253.2024.2404235 [in English]

Yaashikaa, P. R., Palanivelu, J., & Hemavathy, R. V. (2024). Sustainable approaches for removing toxic heavy metal from contaminated water: A comprehensive review of bioremediation and biosorption techniques. *Chemosphere, 357*, Article 141933. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141933 [in English]

Zhang, P., Yang, M., Lan, J., Huang, Y., Zhang, J., Huang, S., Yang, Y., & Ru, J. (2023). Water quality degradation due to heavy metal contamination: Health impacts and eco-friendly approaches for heavy metal remediation. *Toxics, 11*(10), Article 828. https://doi.org/10.3390/toxics11100828 [in English]

Дата першого надходження статті до видання: 19.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

АГРОНОМІЯ

УДК 634. 11: 574
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.13

ШЛЯХИ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ КУЛЬТУРИ ЯБЛУНІ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ТА ЙОГО РОЛЬ У ПОКРАЩЕННІ ЕКОСИСТЕМИ

В. С. Бурлака[1], В. В. Волошина[2], Л. І. Білик[3]

У статті висвітлено питання формування та шляхи збереження генетичного біорізноманіття яблуні та його значна роль у покращенні екосистеми в цілому. На прикладі колекційних насаджень Дослідної станції помології ім. Л.П. Симиренка ІС НААНУ де зберігається в живому стані 1272 зразки культури яблуні виявлено, що найбільший відсоток зразків у колекції має українське походження. Зразки колекції представлені: селекційними сортами, сортами народної селекції, гібридними формами, спонтанними клонами, різними видами культури, дикорослими формами. Крім сортів та гібридів яблуні домашньої Malus domestica Borkh. до колекції входить більше 30 видів та підвидів культури. Стародавні, так звані «місцеві» сорти та форми, характеризуються різноманітною якістю плодів, високою біопластичністю до різних умов вирощування, стійкістю або толерантністю до хвороб і шкідників; також джерелом цінних генетичних ознак є різні види та дикорослі форми. Кожен зразок колекції є окремою одиницею генофонду на весь об'єм колекції створено паспортну базу даних. Електронна версія бази містить інформацію про цінність, походження зразка, оригінатора, дані про автора (авторів), доступність матеріалу, біологічний статус, місце збору та іншу інформацію щодо виду, сорту чи гібридної форми. Ефективне використання генетичного видового та сортового різноманіття яблуні, його збереження у життєздатному стані та генетичній автентичності особливо актуальне для майбутніх поколінь, тому ефективними шляхами вирішення проблем збереження генофонду яблуні є: 1) розробка методів зберігання та відновлення життєздатності вегетативних частин, меристем плодових культур, кріоконсервація вегетативних органів; 2) популяризація старовинних,

[1] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри лісового господарства та раціонального природокористування
(Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси)
e-mail: vladimirburlaka77@gmail.com
ORCID: 0009-0009-5725-7070
[2] доцент кафедри лісового господарства та раціонального природокористування
(Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси)
старший науковий співробітник,
(Дослідна станція помології ім. Л.П. Симиренка ІС НААН України, с. Мліїв, Черкаської обл.)
e-mail: voloshinavarvara@ukr.net
ORCID: 0009-0002-4901-1256
[3] доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри лісового господарства та раціонального природокористування
(Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси)
e-mail: bilyk218@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3802-6145

локальних, колекційних сортів їх ґрунтовне вивчення та введення в виробництво; 3) створення в садівничих господарствах любої форми власності мікрозаказників, що є осередками відтворення екосистем та збереження біорізноманіття з обов'язковими насадженнями різновидів яблуні.

Ключові слова: *сорти, дикорослі форми, генофонд, адаптивність, генетичне різноманіття.*

WAYS TO PRESERVE THE BIODIVERSITY OF APPLE TREES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE AND ITS ROLE IN IMPROVING THE ECOSYSTEM

V. S. Burlaka, V. V. Voloshyna, L. I. Bilyk

The article highlights the issues of formation and ways of preserving the genetic biodiversity of apple trees and its significant role in improving the ecosystem as a whole. Using the example of the collection plantings of the L.P. Simirenko Pomology Research Station of the IS NAASU, where 1,272 apple tree specimens are kept alive, it was found that the largest percentage of specimens in the collection are of Ukrainian origin. The collection includes: selected varieties, folk selection varieties, hybrid forms, spontaneous clones, various types of crops, and wild forms. In addition to varieties and hybrids of the domestic apple tree Malus domestica Borkh., the collection includes more than 30 species and subspecies of the crop. Ancient, so-called "local" varieties and forms are characterized by diverse fruit quality, high bioplasticity to different growing conditions, resistance or tolerance to diseases and pests; they are also a source of valuable genetic traits are various species and wild forms. Each sample of the collection is a separate unit of the gene pool; a passport database has been created for the entire volume of the collection. The electronic version of the database contains information about the value, origin of the sample, originator, data on the author (authors), availability of material, biological status, place of collection and other information about the species, variety or hybrid form. Effective use of genetic species and varietal diversity of apple trees, its preservation in a viable state and genetic authenticity is especially relevant for future generations, therefore effective ways to solve the problems of preserving the apple gene pool are: 1) development of methods for storing and restoring the viability of vegetative parts, meristems of fruit crops, cryopreservation of vegetative organs; 2) popularization of old, local, collection varieties, their thorough study and introduction into production; 3) creation in horticultural farms of any form of ownership of micro-reserves, which are centers of ecosystem reproduction and biodiversity conservation with mandatory plantings of apple varieties.

Key words: *varieties, wild forms, gene pool, adaptability, genetic diversity.*

Вступ

Біологічне різноманіття – основа, що характеризує сукупність процесів існування та організації живої речовини біосфери та факторів екологічних систем на планеті, що визначає стабільність і стійкість останніх до зовнішніх впливів. Біорізноманіття є національним статком кожної країни, зокрема, збереження та раціональне природокористування якого є одним з пріоритетів державної політики України в галузях екологічної безпеки та охорони довкілля, здоров'я населення та екологічно збалансованого соціально-економічного розвитку.

Термін "біологічне різноманіття" еволюціонував з таких понять, як багатство природи, видове різноманіття з праць Карла Ліннея, Чарльза Дарвіна. На Стокгольмській конференції ООН було вперше офіційно визнано питання збереження життя на планеті як збереження саме "біологічного різноманіття". В 1986 році Едвард Вілсон популяризував термін "біорізноманіття" *(biodiversity)* розділивши його на три рівні: генетичний, видовий та екосистемний.

Міжнародна конвенція про збереження біорізноманіття – це універсальний правовий акт, що був ухвалений з метою захисту біологічного різноманіття, забезпечення стійкого використання його компонентів, спільного отримання на справедливій основі вигод, пов'язаних із використанням генетичних ресурсів та передачі відповідних технологій. В Україні Конвенція була підписана 11.06.1992 року та набула чинності – 7.02.1995 р. Конвенція закріпила принцип суверенного права розробляти свої власні природні ресурси, а також принцип відповідальності за будь-яку діяльність, що може спричинити шкоду навколишньому середовищу (Медведєва, 2004; Вагалюк і Лісовий, 2023).

Збереження біорізноманіття та відновлення природних екосистем є основною

гарантією подальшого розвитку нашої цивілізації. Зниження рівня біорізноманіття займає особливе місце серед головних екологічних проблем сучасності. Наслідком зникнення видів стане руйнування існуючих екологічних зв'язків та деградація природних угруповань, неспроможність їх до самопідтримання, що призводитиме до їх зникнення. (Сірко, 2017). Біологічне різноманіття є сукупністю типів відмінностей об□єктів будь-якого простору (території, акваторії, планети), що виявляються на підставі обраної міри. Залежно від неї (ознаки, за якими об□єкти розрізняють) біологічне різноманіття за кількістю та обсягом одиниць регіону або Земної кулі може істотно змінюватися до нескінченності (Ємельянов і Шеляг-Сосонко, 2004). Зміни біорізноманіття мають незворотній характер та безпосередній вплив на агробіоценози та генетичне різноманіття окультурених рослин.

У сільському господарстві генетичне різноманіття культурних рослин має величезне значення для створення нових сортів, гетерозисних гібридів, розробки біологічних методів захисту від шкідливих організмів тощо. Центри походження культурних рослин – це місця, в яких свого часу людина вперше ввела в культуру більшість традиційних для сьогодення видів. На цих територіях чітко простежується зв'язок між одомашненими сільськогосподарськими рослинами та їх дикорастучими родичами. Фермери проявляють все більшу цікавість до генетичного різноманіття сільськогосподарських культур, оскільки одним з пріоритетних сучасних досліджень є розробка методів збільшення продуктивності сільськогосподарських культур та підвищення їх пристосованості до мінливих умов середовища (Вагалюк і Лісовий, 2023).

Використання широкого генетичного різноманіття та його цілеспрямоване залучення у селекційний процес є головною умовою успішного подолання негативних викликів, пов'язаних зі зміною клімату. Це дає змогу створювати нові, більш адаптовані сорти плодових, ягідних, горіхоплідних культур, які здатні витримувати посухи, раптові морози, надмірні опади та інші екстремальні погодні явища, що стають дедалі частішими (Кучер і Юрик, 2025).

Поняття збереження ex-situ означає збереження представників біоти поза їх природними місцями існування (збереження видів у екопарках, зоопарках, лабораторіях, генетичних колекціях та банках генресурсів), а збереження in-situ – це збереження, підтримка і відновлення популяцій видів в їх природному середовищі та видів, що пройшли етап доместикації в тому середовищі, в якому вони набули своїх сучасних ознак (заповідниках, заказниках, національних парках).

Яблуня – одна з найстародавніших плодових порід, введених в культуру людиною понад чотири тисяч років тому. Найдавніші описи садів і плодів зустрічаються в писемних джерелах античного світу та Стародавнього Сходу. Сучасні дослідження вказують, що батьківщиною яблуні є передгір'я Казахстану та гірські райони Китаю. Потім культура потрапила на західне узбережжя Північної Америки та Європу. Зараз, за даними дослідників помологів, загальна кількість дикорослих видів яблуні коливається від 50 до 60. Різні екологічні умови і процес перехресного запилення призвели до великого різноманіття цієї плодової культури та глобальні кліматичні зміни й значне техногенне навантаження призводять до різкого скорочення ареалів й поширення дикорослих видів.

Давню історію має ця культура і в Україні. Первинним центром вітчизняного плодівництва була Київська Русь. Літописні джерела оповідають про сади Києво-Печерської лаври, які були закладені ще в 1051 році Антонієм.

Промислове садівництво України та створення колекцій плодових культур беруть початок у дев'ятнадцятому столітті із розсадницького господарства Левка Платоновича Симиренка, розташованого на орендованих землях графині Балашової в околицях села Мліїв. Л.П. Симиренко на протязі 32 років (1887–1919 рр.) створив одне з найбільш великих господарств і помологічну колекцію (Волошина, 2020). З метою наукових досліджень Л.П. Симиренком були зібрані найцінніші помологічні сорти плодових і декоративних порід. У 1912 році у помологічному розсаднику Л.П. Симиренка нараховувалось майже 3000 сортів, зокрема: яблуні – 900, груші – 889, черешні та вишні – 350, персика – 115, абрикоса – 56, горіха – 45, аґрусу – 166. Вже на той період кількість сортів і видів яблуні була найбільшою у колекції. Величезна помологічна колекція стала основою для організації в с. Мліїв дослідної садово-городньої станції (Тарнавська, 2021).

Яблуня у помологічній колекції Л.П. Симиренка мала особливе місце. Це

пояснюється тим, що яблуня краще за інші культури пристосовується до ґрунтово-кліматичних умов, має високу продуктивність, смакові, дієтичні та лікувальні властивості. За рахунок різних строків достигання плодів (літні, осінні, зимові) є можливість споживання у свіжому вигляді на протязі року. Плоди використовують у різних видах технічної переробки – з них виготовляють соки, компоти, сиропи, пюре, повидло, джеми, вино та ін. (Волошина і Гоменюк, 2022).

Цінність яблук в харчовому раціоні людини дуже велика. Вони вважаються незамінними продуктами харчування, сприяють профілактиці захворюванням, володіють лікувальними властивостями. Яблука містять: вітаміни С, В1, В2, Р, Е, каротин, мікроелементи, пектини, цукри, органічні кислоти. Як джерело цукрів, клітковини, мінералів і біологічно активних речовин, яблука є корисними для здоров'я людини та одними із найпопулярніших і доступніших плодів у світі. Однак, сирі яблука (зі шкіркою) містять значно нижчу кількість (на 100 г) цих речовин порівняно з сирими плодами та ягодами інших культур. Останній факт є основним, на який спираються дослідники харчової цінності різних помологічних сортів яблук (Udovychenko et al., 2023).

Останнім часом, коли ринок насичений яблуками різноманітних сортів і, перш за все, найпопулярнішими (Гала, Фуджі, Хані Крісп), споживач шукає щось ще незвичне, що він схоче скуштувати. Цими новинками є яблука з червоним м'якушем та функціональні продукти на основі яблук. У теперішній час зростає попит на такі продукти, вироблені з яблук старих сортів, оскільки саме їх визнано дуже цінним для здоров'я джерелом біоактивних інгредієнтів через те, що вони характеризуються меншою потребою рослин у хімікатах і більшим умістом у плодах БАР при кращому органолептичному сприйнятті, порівняно з поширеними комерційними сортами (Волошина і Гоменюк, 2022; B. Duralija et al., 2021).

Яблука старих сортів, як правило, літнього, осіннього та ранньозимового строків достигання характеризуються такими властивостями: високою морозостійкістю та підвищеною стійкістю до збудника парші; невибагливістю до ґрунтів та інших умов вирощування; щедрою врожайністю та часто схильністю до періодичного плодоношення; різноманіттям морфології плодів та багатим спектром смакових властивостей. Плоди не завжди мають відмінний товарний зовнішній вигляд, однак відрізняються різною повнотою смаку і добре вираженим, часто унікальним ароматом.

Дослідники ряду європейських країн, оцінивши яблука старих сортів, виявили, що шкірочка і м'якоть більшості з них містять більш високу кількість фенольних сполук флоридзина і флоритина, ніж плоди комерційних сортів; володіють унікальними морфологічними, фізико-хімічними ознаками, можуть бути задіяні у селекційних програмах, знов уведені у культуру, поліпшенню екосистеми, завдяки високій стійкості до основних хвороб, сприяти урізноманітненню раціону людини тощо. Однак, старі сорти, залишаються поширеними тільки на обмежених ділянках, в генетичних колекціях наукових установ або представлені поодинокими екземплярами у старих занедбаних садах (Кондратенко та ін., 2024; Udovychenko et al., 2024).

Метою дослідження авторів було обґрунтування наукових засад збереження біорізноманіття культури яблуні в умовах сучасних викликів кліматичних змін, техногенного навантаження для покращення екосистеми регіону. Об'єктом досліджень була генетична колекція яблуні (Malus domestica Borkh.) Дослідної станції помології ім. Л. П. Симиренка ІС НААН України.

Результати та їх обговорення

У сучасних насадженнях яблуні, які закладено за останні 15 років в агрофірмах та більшості фермерських господарств України, сортимент зовсім змінився. В них переважають сорти: Вільямс Прайд, Гала, Чемпіон, Айдаред, Фуджі, Голден Делішес, Флоріна, Джонаголд, Ред Делішес та їхні клони, а яблука сортів: Антонівка звичайна, Папіровка, Мельба, Мекінтош, Пармен зимовий золотий, Серпневе, Зимове лимонне, Кальвіль донецький та сніговий, Джонатан, Зимове Плесецького, Пепін шафранний, Донешта та інших, які відзначаються високим умістом БАР, зникли з ринків і магазинів, що пояснюється новими вимогами та стандартами, здатністю до тривалого зберігання та «модою» на нові сорти.

Особливе значення в екосистемі генетичних ресурсів рослин, мають колекції зберігання у живому виді (генетичні банки) генофонду плодових культур України. Генетичне різноманіття, зосереджене у генбанках, широко використовується у теоретичних та прикладних дослідженнях у різних галузях науки та освіти. Основним завданням, що вирішують генетичні банки – це збереження

генетичного біорізноманіття сільськогосподарських культур для селекції, особливо за сучасних умов глобальних кліматичних змін.

В колекційних насадженнях Дослідної станції помології ім. Л.П. Симиренка зосереджено та зберігається в живому стані 1272 зразки культури яблуні. Найбільший відсоток зразків у колекції має українське походження 22%. Зразки колекції представлені: селекційними сортами, сортами народної селекції, гібридними формами, спонтанними клонами, різними видами культури, дикорослими формами. Сорти народної селекції не мають на сьогодні великого промислового значення; найбільш популярними з них: Путівка, Грушівка, Легерівка, Немирівка, Донешта, Апорт (Шлопак), Кальвіль сніговий, Боровинка, Коробівка, Тітовка певний час у 20-му столітті були районованими та їх вирощували у промислових садах окремих регіонів України. Хімічний склад плодів яблук та біологічні особливості сортів потребують ґрунтовного вивчення, так як їх властивості не досліджені в сучасних умовах кліматичних змін та можуть нести виняткову цінність для подальшої селекційної роботи. Завдяки експедиційним обстеженням території Черкаської області проводиться відбір рослин з унікальними морфологічними ознаками та властивостями, що робить їх цінними як для селекційного процесу та промислового вирощування в умовах глобальних змін клімату. Ідентифікуючи зразки-джерела та донорів окремих цінних ознак, так і комплексу цінних ознак виділяють цінні зразки, що слугують основою для створення нових, високопродуктивних сортів, що відповідають сучасним вимогам сільського господарства та забезпечують продовольчу безпеку країни. Цінні зразки генофонду реєструються в НЦГРР України. За останні п'ять років науковцями ДСП ім. Л.П. Симиренка ІС НААН було сформовано та зареєстровано в НЦГРР України чотири колекції, на які видано свідоцтва про реєстрацію колекцій генофонду рослин в Україні. Ознакова колекція зразків яблуні за стійкістю до хвороб (парша, борошниста роса, філостиктоз, бактеріози) включає 59 зразків, які походять з 14 країн світу. Колекція диференційована за 22 ознаками та 91 рівнем їхнього прояву (Кучер і Юрик, 2025).

Крім сортів та гібридів яблуні домашньої *Malus domestica* Borkh. до колекції входять більше 30 видів та підвидів: яблуня ягідна (сибірська) (*M. baccata*), Церулесценс (*M. cerulesens*), коронарна (*M. coronaria*), Холла (*M. halliana*), Нань-шань (*M. nan-scan*), Недзведського (*M. niedzwetzkyana Dieck.*), східна (*M. orientalis*), низька (райка) (*M. pumila*), пурпурна (*M. purpurea*), Робуста (*M. robusta*), Зібольда (*M. sieboldii*), сливолиста *(M. prunifolia),* торінговидна (*M. toringoides*), дрібнозубчата (*M. denticulate*), бура (*M. fusca*), сіверса (*M. sieversii*), лісова *(Malus sylvestris*), а також види: *M. hiemalus*, *M. Sikkemensis, M. caido*, *M. kansuensis*, *M. longifolia*, *M. praecox*, *M. zumi, M. B.pellusida*, *M. floribunda*, *M. Fruktiflava* та ін. Переважна більшість видів мають насичене генетичне різноманіття, що є джерелом стійкості до абіотичних, біотичних та едафічних факторів; адаптацію до змін клімату (посухостійкість, жаростійкість, зимостійкість та морозостійкість, стійкість до сонячних опіків та пізнє цвітіння, здатність швидко вступати у плодоношення), стійкість до шкідливих організмів та унікальні властивості плодів з новими комбінаціями смаку, текстури та тривалості зберігання.

Види яблуні: *M. baccata*, *M. cerulesens*, *M. coronaria*, *M. nan-scan*, *M. niedzwetzkyana Dieck.*, *M. pumila*, *M. purpurea*, *M. robusta*, *M. sieboldii*, *M. prunifolia*, *M. toringoides*, *M. denticulate*, *M. fusca*, *M. hiemalus*, *M. Sikkemensis, M. caido*, *M. kansuensis*, *M. longifolia*, *M. zumi, M. B. pellusida*, *M. floribunda*, мають переважно компактну форму крони, деякі з них повислу, парасолькову, що дає можливість формування різних форм. Рясне та довготривале квітування, дає можливість використовувати їх в ландшафтному дизайні при створенні алей, живоплотів, оформлення прибудинкових територій, парків, скверів, вулиць, що має високу декоративність, захищає від шуму, вітру та пилу і слугує кормовою базою для птахів. Різні види яблунь є природними запилювачами для сортів яблуні домашньої; низка видів – є незамінними для технічної переробки, з яблук готують напівфабрикати для кондитерських виробів. Плоди також консервують, виготовляють соки, сиропи, сидри, желе, мармелад, пастилу, яблучний оцет, так як яблука декоративних яблунь містять вдвічі більше вітамінів та оксидантів, ніж плоди сучасних культурних сортів; до їх складу входить також ефірна олія, що надає приємного аромату не тільки свіжим яблукам, а й продуктам переробки. Плоди мають високі фітонцидні властивості. Насіння декоративних яблунь використо-

вують для вирощування підщеп і садивного матеріалу.

Поряд із старими сортами, спонтанними клонами, дикорослими видами та підвидами, гібридними формами та сортами власної селекції, колекція весь час поповнюється новими зразками шляхом наукового обміну. Новий залучений матеріал проходить оцінку згідно загальноприйнятих методик.

Кожен зразок колекції є одиницею генофонду, який знаходиться на збереженні та занесений до Національного каталогу генетичних рослин України. На весь об'єм колекції створено паспортну базу даних. Електронна версія паспортної бази даних містить інформацію про цінність, походження зразка, оригінатора, дані про автора (авторів), доступність матеріалу, біологічний статус, місце збору та іншу інформацію щодо виду, сорту чи гібридної форми.

Як показав час, зберігання зразків генофонду яблуні в складних сучасних умовах супроводжується великими капітало- та енергозатратами, оскільки всі зразки мають підтримуватись у живому стані, проходити постійний моніторинг щодо фізіологічного стану і при будь-якій загрозі відтворюватися щепленням, клонуванням. Способи довготривалого зберігання вегетуючих частин знаходяться на етапі розробки і використовуються на практиці сьогодні лише для окремих культур. Зберігання ж зразків генофонду яблуні у вигляді насіння можливе лише для різних видів та їх диких співродичів, оскільки сорти та гібриди не відтворюють свій генотип при насіннєвому розмноженні.

Значного негативного впливу на природні популяції та біорізноманіття яблуні сприяє діяльність людини та кліматичні зміни, що є основними причинами їх зменшення. Колекційні насадження яблуні теж зазнають негативних змін в оточуючому середовищі через екологічні фактори: критичні морози, пізні та ранні заморозки, високі температури навесні та влітку й суховії, град, шквали так і антропогенні: використання земель сільськогосподарського призначення з порушенням законодавства та екологічних норм (розорювання лугів, берегової зони), будівництво промислових підприємств, свердловин для води, водосховищ, доріг, несанкціонованих сміттєзвалищ. Тому ефективними шляхами вирішення вказаних проблем і забезпечення збереження генофонду яблуні є: 1) розробка методів зберігання та відновлення життєздатності вегетативних частин, меристем плодових культур, кріоконсервація вегетативних органів: живців, бруньок; твірних тканин, пилку – носіїв спадкової інформації; 2) популяризація старовинних, локальних, колекційних сортів їх ґрунтовне вивчення та введення в виробництво; 3) створення в садівничих господарствах, любої форми власності, мікрозаказників або мікрозаповідників, що є осередками відтворення екосистем та збереження біорізноманіття з обов'язковими насадженнями різновидів яблуні. Сучасні, інтенсивного типу, сади можуть ефективно функціонувати лише за умов застосування інтегрованого захисту, який включає обов'язково елемент хімічного захисту. Систематичне застосування хімічно синтезованих речовин та часто з недотриманням їх норм і строків призводить до негативних змін у балансі екосистеми, до різкого скорочення окремих видів ентомофагів та епіфітних антагоністичних мікроорганізмів філоплани яблуні. Мікрозаказники – це відносно невеликі ділянки площею до 10 га, які організовують найчастіше в балках на схилах, межових ділянках або ділянках непридатних для сільгоспвиробництва. Такі визначені ділянки слід засаджувати різними видами яблунь, що мають стійке генетичне різноманіття, виконують важливу роль у перехресному запиленні для сортів яблуні, слугують природнім середовищем для життєдіяльності птахів, ентомофагів й спеціалізованих та неспеціалізованих комах запилювачів, особливо: поодиноких бджіл, осмій, джмелів, мух дзюрчалок, та ін.

Висновки

Слід зазначити, що зважаючи на цінність яблуні, як плодової культури, необхідність збільшення виробництва високоякісної продукції, покращення екосистеми, збереження широкого генетичного різноманіття, що зосереджене в колекційних насадженнях – польових ген-банках, має дуже важливе значення та потребує особливої підтримки. Використання генетичного різноманіття, зосередженого в колекціях у наукових (як вихідний матеріал для селекційних програм), навчальних, екологічних та інших програмах, а кращих зразків та видів – у промислових насадженнях та сільськогосподарському виробництві, ландшафтному дизайні, особливо при створенні мікрозаказників; дозволить істотно удосконалити та урізноманітнити сортимент; старовинні сорти яблуні є вихідним матеріалом для створення нових сортів, що будуть від-

повідати вимогам майбутнього. Джерелами максимальної кількості селекційно цінних ознак є різні види яблуні, активне залучення їх у селекційний процес дозволить одержати генотипи, що мають високий імунітет до шкідливих організмів, компактну крону, високу і стабільну врожайність, унікальні смакові властивості плодів, здійснити перехід на сучасні екологічно-безпечні, енергозберігаючі технології, що в свою чергу окрім підвищення виробництва плодів яблук в умовах глобальних змін клімату; сприятиме збереженню біорізноманіття та покращенню екосистеми.

Список використаної літератури

Вагалюк Л. В., Лісовий М. М. Біорізноманіття і його збереження: навч. посіб. Київ: НУБіП України, 2023. 310 с.

Волошина В. В. Збереження різноманіття генофонду Malus Mill. для селекційно–генетичного вдосконалення сортів яблуні. *Етноботанічні традиції в агрономії, фармації та садовому дизайні* : зб. тез III Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. Міжнар. року здоров'я рослин (Умань, 6–9 лип. 2020 р.). Умань, 2020. С. 53–58.

Волошина В. В., Гоменюк В. І. Генетичне різноманіття яблуні (Malus Mill.) для селекційних програм. *Сучасні аспекти підвищення продуктивного та адаптивного потенціалу с/г культур у контексті європейського зеленого курсу* : міжнар. наук.-практ. конф. (Миронівка, с. Центральне, 15–17 черв. 2022 р.).

Кондратенко Т., Трохимчук А., Гончарук Ю., Тарнавська К., Волошина В. Цінність і перспективність сортів яблуні (Malus Domestica Borkh.) народної селекції. *Садівництво.* 2024. № 79. С. 22–30. https://doi.org/10.35205/0558-1125-2024-79-22-30

Кучер М., Юрик Л. Колекції генетичних ресурсів плодових, ягідних, горіхоплідних і декоративних культур Дослідної станції помології ім. Л. П. Симиренка ІС НААН України: збереження, вивчення та практичне використання. *Садівництво.* 2025. № 80. С. 70–78. https://doi.org/10.35205/0558-1125-2025-80-70-78

Медведєва М. О. Конвенція про біологічне різноманіття. Українська дипломатична енциклопедія : у 2 т. / редкол.: Л. В. Губерський (голова) та ін. Київ : Знання України, 2004. Т. 1. С. 720.

Сірко Г. Цінність біорізноманіття. *Станіславський натураліст. Час відкривати світ.* 24 квітня 2017. [Електронний ресурс]. URL: https://www.naturalist.if.ua/?p=7053 (дата звернення: 04.03.2026).

Тарнавська К. П. Урожайність та якість плодів інтродукованих сортів яблуні (Malus domestica Borkh.) в умовах Поділля. *Садівництво.* 2021. Вип. 76. С. 33–39. https://doi.org/10.35205/0558-1125-2021-76-33-39

Ємельянов І. Г., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Біорізноманіття. Енциклопедія Сучасної України / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2004. [Електронний ресурс]. URL: https://esu.com.ua/article-35312 (дата звернення: 04.03.2026).

Duralija B., Mešić A., Tkalec Z., Vokurka A. The perspective of croatian old cultivars in extensive farming for the production of functional foods. *Foods.* 2021. Vol. 10. 708. https://doi.org/10.3390/foods10040708

Udovychenko K., Kondratenko T., Tarnavska K., Voloshyna V., Skytte af Sätra J., Garkava-Gustavsson L. Genetic diversity of Ukrainian apple germplasm estimated with SSR markers. *XVI Eucarpia Simposium on Fruit Breeding and Genetics* (Dresden-Pillnits, 11–16 Sept. 2023).

Udovychenko K., Kondratenko T., Tarnavska K., Voloshyna V., Skytte af Sätra J., Garkava-Gustavsson L. Genetic diversity of Ukrainian apple germplasm estimated with SSR markers. *Acta Horticulturae.* 2024. Vol. 1412. P. 69–74. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1412.10

References

Vahaliuk, L. V., & Lisovyi, M. M. (2023). Bioriznomanittia i yoho zberezhennia: navch. posib. [Biodiversity and its conservation: Study guide]. NUBiP Ukrainy. [in Ukrainian].

Voloshyna, V. V. (2020, July 6–9). Zberezhennia riznomanittia henofondu Malus Mill. dlia selektsiino-henetychnoho vdoskonalennia sortiv yabluni [Conservation of Malus Mill. gene pool diversity for breeding and genetic improvement of apple varieties]. *In Etnobotanichni tradytsii v ahronomii, farmatsii ta sadovomu dyzaini [Ethnobotanical traditions in agronomy, pharmacy and garden design*] (pp. 53–58). Uman State Prefectural University [in Ukrainian].

Voloshyna, V. V., & Homeniuk, V. I. (2022, June 15–17). Henetychne riznomanittia yabluni (Malus Mill.) dlia selektsiinykh prohram [Genetic diversity of apple (Malus Mill.) for breeding programs] [Conference presentation]. *Modern aspects of increasing the productive and adaptive potential of agricultural crops in the context of the European Green Deal*, Myronivka, Ukraine [in Ukrainian].

Kondratenko, T., Trokhymchuk, A., Honcharuk, Yu., Tarnavska, K., & Voloshyna, V. (2024). Tsinnist i perspektyvnist sortiv yabluni (Malus Domestica Borkh.) narodnoi selektsii [Value and prospects of apple varieties (Malus Domestica Borkh.) of folk selection]. *Sadivnytstvo [Horticulture]*, (79), 22–30. https://doi.org/10.35205/0558-1125-2024-79-22-30 [in Ukrainian].

Kucher, M., & Yuryk, L. (2025). Kolektsii henetychnykh resursiv plodovykh, yahidnykh, horikhoplidnykh i dekoratyvnykh kultur Doslidnoi stantsii pomolohii im. L. P. Symyrenka IS NAAN Ukrainy: zberezhennia, vyvchennia ta praktychne vykorystannia [Collections of genetic resources of fruit, berry, nut and ornamental crops of the L.P. Symyrenko Pomology Experimental Station of the IS NAAS of Ukraine: conservation, study and practical use]. *Sadivnytstvo [Horticulture]*, (80), 70–78. https://doi.org/10.35205/0558-1125-2025-80-70-78 [in Ukrainian].

Medvedieva, M. O. (2004). Konventsiia pro biolohichne riznomanittia [Convention on Biological Diversity]. In L. V. Huberskyi (Ed.), Ukrainska dyplomatychna entsyklopediia [Ukrainian Diplomatic Encyclopedia] (Vol. 1, p. 720). Znannia Ukrainy [in Ukrainian].

Sirko, H. (2017, April 24). Tsinnist bioriznomanittia [The value of biodiversity]. *Stanislavskyi naturalist. Chas vidkryvaty svit [Stanislavsky Naturalist. Time to discover the world]*. [Electronic resource] URL: https://www.naturalist.if.ua/?p=7053 (access date 04.03.2026) [in Ukrainian].

Tarnavska, K. P. (2021). Urozhainist ta yakist plodiv introdukovanykh sortiv yabluni (Malus domestica Borkh.) v umovakh Podillia [Yield and fruit quality of introduced apple varieties (Malus domestica Borkh.) in the conditions of Podillia]. *Sadivnytstvo [Horticulture]*, (76), 33–39. https://doi.org/10.35205/0558-1125-2021-76-33-39 [in Ukrainian].

Yemelianov, I. H. & Sheliag-Sosonko, Yu. R. (2004). Biolohichne riznomanittia [Biological diversity]. In I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskyi, & M. H. Zhelezniak (Eds.), Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy [Encyclopedia of Modern Ukraine]. Institute of Encyclopedic Research of the NAS of Ukraine. [Electronic resource] URL: https://esu.com.ua/article-35312 (access date 04.03.2026) [in Ukrainian].

Duralija, B., Mešić, A., Tkalec, Z., & Vokurka, A. (2021). The perspective of Croatian old cultivars in extensive farming for the production of functional foods. *Foods,* 10(4), Article 708. https://doi.org/10.3390/foods10040708 [in English].

Udovychenko, K., Kondratenko, T., Tarnavska, K., Voloshyna, V., Skytte af Sätra, J., & Garkava-Gustavsson, L. (2023, September 11–16). Genetic diversity of Ukrainian apple germplasm estimated with SSR markers [Conference presentation]. *XVI Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics*, Dresden-Pillnitz, Germany. [in English].

Udovychenko K., Kondratenko T., Tarnavska K., Voloshyna V. (2024). Skytte af Sätra J., Garkava-Gustavsson L. Genetic diversity of Ukrainian apple germplasm estimated with SSR markers. *Acta Horticulturae.* Vol. 1412. P. 69–74. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1412.10 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 06.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.11"324"
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.14

ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ ВРОЖАЙНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ВІД СТРОКІВ СІВБИ В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Є. Ю. Бутенко[1], Е. Г. Підлужний[2], О. Л. Шевченко[3], Л. М. Чернобай[4], М. С. Желдубовський[5]

У статті наведено результати дворічних досліджень (2024–2025 рр.) щодо впливу строків сівби на морфо-біометричні показники та врожайність пшениці озимої сортів Богдана та Вигадка в умовах Північно-східного Лісостепу України на базі відділу землеробства Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН. Встановлено, що аномально теплі та посушливі умови осені 2024 року суттєво нівелювали переваги ранніх строків сівби, проте дисперсійний аналіз підтвердив високодостовірний ($p < 0,001$) вплив чинників на формування структури колоса та висоту рослин. Аналіз врожайності досліджуваних сортів пшениці озимої залежно від строків сівби виявив чітку диференціацію продуктивності та різний рівень адаптивної реакції генотипів на зміну агрокліматичних умов. Сорт Богдана виявився більш інтенсивним, сформувавши максимальну врожайність понад 7,6 т/га та найвищу масу 1000 зерен (49,9 г) за висіву 20 вересня. Характерною особливістю цього сорту є підвищена чутливість до гідротермічного режиму початкових етапів вегетації. Тоді як сорт Вигадка проявив вищу адаптивність до пізніх строків сівби (листопад), забезпечуючи стабільну озерненість колоса (до 35,0 шт.) при меншій залежності

[1] доктор філософії
доцент кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: andb201727@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8904-519X
[2] аспірант кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: e.pidluzhniy@gmail.com
ORCID: 0009-0004-7660-0675
[3] молодший науковий співробітник
(Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН, с. Сад)
e-mail: agronauka@gmail.com
ORCID: 0009-0000-5408-3313
[4] доктор сільськогосподарських наук
(Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, м. Харків)
e-mail: larisachernobai1958@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8405-0424
[5] аспірант кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: serg101983@ukr.net
ORCID: 0009-0008-3475-3883

від гідротермічних стресів. Попри зафіксовані тенденції до зниження продуктивності за надпізніх термінів, статистична оцінка врожайності (p = 0,20) вказує на переважаючий вплив лімітуючих чинників середовища над сортовими особливостями в екстремальні роки, що обґрунтовує необхідність диференційованого підходу до вибору строків сівби залежно від пластичності конкретного генотипу. Ці дані підтверджують гіпотезу про те, що вибір оптимального строку сівби має базуватися на специфічних адаптивних властивостях конкретного сорту. Отримані результати дають підстави рекомендувати сорт Богдана для інтенсивних технологій за умови дотримання оптимальних термінів сівби, а сорт Вигадка – як страховий пластичний компонент сівозміни, здатний формувати стабільний урожай за ширшого діапазону календарних дат у контексті аридизації клімату регіону.

***Ключові слова**: пшениця озима, строки сівби, продуктивний стеблостій, структура врожаю, маса 1000 зерен, адаптивність сорту.*

DEPENDENCE OF WINTER WHEAT YIELD INDICATORS ON CALENDAR SOWING DATES IN THE CONDITIONS OF THE NORTH-EASTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE

E. Yu. Butenko, E. G. Pidluzhny, O. L. Shevchenko, L. M. Chernobai, M. S. Zheldubovsky

The article presents the results of two-year research (2024–2025) on the influence of sowing dates on morpho-biometric indicators and yield of winter wheat varieties Bohdana and Vygadko in the conditions of the North-Eastern Forest Steppe of Ukraine on the basis of the Department of Agriculture of the Institute of Agriculture of the North East of the National Academy of Sciences. It was established that the abnormally warm and arid conditions of autumn 2024 significantly leveled the advantages of early sowing dates; however, analysis of variance confirmed a highly significant (p < 0.001) influence of factors on the formation of ear structure and plant height. The analysis of the yield of the studied varieties of winter wheat depending on the time of sowing revealed a clear differentiation of productivity and a different level of adaptive response of genotypes to changes in agroclimatic conditions. The Bohdana variety proved to be more intensive, achieving a maximum yield of over 7.6 t/ha and the highest 1000-grain weight (49.9 g) when sown on September 20. A characteristic feature of this variety is increased sensitivity to the hydrothermal regime of the initial stages of vegetation. Where as the Vyhadka variety exhibited higher adaptability to late sowing dates (November), ensuring stable grain number per ear (up to 35.0 pcs) with less dependence on hydrothermal stresses. Despite the observed tendencies toward decreased productivity at ultra-late dates, the statistical evaluation of yield (p = 0.20) indicates a predominant influence of limiting environmental factors over varietal characteristics in extreme years, which justifies the necessity of a differentiated approach to selecting sowing dates based on the plasticity of a specific genotype. These data confirm the hypothesis that the selection of the optimal sowing period should be based on the specific adaptive properties of a particular variety. The obtained results give reasons to recommend the Bohdana variety for intensive technologies, provided the optimal sowing dates are observed, and the Vygadka variety as an insurance plastic component of crop rotation, capable of forming a stable harvest over a wider range of calendar dates in the context of aridization of the region's climate.

***Key words:** winter wheat, sowing dates, productive standing, yield structure, 1000-grain weight, varietal adaptability.*

Вступ

Стратегічна роль пшениці озимої у забезпеченні продовольчої безпеки та експортного потенціалу України вимагає постійної адаптації технологій її вирощування до сучасних кліматичних викликів. Аномальні погодні умови останніх років призвели до зниження середньої врожайності культури, що актуалізує пошук резервів підвищення продуктивності агрофітоценозів (Заєць та ін., 2024; Хорошун і Назаренко, 2024). Ключовим чинником у цьому процесі виступає оптимізація строків сівби, значення яких часто переважає вплив систем удобрення чи захисту рослин (Лихочвор і Альохін, 2025). Саме терміни висіву визначають інтенсивність осіннього органогенезу, накопичення енергетичних ресурсів у вузлах кущіння та стійкість посівів до перезимівлі (Гуцол і Овчарук, 2024; Вінюков і Лапко, 2025). Сучасні наукові дані вказують на чітку тенденцію зміщення оптималь-

ного посівного вікна в бік пізніших дат, що безпосередньо корелює з показниками польової схожості, виживаності рослин та формуванням щільності продуктивного стеблостою (Yi et al., 2020; Лихушина і Лапко, 2025). Дослідження впливу цього агрозаходу на структуру врожаю нових адаптивних сортів є необхідною умовою для стабілізації валових зборів зерна в умовах некерованих природних факторів.

На основі багаторічного моніторингу встановлено, що затримка з висівом пшениці озимої на 10–30 днів може призводити до істотного недобору зерна в межах 8,4–28,7%, причому максимальна продуктивність часто фіксується при сівбі в першій декаді вересня (Ткачук і Тимощук, 2020; Karpenko et al., 2022). Проте в умовах південних регіонів оптимальним визначено період початку жовтня, що забезпечує стабільну врожайність та високу якість збіжжя, тоді як відхилення від цього інтервалу спричиняє деградацію показників структури врожаю (Кривенко та ін., 2019). Доведено наявність детермінованого зв'язку між часом висіву та біометричними параметрами рослин: якщо ранні строки сприяють кращому вегетативному розвитку, то пізні терміни призводять до редукції кількості зерен у колосі, хоча подекуди супроводжуються зростанням маси 1000 насінин (Чугрій, 2019; Sobko et al., 2023).

Вплив строків сівби на біохімічні показники зерна має виражений сортоспецифічний характер, де для одних генотипів якість погіршується при переході до пізніх термінів, а для інших залишається стабільною незалежно від часу висіву (Астахова, 2020; Zhemla et al., 2020). В умовах Західного Лісостепу адаптація технології до сучасних змін клімату передбачає зміщення висіву на кінець вересня – початок жовтня, що дозволяє досягти врожайності на рівні 6,70–7,10 т/га та покращити технологічні властивості зерна (Ящук та ін., 2024).

З огляду на вищенаведене, метою нашої роботи було визначити та науково обґрунтувати оптимальні строки сівби для сучасних сортів пшениці озимої в умовах Північно-східного Лісостепу, що забезпечують максимальну реалізацію біологічного потенціалу врожайності в контексті сучасних змін клімату.

Матеріал і методи

Експериментальну роботу проводили впродовж 2024–2025 сільськогосподарських років на базі відділу землеробства Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН. Дослідні ділянки були закладені в межах зерно-просапної сівозміни. Об'єктом дослідження виступала пшениця озима, вирощувана за різних строків сівби для визначення їхнього впливу на структурні показники врожаю в умовах Північно-східного Лісостепу.

Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений чорноземом типовим малогумусним слабовилугуваним із крупнопилувато-середньосуглинковим гранулометричним складом. Агрохімічна характеристика орного шару (0–30 см) свідчить про високу родючість: вміст гумусу за Тюріним становить 4,1%, а pH сольової витяжки знаходиться в межах 6,0–6,4. Забезпеченість рухомими формами фосфору та калію за методом Чирикова становить 149 та 100 мг/кг ґрунту відповідно. Азотний режим ґрунту характеризувався вмістом легкогідролізованого азоту на рівні 84–110 мг/кг та коливанням нітратного азоту від 112 до 235 мг/кг ґрунту.

Метеорологічні умови осіннього періоду 2024 року відзначалися аномальним теплом та гострим дефіцитом вологи. Серпень і вересень виявилися критично сухими: у вересні середньодобова температура повітря сягала 20,5°C (на 7,1°C вище норми) при повній відсутності опадів. Такі умови спричинили пересихання посівного шару ґрунту, що негативно вплинуло на отримання сходів пшениці озимої. Сума активних температур вище +5°C за осінь склала 968°C, що майже вдвічі перевищило багаторічний показник (497°C), а стійкий перехід через 0°C у бік зниження відбувся лише 24 листопада.

Зимовий період 2024–2025 рр. характеризувався нестійким температурним режимом та низьким рівнем зволоження. Кількість опадів за зиму склала лише 20,9 мм, що на 101,1 мм менше за кліматичну норму. Попри загальну м'якість зими (середня температура -1,8°C), у лютому спостерігалося різке похолодання до -16...-17°C на фоні неглибокого снігового покриву (10–13 см), який сформувався лише в другій половині місяця. Відновлення весняної вегетації озимих культур зафіксовано 5 березня 2025 року після стійкого переходу температури через позначку +5°C.

Весняно-літній вегетаційний період 2025 року пройшов в умовах підвищеного температурного фону та періодичних посух. Квітень і травень були теплішими за норму на 2,6°C та характеризувалися дефіцитом

опадів (75% та 67% від норми відповідно). У травні відмічено чотири дні з приморозками на поверхні ґрунту, останній з яких зафіксовано 14 травня. Літо було спекотним із середньодобовою температурою 21,2°С та максимальними показниками до 32°С у червні–липні. Загальна сума активних температур вище +10°С за літо склала 1949°С, що підкреслює тенденцію до аридизації клімату в регіоні дослідження.

У 2024–2025 роках дослідження проводили в ланці зерно-просапної сівозміни після попередника гарбуз. Технологія вирощування передбачала систему обробітку ґрунту, що включала післяжнивне лущення стерні агрегатом АГД-2,8 та основний обробіток із використанням КЛД-2. Передпосівна підготовка поля складалася з культивації та обов'язкового прикочування кільчасто-зубовими котками КЗК-6 для створення оптимального насіннєвого ложа. Сівбу здійснювали поділянково сівалкою СС-16 з наступним післяпосівним коткуванням.

Система удобрення була уніфікованою для всіх варіантів і включала внесення повного мінерального добрива дозою $N_{48}P_{48}K_{48}$ під основний обробіток ґрунту. Протягом весняної вегетації проводили два підживлення: перше – по мерзлоталому ґрунту та друге – у фазу кущення – виходу в трубку дозами N_{34} кожне. Захист посівів базувався на застосуванні гербіциду Агент, фунгіцидів Дезорал і Стробіфан, а також інсектициду Антиколорад Макс згідно з пороговими рівнями шкідливості об'єктів.

Дослід було закладено як двофакторний експеримент у чотириразовій повторності. Фактор А включав два сортів пшениці озимої вітчизняної селекції: Богдана та Вигадка. Фактором Б виступали вісім строків сівби: від раннього (10 вересня) до надпізнього (20 листопада) з інтервалом у 10–11 днів, відповідно схема досліду відображена у таблиці 1.

Таблиця 1

Схема досліду впливу строків сівби на продуктивність пшениці

Сорти	Строки сівби
Богдана, Вигадка	10 вересня, 20 вересня, 01 жовтня, 10 жовтня, 20 жовтня, 01 листопада, 10 листопада, 20 листопада.

Загальна кількість дослідних ділянок склала 160, при цьому площа посівної ділянки становила 45 м^2, а облікової – 40 м^2.

Методологія досліджень базувалася на загальноприйнятих методичних вказівках щодо проведення польових дослідів із зерновими культурами. Для вивчення впливу строків сівби застосовували комплекс польових, візуальних та лабораторних методів. Фенологічні спостереження за етапами росту і розвитку рослин проводили згідно з державними методиками експертизи сортів.

Біометричні показники та структуру врожайності визначали шляхом аналізу снопових зразків, відібраних на закріплених ділянках. Облік урожайності проводили методом суцільного поділянкового обмолоту комбайном Massey Ferguson з подальшим приведенням маси зерна до 100% чистоти та стандартної 14% вологості.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методом дисперсійного аналізу з використанням пакета прикладних програм STATISTICA 10.0 для встановлення достовірності отриманих результатів. Економічну ефективність досліджуваних елементів технології, зокрема вплив строків сівби на прибутковість, розраховували за допомогою загальноприйнятих розрахунково-порівняльних методів.

Результати та їх обговорення

Аналіз біометричних показників пшениці озимої сорту Богдана засвідчив його високу чутливість до термінів сівби, що проявилося у поступовому зниженні лінійних розмірів рослин при зміщенні дат висіву на пізніші етапи (табл. 2). Найвищі показники висоти (96,5 см) зафіксовано за раннього строку сівби (10 вересня), тоді як за гранично пізнього висіву (20 листопада) цей параметр скоротився до 87,0 см. Характерно, що продуктивний стеблостій сорту Богдана виявився найбільш щільним за сівби 20 вересня, сягаючи 566 шт./м^2, що свідчить про оптимальне поєднання температурного режиму та вологозабезпеченості для інтенсивного кущення саме в цей період. Подальше зміщення строків сівби до середини жовтня призводило до певного розрідження посівів (507 шт./м^2), проте за умов надпізніх строків (листопад) показник стабілізувався в межах 540–552 шт./м^2, що вказує на достатню адаптивність сорту до формування стеблостою навіть за скороченого осіннього вегетаційного періоду.

Для сорту Вигадка характерною особливістю стала менша висота рослин порівняно з попереднім сортом, що визначає його кращу стійкість до вилягання. Максимальна

висота (90,5 см) спостерігалася за найранішого строку сівби, після чого відбувалося планомірне зниження показника до 83,0 см у листопадових варіантах висіву. Динаміка формування продуктивного стеблостою у сорту Вигадка продемонструвала тенденцію до поступового зниження щільності посіву від ранніх строків (546 шт./м²) до пізніших. Найнижчий рівень густоти (492 шт./м²) відмічено за сівби 20 жовтня, що може бути пов'язано з недостатньою кількістю накопичених сум активних температур для повноцінного осіннього розвитку. Проте при подальшому зміщенні строків у листопад спостерігалося незначне зростання кількості продуктивних стебел до 498–504 шт./м², що підтверджує здатність сорту компенсувати дефіцит осіннього розвитку за рахунок інтенсивнішого весняного кущення.

Двофакторний дисперсійний аналіз підтвердив високу достовірність отриманих даних. Для обох досліджуваних показників – висоти рослин та щільності продуктивного стеблостою – отримано рівень значущості $p < 0,001$. Це свідчить про те, що варіабельність ознак зумовлена безпосередньо дією факторів сорту та строків сівби, а не випадковими чинниками.

Високе значення критерію Фішера для висоти рослин ($F = 73,79$) вказує на визначальний вплив термінів посіву на лінійний ріст культури. Оскільки середній квадрат ефекту (MS = 130,46) суттєво перевищує помилку (MSerr = 1,77), зміни висоти стебла є закономірною реакцією генотипів на гідротермічні умови конкретного строку сівби.

Статистична оцінка продуктивного стеблостою також продемонструвала значущість ($F = 29,20$). Попри природну мінливість густоти посіву, значна сума квадратів ефекту (SS = 71140,88) підтверджує, що строки сівби є ключовим регулятором формування структури врожаю в умовах Північно-східного Лісостепу.

Аналіз елементів структури колоса сорту Богдана свідчить про відносну стабільність озерненості за більшості строків сівби. Найбільшу кількість зерен (31,0 шт.) та їхню масу (1,49 г) з одного колоса сформовано за висіву 10 жовтня (табл. 3). Характерно, що за пізніх строків (листопад) спостерігалося незначне зниження показників озерненості до 28,0 шт., проте маса 1000 зерен залишалася на високому рівні, досягаючи пікових значень (49,9 г) за сівби 20 жовтня. Це підтверджує здатність сорту Богдана формувати велике насіння навіть за умови скороченого періоду вегетації.

Сорт Вигадка продемонстрував тенденцію до збільшення кількості зерен у колосі при зміщенні строків сівби у бік пізніших. Максимальний показник озерненості (35,0 шт.) та маси зерна з колоса (1,60 г)

Таблиця 2

Показники росту та формування продуктивного стеблостою сортів пшениці озимої залежно від строків сівби (середнє за 2024–2025 рр.)

Сорт	**Строки сівби**	**Висота рослин, см (M±SD)**	**Продуктивний стеблостій, шт./м² (M±SD)**
Богдана	10 вересня	96,50±0,65	546,0±19,48
	20 вересня	95,00±1,13	566,0±23,67
	01 жовтня	92,50±0,65	556,5±21,06
	10 жовтня	91,50±0,65	507,0±10,09
	20 жовтня	91,00±0,38	534,0±3,02
	01 листопада	90,00±0,38	552,0±3,02
	10 листопада	90,00±0,38	546,0±3,02
	20 листопада	87,00±0,38	540,0±3,02
Вигадка	10 вересня	90,50±1,65	546,0±13,10
	20 вересня	88,50±2,70	542,0±23,71
	01 жовтня	87,50±2,70	531,5±15,79
	10 жовтня	87,50±2,70	503,5±7,58
	20 жовтня	86,00±0,38	492,0±3,02
	01 листопада	83,00±0,38	498,0±3,02
	10 листопада	83,00±0,38	504,0±3,02
	20 листопада	83,00±0,38	498,0±3,02

зафіксовано за сівби 20 жовтня, що суттєво перевищує результати ранніх строків. Водночас маса 1000 зерен у сорту Вигадка була нижчою порівняно з сортом Богдана і мала тенденцію до зниження до 43,5–44,9 г за пізнього висіву в листопаді. Таким чином, висока продуктивність колоса у цього сорту за пізніх строків забезпечується переважно кількістю насінин, а не їхньою крупністю.

Результати двофакторного дисперсійного аналізу підтвердили високу статистичну значущість впливу досліджуваних чинників на показники продуктивності колоса та масу 1000 зерен ($p<0,001$). Найвищий показник критерію Фішера зафіксовано для маси 1000 зерен ($F=120,14$), що свідчить про визначальну роль генотипу та строків сівби у формуванні крупності зерна. Розрахунки для кількості зерен у колосі ($F=58,57$) та їхньої маси ($F=58,57$) також демонструють суттєве перевищення середніх квадратів ефекту над помилкою, що підтверджує закономірний характер виявлених відмінностей. Мінімальні значення середнього квадрата помилки для всіх параметрів вказують на високу точність проведеного експерименту та репрезентативність отриманих даних для формування наукових висновків.

Аналіз врожайності досліджуваних сортів пшениці озимої залежно від строків сівби виявив чітку диференціацію продуктивності та різний рівень адаптивної реакції генотипів на зміну агрокліматичних умов (рис. 1). Встановлено, що сорт Богдана продемонстрував вищий потенціал урожайності порівняно з сортом Вигадка, проте характеризувався значною варіабельністю показників залежно від дати висіву. Найвищу продуктивність сорту Богдана зафіксовано за строку сівби 20 вересня (понад 7,6 т/га), тоді як зміщення термінів на першу декаду жовтня призводило до суттєвого зниження врожайності. Характерною особливістю цього сорту є висока амплітуда розкиду значень (довгі "вуса" довірчих інтервалів) на ранніх та середніх строках, що вказує на підвищену чутливість до гідротермічного режиму початкових етапів вегетації.

Сорт Вигадка проявив себе як більш стабільний генотип із меншою залежністю врожайності від строків сівби. Хоча його максимальні показники були нижчими за сорт Богдана (в межах 7,2–7,4 т/га), довірчі інтервали для більшості строків сівби у цього сорту є значно вужчими, що свідчить про високу гомеостатичність та прогнозованість продуктивності. Примітно, що за пізніх строків сівби (листопад) сорт Вигадка демонстрував конкурентоспроможність, а за деякими варіантами (10 та 20 листопада) навіть мінімально перевищував або був на рівні з сортом Богдана.

Загальною тенденцією для обох сортів є зниження врожайності за надпізніх строків сівби, проте інтенсивність цього спаду була менш вираженою у сорту Вигадка.

Таблиця 3

Елементи структури врожайності та маса 1000 зерен пшениці озимої залежно від строків сівби (середнє за 2024–2025 рр.)

Сорт	Строки сівби	Кількість зерен у колосі, шт. (M±SD)	Маса зерен з колоса, г (M±SD)	Маса 1000 зерен, г (M±SD)
Богдана	10 вересня	29,50±0,93	1,44±0,06	48,55±1,24
	20 вересня	29,00±0,76	1,39±0,03	48,35±0,71
	01 жовтня	29,00±0,76	1,40±0,03	48,05±1,03
	10 жовтня	31,00±1,31	1,49±0,07	47,75±0,71
	20 жовтня	30,00±0,76	1,46±0,01	49,90±0,15
	01 листопада	28,00±0,76	1,38±0,01	49,40±0,15
	10 листопада	28,00±0,76	1,36±0,01	48,60±0,15
	20 листопада	28,00±0,76	1,34±0,01	47,90±0,15
Вигадка	10 вересня	29,50±0,93	1,37±0,03	46,20±0,15
	20 вересня	30,50±0,93	1,39±0,01	45,95±0,16
	01 жовтня	31,00±0,76	1,41±0,01	45,45±0,40
	10 жовтня	33,00±0,76	1,50±0,01	45,85±0,16
	20 жовтня	35,00±0,76	1,60±0,01	45,70±0,15
	01 листопада	33,00±0,76	1,45±0,01	43,90±0,15
	10 листопада	34,00±0,76	1,48±0,01	43,50±0,15
	20 листопада	33,00±0,76	1,48±0,01	44,90±0,15

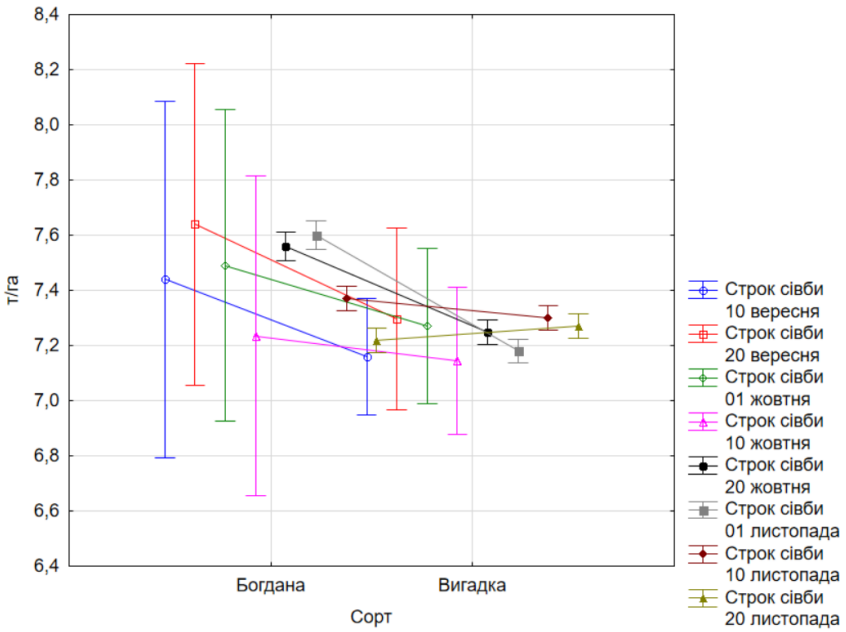


Рис. 1. Урожайність зерна сортів пшениці озимої в залежності від строків сівби (середнє за 2024–2025 рр.)

Отримані дані підтверджують гіпотезу про те, що вибір оптимального строку сівби має базуватися на специфічних адаптивних властивостях конкретного сорту: для інтенсивного сорту Богдана критичним є дотримання оптимально ранніх термінів (друга половина вересня), тоді як сорт Вигадка забезпечує стабільніший результат за ширшого діапазону дат висіву.

Результати дисперсійного аналізу врожайності свідчать про відсутність статистично значущого впливу досліджуваних факторів та їхньої взаємодії на цей показник.

Отримане значення ймовірності ($p = 0,20$) суттєво перевищує критичний рівень, а розрахований критерій Фішера ($F = 1,32$) є низьким. Це вказує на те, що варіабельність урожайності в даному експерименті більшою мірою зумовлена випадковими чинниками або помилкою досліду (MSerr = 0,15), ніж безпосереднім впливом сорту чи строків сівби.

Порівняння отриманих даних із результатами досліджень сорту РЖТ Реформ у Західному Лісостепу підтверджує спільну тенденцію до зниження коефіцієнта кущення до одиниці при зміщенні сівби на листопад. Однак, якщо в західних регіонах стабільна врожайність (7–8 т/га) за надпізніх строків досягається шляхом радикального збільшення норми висіву до 7,5 млн насінин/га, то в умовах Північно-східного Лісостепу сорт Богдана забезпечив аналогічну продуктивність за меншої густоти, що свідчить про його вищу індивідуальну інтенсивність. Водночас сорт Вигадка продемонстрував кращу адаптивну здатність до формування озерненості колоса (до 35 шт.) порівняно з європейськими аналогами, що вказує на високий потенціал вітчизняних генотипів у контексті аридизації клімату (Лихочвор і Альохін, 2025).

Аналіз термінів появи сходів у дослідах із сортами Богдана та Вигадка підтверджує встановлену закономірність щодо подовження періоду «сівба–сходи» з 9 до 18 діб при зміщенні дат висіву на жовтень–листопад, що зумовлено зниженням середньодобових температур. Раніше було доведено (Гуцол і Овчарук, 2024), що оптимальний період осінньої вегетації тривалістю 40–60 діб забезпечується за сівби з 20 вересня по 10 жовтня, що дозволяє рослинам досягти висоти 13–16 см і пройти фазу кущення протягом необхідних 30–35 діб. Висока польова схожість на рівні 89,8–93,0%, зафіксована у вересневих посівах, корелює з отриманими даними щодо максимальної продуктивності обох сортів саме за цих строків, тоді як пізніші висіви лімітуються недостатньою сумою активних температур для повноцінного органогенезу.

Аналіз продуктивності сортів Богдана та Вигадка підтверджує виявлену для сортів Юзовська та Вежа закономірність щодо істотного зниження врожайності (на

9,3–21,2%) при відхиленні від оптимального вікна сівби (кінець вересня – початок жовтня). Результати досліджень узгоджуються з висновком про різну сортову чутливість до термінів висіву: подібно до стабільності сорту Юзовська, сорт Вигадка проявив вищу гомеостатичність, тоді як інтенсивний сорт Богдана гостріше реагував на пізні строки сівби. Спільним для обох досліджень є формування максимальних показників структури колоса та коефіцієнта кущення саме за вересневих строків, що обґрунтовує їх пріоритетність для забезпечення стабільної продуктивності пшениці озимої (Лихушина і Лапко, 2025)

Висновки

На основі проведених досліджень встановлено, що максимальна продуктивність пшениці озимої в умовах Північно-східного Лісостепу забезпечується за сівби у другій половині вересня, при цьому сорт Богдана виявився більш інтенсивним типом із піковою врожайністю понад 7,6 т/га та високою масою 1000 зерен (49,9 г), тоді як сорт Вигадка продемонстрував вищу гомеостатичність і стабільність озерненості колоса (до 35,0 шт.) при зміщенні термінів висіву на жовтень–листопад. Двофакторний дисперсійний аналіз підтвердив високу статистичну значущість ($p < 0,001$) впливу строків сівби на морфо-біометричні показники та структуру колоса, проте відсутність достовірної різниці за загальною врожайністю ($p = 0,20$) свідчить про домінуючий нівелюючий вплив екстремально посушливих умов осіннього періоду на кінцеву продуктивність обох генотипів. Отримані результати дають підстави рекомендувати сорт Богдана для інтенсивних технологій за умови дотримання оптимальних термінів сівби, а сорт Вигадка – як страховий пластичний компонент сівозміни, здатний формувати стабільний урожай за ширшого діапазону календарних дат у контексті аридизації клімату регіону.

Список використаної літератури

Астахова Я.В. Якість зерна пшениці озимої залежно від строків сівби та удобрення. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 4. С. 28–34. https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.03

Вінюков О.О., Лапко О.Б. Реакція сортів пшениці озимої різновидів Lutescens та Erythrospermum на терміни сівби в умовах Північного Степу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Вип. 47. С. 30–36. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.4

Гуцол Г., Овчарук І. Вплив строків сівби на осінній ріст і розвиток пшениці озимої. *Сільське та лісове господарство*. 2024. № 2(33). С. 23–31. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-2-2

Заєць С.О., Онуфран Л.І., Юзюк С.М., Фундират К.С., Пілярський В.Г. Вплив різних систем біологічного захисту рослин на врожайність та якість зерна пшениці озимої в органічному землеробстві. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 75–82. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.11

Кривенко А.І., Почколіна С.В., Безеде Н.Г. Продуктивність та якість зерна перспективних сортів пшениці озимої за різних строків сівби в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. С. 78–85. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.10

Лихочвор В., Альохін В. Формування врожайності озимої пшениці залежно від строків сівби. *Вісник Львівського національного університету природокористування: Агрономія*. 2025. № 29. С. 73–79. https://doi.org/10.31734/agronomy2025.29.073

Лихушина Г.А., Лапко О.Б. Вплив строків сівби на формування показників продуктивності рослин пшениці озимої. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 1(142). С. 167–172. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.21

Ткачук В., Тимощук Т. Вплив строків сівби на продуктивність пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2020. Т. 98, № 3. С. 38–44. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202003-05

Хорошун І.В., Назаренко М.М. Особливості формування продуктивності та якості зерна у пшениці озимої. *Аграрні інновації*. 2024. № 26. С. 162–166. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.24

Чугрій Г.А. Формування продуктивності сортів пшениці озимої залежно від строку сівби в умовах Донецької області. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. С. 178–185. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.24

Ящук Т., Самець Н., Грицевич Ю., Музика О. Економічна ефективність вирощування нових вітчизняних сортів пшениці озимої за різних строків сівби в Західному Лісостепу

України. *Інноваційна економіка.* 2024. С. 161–172. https://doi.org/10.37332/2309-1533.2024.1.19

Karpenko O., Butenko Y., Rozhko V., Sykalo O., Chernega T., Kustovska A., Onychko V., Tymchuk D.S., Filon V., Novikova A. Influence of Agricultural Systems on Microbiological Transformation of Organic Matter in Wheat Winter Crops on Typical Black Soils. *Journal of Ecological Engineering.* 2022. Vol. 23(9). P. 181–186. https://doi.org/10.12911/22998993/151885

Sobko M., Butenko Y., Davydenko G., Solarov O., Pylypenko V., Makarova V. Ecological and Economic Study of Wheat Winter Varieties by Different Geographical Origin. *Ecological Engineering & Environmental Technology.* 2023. 24(1). P. 12–21. https://doi.org/10.12912/27197050/154912.

Yi W., Zhongkui Zh., Yuanyuan L., Yulong H., Yanlai H., Jinfang T. High Potassium Application Rate Increased Grain Yield of Shading-Stressed Winter Wheat by Improving Photosynthesis and Photosynthate Translocation. Front. *Plant Sci. 2020. 28 February.* 2020. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00134.

Zhemla H.P., Barabolia O.V., Tatarko Y.V., Antonovskiy O.V. The effect of variety peculiarities on winter wheat grain quality. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy.* 2020. (3). P. 32–39. https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.03.

References

Astakhova, Ya.V. (2020). Yakist zerna pshenytsi ozymoi zalezhno vid strokiv sivby ta udobrennia [Quality of winter wheat grain depending on sowing dates and fertilization]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy],* (4), 28–34. https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.03 [in Ukrainian].

Viniukov, O.O., & Lapko, O.B. (2025). Reaktsiia sortiv pshenytsi ozymoi riznovydiv Lutescens ta Erythrospermum na terminy sivby v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Reaction of winter wheat varieties of Lutescens and Erythrospermum types to sowing dates in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics],* (47), 30–36. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-2.4 [in Ukrainian].

Hutsol, G., & Ovcharuk, I. (2024). Vplyv strokiv sivby na osinnii rist i rozvytok pshenytsi ozymoi [Influence of sowing times on autumn growth and development of winter wheat]. *Silske ta lisove hospodarstvo [Agriculture and Forestry],* 2(33), 23–31. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-2-2 [in Ukrainian].

Zaiets, S.O., Onufran, L.I., Yuzyuk, S.M., Fundyrat, K.S., & Piliarskyi, V.H. (2024). Vplyv riznykh system biolohichnoho zakhystu roslyn na vrozhainist ta yakist zerna pshenytsi ozymoi v orhanichnomu zemlerobstvi [Influence of different systems of biological plant protection on the yield and quality of winter wheat grain in organic farming]. *Ahrarni innovatsii [Agricultural Innovations],* (23), 75–82. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.11 [in Ukrainian].

Kryvenko, A.I., Pochkolina, S.V., & Bezede, N.G. (2019). Produktyvnist ta yakist zerna perspektyvnykh sortiv pshenytsi ozymoi za riznykh strokiv sivby v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Productivity and quality of grain of promising varieties of winter wheat at different sowing periods in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurian Scientific Herald],* (107), 78–85. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.10 [in Ukrainian].

Likhushyna, H.A., & Lapko, O.B. (2025). Vplyv strokiv sivby na formuvannia pokaznykiv produktyvnosti roslyn pshenytsi ozymoi [The influence of sowing dates on the formation of productivity indicators by winter wheat plants]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurian Scientific Herald],* 1(142), 167–172. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.21 [in Ukrainian].

Lykhochvor, V., & Alokhin, V. (2025). Formuvannia vrozhainosti ozymoi pshenytsi zalezhno vid strokiv sivby [Formation of winter wheat yield depending on sowing dates]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu pryrodokorystuvannia: Ahronomiia [Bulletin of Lviv National Environmental University: Agronomy],* (29), 73–79. https://doi.org/10.31734/agronomy2025.29.073 [in Ukrainian].

Tkachuk, V., & Tymoschuk, T. (2020). Vplyv strokiv sivby na produktyvnist pshenytsi ozymoi [Influence of terms of sowing on the productivity of winter wheat]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agricultural Science],* 98(3), 38–44. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202003-05 [in Ukrainian].

Khoroshun, I.V., & Nazarenko, M.M. (2024). Osoblyvosti formuvannia produktyvnosti ta yakosti zerna u pshenytsi ozymoi [Features of productivity and grain quality formation in winter wheat]. *Ahrarni innovatsii [Agricultural Innovations],* (26), 162–166. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.24 [in Ukrainian].

Chuhrii, H.A. (2019). Formuvannia produktyvnosti sortiv pshenytsi ozymoi zalezhno vid stroku sivby v umovakh Donetskoi oblasti [Formation of the productivity of winter wheat varieties depending on the sowing date in the conditions of the Donetsk region]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurian Scientific Herald],* (107), 178–185. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.24 [in Ukrainian].

Yashchuk, T., Samets, N., Hrytsevych, Y., & Muzyka, O. (2024). Ekonomichna efektyvnist vyroshchuvannia novykh vitchyznyanykh sortiv pshenytsi ozymoi za riznykh strokiv sivby v zakhidnomu lisostepu Ukrainy [Economic efficiency of growing new domestic varieties of winter wheat at different sowing periods in the Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Innovatsiina ekonomika [Innovative Economy],* 161–172. https://doi.org/10.37332/2309-1533.2024.1.19 [in Ukrainian].

Karpenko, O., Butenko, Y., Rozhko, V., Sykalo, O., Chernega, T., Kustovska, A., Onychko, V., Tymchuk, D.S., Filon, V., Novikova, A. (2022). Influence of Agricultural Systems on Microbiological Transformation of Organic Matter in Wheat Winter Crops on Typical Black Soils. *Journal of Ecological Engineering*, 23(9), 181–186. https://doi.org/10.12911/22998993/151885 [in English].

Sobko, M., Butenko, Y., Davydenko, G., Solarov, O., Pylypenko, V., Makarova, V. (2023). Ecological and Economic Study of Wheat Winter Varieties by Different Geographical Origin. *Ecological Engineering & Environmental Technology,* 24(1), 12–21. https://doi.org/10.12912/27197050/154912 [in English].

Yi, W., Zhongkui, Zh., Yuanyuan, L., Yulong, H., Yanlai, H., Jinfang, T. (2020). High Potassium Application Rate Increased Grain Yield of Shading-Stressed Winter Wheat by Improving Photosynthesis and Photosynthate Translocation. Front. *Plant Sci. 28 February*. (2020). https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00134 [in English].

Zhemla, H.P., Barabolia, O.V., Tatarko, Y.V., Antonovskiy, O.V. (2020). The effect of variety peculiarities on winter wheat grain quality. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 3, 32–39. https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.03 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 26.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 635.64:635.25:635.65 (470.44)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.15

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЮЧИХ РЕЧОВИН ФУНГІЦИДІВ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ТОМАТІВ У ПЛІВКОВИХ ТЕПЛИЦЯХ

П. М. Вергелес[1], В. В. Мостовенко[2]

У статті обґрунтовано ефективність та значимість застосування фунгіцидів для гарантування високих рівнів урожайності та товарності продукції томата за його вирощування в умовах плівкових теплиць на ґрунтовому субстраті за комбінованої системи регулювання мікроклімату. Проаналізовано 5 варіантів діючих речовин фунгіцидів рекомендованих до використання у технологіях тепличного вирощування томатів з позиції впливу на ефективність захисту та формування продуктивності рослин.

Мета досліджень передбачала двохрічну оцінку різних варіантів фунгіцидів за одноразового та дворазового їх застосування у визначені критично стадійні періоди з огляду на ідентифікований спектр хвороб на підставі супутнього їх моніторингу.

За період досліджень (2021–2025 рр.) було оцінено такі фунгіциди з відповідним їм діючими речовинами як: Квадріс 250 SC (азоксистробін), Ридоміл Голд MZ 68 WG(640 г/кг манкоцеб, 40 г/кг металаксил-М), Зорвек Інкантія SE, CE(оксатіапіпролін 30 г/л, фамаксадон 300 г/л), Фундазол, ЗП(беноміл (500 г/кг), Танос WG, ВГ(250 г/кг фамоксадону + 250 г/кг цимоксанілу. Застосування фунгіцидів передбачало два варіанти внесення у такі фенологічні фази як фаза бутонізації (ВВСН 45–47) + та фаза початку плодоношення (ВВСН 68–70).

За результатами досліджень визначено ефективність дії фунгіцидів у варіанті одноразового застосування на рівні 65,73%, а за двохразового –80,30%. Застосовані фунгіциди у виразі їх діючих речовин за підсумком як одинарного, так і бінарного способу застосування було розміщено у такому ранжованому порядку зростання їх ефективності з позиції контролю розвитку вивчаємих хвороб томата та гарантування високих рівнем урожайності та товарності вирощеної продукції томату: Фундазол, ЗП– Квадріс 250 SC – Зорвек Інкантія SE, CE – Ридоміл Голд MZ 68 WG – Танос WG, ВГ.

Ключові слова: *томати, діючі речовини фунгіцидів, ефективність дії, фітопатогени, господарська ефективність, товарність урожаю, урожайність.*

[1] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
завідувач кафедри ботаніки, генетики та захисту рослин
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: pasha425@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4101-1465
[2] доктор Phd, спеціальність 201 – Агрономія,
старший викладач кафедри ботаніки, генетики та захисту рослин
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: voldemar281190@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2292-1850

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF FUNGICIDE ACTIVE INGREDIENTS IN TOMATO CULTIVATION UNDER PLASTIC GREENHOUSES

P. M. Verheles, V. V. Mostovenko

The effectiveness and importance of fungicide application for ensuring high yield and marketable quality of tomato production under plastic greenhouse conditions on soil substrate with a combined microclimate regulation system have been substantiated. Five variants of fungicide active ingredients recommended for greenhouse tomato cultivation technologies were analyzed in terms of their impact on plant protection efficiency and productivity formation.

The aim of the study was to conduct a two-year evaluation of different fungicide treatments under single and double applications at defined critical phenological stages, considering the identified spectrum of diseases based on continuous monitoring.

During the study period (2021–2025), the following fungicides and their active ingredients were evaluated: Quadris 250 SC (azoxystrobin), Ridomil Gold WG (640 g/kg mancozeb + 40 g/kg metalaxyl-M), Zorvec Incantia, SE (oxathiapiprolin 30 g/L + famoxadone 300 g/L), Fundazol (benomyl 500 g/kg), and Thanos WG (250 g/kg famoxadone + 250 g/kg cymoxanil). Fungicides were applied in two variants: during the budding stage (BBCH 45–47) and at the beginning of fruiting (BBCH 68–70).

The results showed that the effectiveness of fungicides under single application reached 65.73%, while under double application it increased to 80.30%. Based on their active ingredients, the fungicides–under both single and combined application schemes – were ranked in ascending order of effectiveness in controlling tomato diseases and ensuring high yield and marketable quality as follows: Fundazol – Quadris 250 SC – Zorvec Incantia, SE – Ridomil Gold, WG – Thanos, WG.

***Key words**: tomato, fungicide active ingredients, effectiveness, phytopathogens, economic efficiency, marketable yield, productivity.*

Вступ

Вирощування томатів у плівкових теплицях вимагає чітких технологій направлених як на регулювання системи живлення рослин, так і на конструювання надійної системи захисту рослин від шкодочинних об'єктів (Яровий і Кузьменко, 2014). Відмічається, що оптимізована система захисту за вирощування томатів у плівкових теплицях забезпечує збереження врожаю в інтервалі від 15 до 53% залежно від варіантів схеми вирощування та типів формування архітектоніки рослин (Коломієць та ін., 2016). Разом із тим, важливим аспектом ефективного планування системи захисту в умовах закритого ґрунту є добір оптимальної діючої речовини фунгіцидів, або ж їх поєднання у різних дозованих та строкових комбінаціях (Титова і Сергієнко, 2018; Hussien et al., 2022; Lan et al., 2024).

Відомо, що в українській практиці відпрацьовано певні системи використання фунгіцидів різної спрямованості, яка передбачає використання чисто фунгіцидів штучного синтезу, препаратів біоорганічного та органічного походження, або ж найчастіше, їх поєднання у єдиній системі за стосунку (Титова і Сергієнко, 2018).

Щодо об'єктів фітопатогенної спрямованості то в умовах захищеного ґрунту виділено ряд хвороб, серед яких максимальна шкодо чинність встановлена для таких захворювань як фітофтороз *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, розтріскування плодів, сіра гниль (*Botrytis cinerea* Pers.), гниль верхівкова (*Pseudomonas lycopersici*), бура плямистість (*Cladosporium fulvum* (Cooke.) Cifferri), коренева гниль (*Pythium debaryanum, Rhizoctonia solani*) (Alexandrov, 2011; Hazra et al., 2023; Quesada-Ocampo et al., 2023).

Віизначено, що спектр сучасних діючих речовин фунгіцидів мав різну ефективність по відношенню до вказаних хвороб. При цьому, додатково сама ефективність регулювалась умовами застосування препаратів, конструктивним типом теплиць та способом формування рослин томата у теплиці (Abu-El Samen et al., 2015; Ogolla et al., 2021; Nuwamanya et al., 2023; Figueroa et al., 2024).

Наголошується також, що системи фунгіцидного захисту слід планувати спираючись на особливості сорту та типології умов закритого ґрунту (тип теплиць, параметри регулювання мікроклімату, генетична детермінанта стійкості сортів та гібридів томату до комплексу хвороб, наявність додаткової системи зрошення чи спеціального режиму іррігації тощо) (Rodríguez et al., 2014; Kanwal et al., 2024; Hailu et al., 2024).

Слід також зауважити, що у ряді досліджень відмічається важливість комплексного вивчення ряду діючих речовин фунгіцидів для формування відповідного ефективного їх поєднання у різні етапи вегетації за вирощування томата в закритому ґрунті (Dillard et al., 1997; Guzmán-Plazola et al., 2011; Gikas et al., 2022; Jiang et al., 2022). На сьогодні вважається, що це питання є до кінця не вивченим та потребує наукового аналізу та узагальнення з врахуванням специфіки регіональних технологій культивування томату у різних регіонах та країнах (Gabrekiristos & Getachew, 2021; Dholu et al., 2022; El-Aswad et al., 2023).

Враховуючи вище наведені аргументи, метою наших досліджень впродовж 2024–2025 рр. була оцінка ефективності діючих речовин фунгіцидів рекомендованих до використання в умовах закритого ґрунту (умови плівкових теплиць з загальним регулюванням мікроклімату) за вирощування томату з кінцевою метою рекомендувати найбільш дієві з них з позиції контролю основного блоку хвороб листя та плодів.

Матеріал і методи

Дослідження проводились в умовах тепличного господарства навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету за період 2024–2025 рр. Об'єктом досліджень був гібрид Порпора (F1). Закладка рослин для кінцевого формування посадки на корисній площі теплиць проводили у шаховому порядку висаджуванням у ґрунтовий субстрат у першій декаді травня. Вирощування розсади проводили касетним способом (пластикові касети об'ємом 36 см^2).

Томат Порпора F1 (оригінатор компанія Esasem) належить до групи ранньостиглих з індетермінантним типом росту стебла. Кущ компактний висотою до 1,8 м. Рослина зазвичай формує до 7–8 кистей з 14–20 плодами (тип чері) на кожній кисті. Вага кисті до 400–450 г. Є толерантним до тепличного та нетепличного вирощування. Базовий принцип формування – заведення на 1–2 стебла. Вимогливий до живлення. Має високу стійкість до фузаріозу, ВТМ та вертицильзного в'янення. Середньостійкий до нематоди. Форма плоду кругла, з яскраво-червоним забарвленням середньою вагою 25–35 г. Високоврожайний гібрид з формуванням 2–3 кг плодів на одному кущі.

Застосована технологія вирощування томату у досліді проводилась у плівковій теплиці аркового типу з системою природньої вентиляції та базовими засадами регулювання мікроклімату (рис. 1). Рослини томату формувались на одне стебло з системою формуючих зелених операцій. Всі елементи технології, крім таких, які були поставлені на вивчення були одно типовими для всіх варіантів досліду.

У дослідженнях було використано такі фунгіциди та відповідній їм діючі речовини:

Квадріс 250 SC – це системний фунгіцид широкого спектра дії (діюча речовина азоксистробін), призначений для захисту томатів від борошнистої роси, фітофторозу, альтернаріозу, пероноспорозу. Рекомендована кратність обробки 2 з витратою 6 мл на 4–5 л води – 4–5 л розчину на сотку.

*Ридоміл Голд MZ 68 WG (*640 г/кг манкоцебу, 40 г/кг металаксилу-М) – це високоефективний комбінований фунгіцид системно-контактної дії для захисту томатів від фітофторозу та пероноспорозу. Загальна норма витрати: 25 г на 5 л води на 1 сотку. Кратність обробки 2.

Зорвек Інкантія SE, CE (оксатіапіпролін (30 г/л), фамаксадон (300 г/л)) –двокомпонентний фунгіцид нового класу (піперидиніл тіазол ізоксазоліни) для контролю патогенів томатів з класу ооміцети. Володіє ефектом дії «стоп-ефект» за рахунок «капсулювання» інфікованих клітин. Норма витрати пестициду 5 мл на 4–5 л води/сотку. Максимальна кратність обробки 2 з інтервалом у 10–15 діб.

Фундазол, ЗП – високоефективний системний фунгіцид широкого спектра дії на основі беномілу (500 г/кг). Направлений на контроль борошниста роса, гнилей та плямистостей у томатів. Норма витрати в умовах теплиць 10 г/5 л води з витратою такої кількості на сотку. Кратність обробки 2–3.

Танос WG, ВГ – інноваційний двокомпонентний фунгіцид контактно-системної дії (фамоксадону та цимоксанілу), призначений для захисту томатів від широкого спектра хвороб (фітофтороз, альтернаріоз, мілдью). Має потужну лікувальну та профілактичну дію. Норма витрати 6 г на 4–5 л води – 4–5 л розчину на сотку. Кратність обробки 2–4.

При обробці в робочий розчин додавався препарат *Адюмакс (AdjuMax)* – високоефективний органосиліконовий ад'ювант-сурфактант (прилипач), що використовується для покращення покриття, утримання та



Рис. 1. Загальний вигляд робочої секції плівкової теплиці вирощування томату гібриду Порпора (F1) у досліді, 2025 рік

проникнення фунгіцидів у рослини (знижує поверхневий натяг розчину, забезпечуючи економію до 25% препаратів та підвищує їх ефективність).

Фунгіциди вносились за використання ранцевого акумуляторного обприскувача.

Для розділення секторів теплиці на варіанті було поділено робочі ряди з рослинами на 4 однотипових секторних ділянки розміщених ярусним типом послідовно з площею однієї облікової ділянки у кожному повторенні 10 м^2.

Ступінь ураження рослин томату різними хворобами, ідентифікованими у процесі фітопатологічної періодичної оцінки секторів теплиці проводили шляхом оцінки показника на 5 рослинах у кожному повторенні та виражали у %.

Показник розвитку відповідної хвороби на рослинах томату (Р) визначали, застосовуючи формулу 1 (Волкодав, 2001; Трибель, 2001):

$$\text{Р} = \frac{100 \times \sum n\text{хб}}{N\text{хБ}} \qquad (1)$$

де ∑(а х б) – сума добутку кількості уражених рослин, шт. (n) на відповідний бал їх ураження (б); N – загальна кількість рослин в обліку, шт.; Б – максимальний бал шкали оцінки ураження.

Показник ефективності дії застосованоїх фунгіцидів визначали застосовуючи формулу 2 (Волкодав, 2001; Трибель, 2001):

$$E_{\text{д}} = (\frac{\text{Р}_{\text{к}} - \text{Р}_{\text{д}}}{\text{Р}_{\text{к}}}) \times 100 \qquad (2)$$

де $\text{Р}_{\text{к}}$ – показник розвитку хвороби на контролі; $\text{Р}_{\text{д}}$ – показник розвитку хвороби рослин на відповідному варіанті схеми досліду.

Господарську ефективність застосованих діючих речовин фунгіцидів було оцінено на основі визначення рівнів біологічного та фактичного урожаю томату на варіантах досліду (Трибель, 2001).

За контроль було обрано ділянки без застосування будь-якого фунгіциду (абсолютний контроль). Ділянки абсолютного контролю розміщували у теплиці у механічно відділеній секції за дотримання повністю аналогічної технології вирощування та регулювання клімату що й у дослідній секції.

Всі супутні спостереження та обліки було проведено у відповідності до методичних рекомендацій супроводу досліджень в овочівництві закритого ґрунту (Бондаренко і Яковенко, 2001).

Статистичну обробку результатів проводили у відповідності до загальних принципів варіаційної статистики у вибірках середнього розміру (Wong, 2018).

Результати

Результати моніторингу розвитку та поширеності хвороб у межах плівкового тепличного комплексу засвідчило складний варіативний характер формування структури хвороб (рис. 2). Представленою струк-

турою розвитку хвороб томатів в умовах досліду на контрольному варіанті визначено домінування розвитку фітофторозу (розвиток даної видової групи хвороб становив 27,6% у структурі ідентифікації на фенологічну фазу початку росту плодів (ВВСН 70–73)).

Другу позицію у структурі займали грибкові плямистості та гнилі (22,2% у видовій структурі фітопатогенів). Відповідно, третю позицію займале неінфекційне захворювання верхівкової гнилі плодів (17,4% у видовій структурі фітопатогенів).

З позиції визначеної структури основна фітопатогенна загроза відноситься до хвороб фолійної частини та плодів з позиції динамічного розвитку фітофторозу (динаміка приросту розвитку хвороби був на рівні 0,69% на одиницю шкали ВВСН від інтенсивного росту стебла та початку цвітіння до періоду інтенсивного росту плодів) та гнилей і плямистостей (аналогічний приріст 0,79%).

Враховуючи застосовані фенологічні облікові періоди критичним періодом у проведенні фітопатологічного контролю розвитку хвороб за вирощування томата у плівкових теплицях за місцем проведення досліджень був феностадійний інтервал початок цвітіння – початок плодоношення (ВВСН 50–ВВСН 70).

На підставі визначеної видової структури розвитку хвороб основними індикаторами ефективності застосованих діючих речовин фунгіцидів було вибрано: сіру гниль (*Botrytis cinerea* Fr.), білу гниль (*Sclerotinia sclerotiorum* (By) Lib.), бура плямистість (*Cladosporium fulvum* Cke) та фітофтороз (*Phytophthora infestans* By). На підставі такої оцінки визначено істотні відмінності щодо рівнів ефективності застосованих фунгіцидів (рис. 3, табл. 1).

За результатами проведеної оцінки діючі речовини фунгіцидів виявили диференційовану біологічну ефективність залежно від діючої речовини. При цьому застосу-

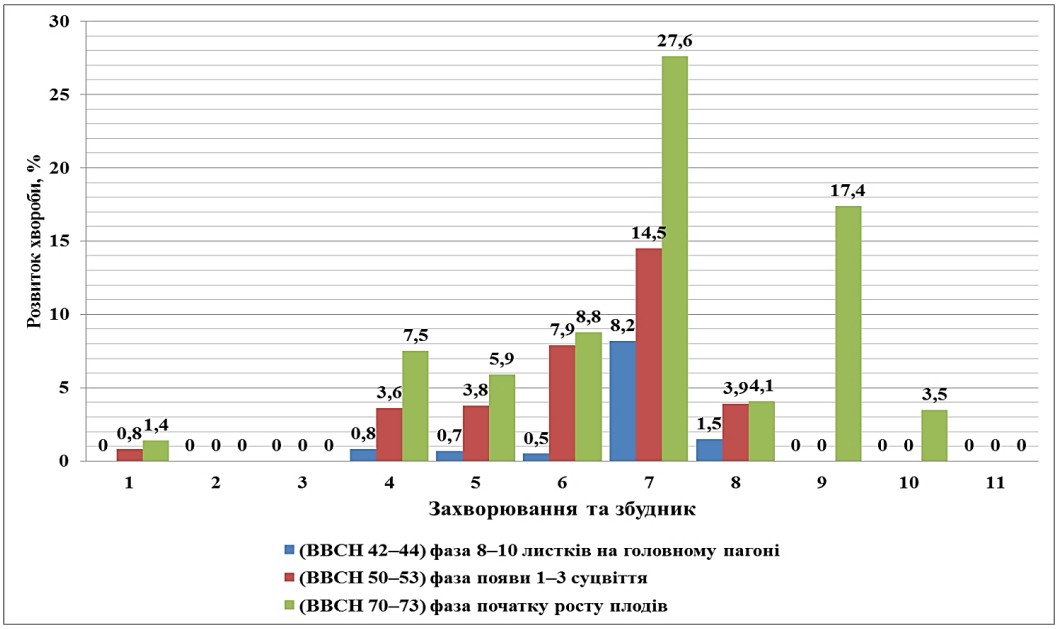


Рис. 2. Розвиток хвороб томатів ідентифікована у плівковому тепличному комплексі ВНАУ (ґрунтовий субстрат, облік на контрольному варіанті досліду) за типологічним переліком моніторингу хвороб томатів у закритому ґрунті для регіону досліджень, середнє за 2024–2025 рр.

1 – кореневі і прикореневі гнилі (Pythium sp. Rhizoctonia solani); 2 – вертицильозне в'янення (Verticillium alboatrum, V. danliae); 3 – фузаріозне в'янення (Fusarium sp.); 4 – сіра гниль (Botrytis cinerea Fr.); 5 – біла гниль (Sclerotinia sclerotiorum (By) Lib.; 6 – бура плямистість (Cladosporium fulvum Cke); 7 – фітофтороз (Ph. infestans d By); 8 – альтернаріоз (Alternaria solani Sorauer); 9 – верхівкова гниль плодів (неінфекційний тип ураження); 10 – бактеріальні хвороби (Xanthomonas vesicatonia, Pseudomonas corrgugata); 11 – вірусні хвороби – мозаїки (Tomato mosais tobamo virus), жовта курчавість (T. yellow leaf curl virus).



Рис. 3. Основні ознаки ідентифікованих хвороб томата в умовах досліду (послідовно зліва – на право: сіра гниль (*Botrytis cinerea* Fr.), біла гниль (*Sclerotinia sclerotiorum* (By), бура плямистість (*Cladosporium fulvum* Cke), фітофтороз (*Phytophthora infestans* By)).

Таблиця 1

Ефективність застосованих діючих речовин фунгіцидів для контролю домінуючих фітопатогенів гібриду томату Порпора (F1) за його вирощування у плівковій теплиці на ґрунтовому субстраті, % (середнє за 2024–2025 рр.)

Застосований фунгіцид (*діюча речовина*)	**Ефективність дії (захисту) у співставленні до контролю з індикацію на період дозрівання плодів (ВВСН 77–79), %**			
	сіра гниль (*Botrytis cinerea* Fr.)	**біла гниль (*Sclerotinia sclerotiorum* (By)**	**бура плямистість (*Cladosporium fulvum* Cke)**	**фітофтороз (*Phytophthora infestans* By)**
Одноразове обприскування у фазу бутонізації (ВВСН 45–47)				
Квадріс 250 SC (*азоксистробін*), 6 мл на 4–5 л води/100 м^2	68,9	59,3	72,8	68,3
Ридоміл Голд MZ 68 WG *(640 г/кг манкоцеб, 40 г/кг металаксил-М),* 25 г на 5 л/100 м^2	63,8	67,8	75,9	72,3
Зорвек Інкантія SE, CE *(оксатіапіпролін 30 г/л, фамаксадон 300 г/л),* 5 мл на 4–5 л води/100 м^2	55,9	60,9	80,8	77,4
Фундазол, ЗП *(беноміл (500 г/кг),* 10 г на 5 л/ 100 м^2	51,7	54,8	50,4	46,8
Танос WG, ВГ *(250 г/кг фамоксадону + 250 г/кг цимоксанілу),* 6 г на 4–5 л/100 м^2	74,5	65,9	72,5	73,8
Двохразова обробка: у фазу бутонізації (ВВСН 45–47) + у фазу початку плодоношення (ВВСН 68–70)				
Квадріс 250 SC (*азоксистробін*), 6 мл на 4–5 л води/100 м^2	91,9	73,8	85,6	77,9
Ридоміл Голд MZ 68 WG *640 г/кг манкоцеб, 40 г/кг металаксил-М),* 25 г на 5 л/100 м^2	78,8	83,2	89,1	88,2
Зорвек Інкантія SE, CE *(оксатіапіпролін 30 г/л, фамаксадон 300 г/л),* 5 мл на 4–5 л води/100 м^2	70,9	77,3	93,3	92,7
Фундазол, ЗП *(беноміл (500 г/кг),* 10 г на 5 л/ 100 м^2	65,5	68,2	61,9	57,4
Танос WG, ВГ *(250 г/кг фамоксадону + 250 г/кг цимоксанілу),* 6 г на 4–5 л/100 м^2	94,7	79,7	83,4	90,5
НІР$_{05}$	*3,7*	*1,9*	*2,2*	4,1

вання двохразової обробки з інтервалом у дві фенологічні стадії розвитку рослин томатів – відповідно на початку генеративного розвитку та на початку інтенсивного плодоношення було більш ефективним, ніж одноразове, віддалене від основного циклу плодоношення. При цьому середня ефективність фунгіцидів у варіанті одноразового застосування склала показник 65,73%, а за двохразового – 80,30% відповідно за коефіцієнту зростання у значенні 1,22.

Серед досліджуваних фунгіцидів з позиції контролю сірої гнилі (*Botrytis cinerea* Fr.) як у варіанті одноразового, так і у варіанті двохразового застосування слід відмітити комбінацію діючих речовин фамоксадону та цимоксанілу у формі фунгіциду Танос WG, ВГ за середньої ефективності препарату між варіантами кратності внесення на рівні 84,6%, що у підсумку було вищим на 12,9% у співставленні до середнього по патогенну у досліді.

У варіанті контролю білої гнилі *Sclerotinia sclerotiorum* (Bу) максимальна ефективність була встановлена у варіанті застосування комбінації діючих речовин 640 г/кг манкоцеб, 40 г/кг металаксил-М у формі фунгіциду Ридоміл Голд MZ 68 WG з середнім показником ефективності по варіантах кратності внесення на рівні 75,5% з приростом до середнього показника ефективності по варіантах досліду 6,41%.

З позиції контролю бурої плямистості томатів *Cladosporium fulvum* Cke визначено статистично істотні переваги застосування комбінації діючих речовин оксатіапіпролін 30 г/л + фамаксадон 300 г/л у формі фунгіциду Зорвек Інкантія SE, CE де аналогічні показники усередненого аналізу становили 87,05% та 10,25% відповідно.

Ефективність контролю фітофторозу томатів в умовах досліду була максимальною у варіанті застосування діючих речовин оксатіапіпролін 30 г/л + фамаксадон 300 г/л у формі фунгіциду Зорвек Інкантія SE, CE – з показниками середньої ефективності та приростів показника до середнього на рівнях 85,05% та 10,52% відповідно.

У результуючому підсумку застосовані фунгіциди у виразі їх діючих речовин за підсумком як одинарного, так і бінарного способу застосування було розміщено у такому ранжованому порядку зростання їх ефективності з позиції контролю розвитку вивчаємих хвороб томата: Фундазол, ЗП – Квадріс 250 SC – Зорвек Інкантія SE, CE – Ридоміл Голд MZ 68 WG – Танос, WG.

Важливою з позиції обґрунтування ефективності досліджуваних діючих речовин фунгіцидів була і оцінка господарської їх ефективності, результати якої представлено в табл. 2.

За результатами проведеного вивчення застосування фунгіцидів в цілому є ефективним заходом як для підвищення загальної урожайної продуктивності рослин томата, так і за рахунок зростання рівня товарності плодів сприяло приростному показнику виходу плодів з одиниці тепличної площі у співставленні до контролю.

При цьому, як і у випадку рівня ефективності контролю розвитку хвороб, одноразове та двохразове застосування фунгіцидів мало істотні відмінності за параметрами біологічної та товарної продуктивності рослин томата. В усередненому співставленні двохрразове застосування фунгіцидів дозволило отримати на 2,3 г важчий один плід за відповідного зростання рівня товарності плодів на 3,42% та зростання урожайності на 2,36 кг/м^2. Серед досліджуваних діючих речовин фунгіцидів як у варіанті одинарного, так і у варіанті бінарного застосування доведена перевага одночасно використання двох фунгіцидів Ридоміл Голд MZ 68 WG та Танос WG, ВГдля яких кінцевий результативний показник не мав статистично істотної різниці для їх співставлення з досяжним рівнем урожайності 14,92 кг/м^2 та 15,15 кг/м^2 відповідно, що у відносному виразі співставлення до контрольного варіанту склало показник 28,9% та 30,9% відповідно. З позиції позитивного впливу на товарність застосування фунгіцидів дозволило покращити естетичний вигляд плоду за рахунок мінімалізації плямистостей різного типу та шрамових візерунків після інфекційного походження.

Стосовно ранжування застосованих фунгіцидів, то його характер залишився аналогічним ранжуванню за показником ефективності, тобто у порядку все того ж зростання був наступним: Фундазол, ЗП – Квадріс 250 SC – Зорвек Інкантія SE, CE– Ридоміл Голд MZ 68 WG – Танос, WG.

Обговорення

Відмічається, що у структурі видового комплексу фітопатогенів томата в умовах закритого ґрунту є певні істотні специфічні відмінності зумовлені як особливостями типу ростових процесів рослин та перехід технології формування рослин на індетермінантний тип росту із заведення рослин на 1–2 стебла, що формує певні відмінності у морфометрії

Таблиця 2

Господарська ефективність застосованих діючих речовин фунгіцидів для контролю домінуючих фітопатогенів гібриду томату Порпора (F1) за його вирощування у плівковій теплиці на ґрунтовому субстраті, % (середнє за 2024–2025 рр.)

Варіант застосування фунгіцидів	**Середня маса одного плоду, г**	**Вихід товарних плодів, %**	**Урожайність, кг/м²**	**Урожайність ± до контролю, кг/м²**
Одноразове обприскування у фазу бутонізації (BBCH 45–47)				
Контроль	23,7	78,4	11,57	–
Квадріс 250 SC (*азоксистробін*), 6 мл на 4–5 л води/100 м²	25,8	86,9	12,52	0,95
Ридоміл Голд MZ 68 WG *(640 г/кг манкоцеб, 40 г/кг металаксил-М),* 25 г на 5 л/100 м²	27,2	92,3	14,11	2,54
Зорвек Інкантія SE, CE *(оксатіапіпролін 30 г/л, фамаксадон 300 г/л),* 5 мл на 4–5 л води/100 м²	26,5	90,1	13,27	1,7
Фундазол, ЗП *(беноміл (500 г/кг),* 10 г на 5 л/ 100 м²	24,3	80,3	11,89	0,32
Танос WG, ВГ *(250 г/кг фамоксадону + 250 г/кг цимоксанілу),* 6 г на 4–5 л/100 м²	27,9	93,8	14,09	2,52
Двохразова обробка: у фазу бутонізації (BBCH 45–47) + у фазу початку плодоношення (BBCH 68–70)				
Квадріс 250 SC (*азоксистробін*), 6 мл на 4–5 л води/100 м²	28,1	89,9	13,11	1,54
Ридоміл Голд MZ 68 WG *(640 г/кг манкоцеб, 40 г/кг металаксил-М),* 25 г на 5 л/100 м²	29,4	95,6	14,92	3,35
Зорвек Інкантія SE, CE *(оксатіапіпролін 30 г/л, фамаксадон 300 г/л),* 5 мл на 4–5 л води/100 м²	28,8	94,4	14,05	2,48
Фундазол, ЗП *(беноміл (500 г/кг),* 10 г на 5 л/ 100 м²	26,6	83,7	12,11	0,54
Танос WG, ВГ *(250 г/кг фамоксадону + 250 г/кг цимоксанілу),* 6 г на 4–5 л/100 м²	30,3	96,9	15,15	3,58
$НІР_{05}$	*1,3*	*2,8*	*0,59*	–

та фізіології рослин з вищим рівнем стійкості до складних базидіальних фітопатогенів та нижчим до системи цвілевих та сапрофітних фітопатогенів (Ogolla et al., 2021; Lan et al., 2024). Такі особливості патогенної реакції створюють передумови для відмінностей у видовій структурі агентів фітопатогенезу томатів за умов відкритого та закритоґрунтового типу вирощування (Quesada-Ocampo et al., 2023). Вказані висновки підтверджено результатами нашої оцінки де видова структура фітопатогенів за два роки оцінки культивування тгібриду томатів тепличного типу мала переважаюче домінування патогенів, які мають найвищу ступінь шкодо чинності на стадіях генеративного розвитку та початку плодоношення, а серед облігатних фітопатогенів, які мають широкоінтервальні терміни фітопатогенезу та вражають рослини на стадії до генеративного розвитку було ідентифіковано лише збідник фітофторозу (*Phytophthora infestans* By).

Проведені оцінки різних діючих речовин засвідчили перевагу комбінованих варіантів діючої речовини, яка поєднує як контактний, так і системний варіанти діючих речовин, поєднуючи при цьому профілактичний та винищувальний рівень контролю фітопатогенна, що узгоджується з висновками щодо доцільності еволюції препаративних форм на основі контактно-системної рекомбінації діючих речовин та їх похідних (Kanwal et al.,

2024). З цієї позиції використання як фунгіцидів Ридоміл Голд, так і Танос, які містять інноваційні рішення саме поєднуючи ефективний системний компонент, так і варіант діючої речовини, яка активно перешкоджає поширенню фітопатогенна на стадіє спороношення є найбільш доцільним, та узгоджується із рядом досліджень аналогічних препаративних форм на томатах в умовах закритого ґрунту (Alexandrov, 2011; Dillard et al., 1997; El-Aswad et al., 2023; Hazra et al., 2023).

Низька ефективність фунгіциду Фундазолу пояснюється з позиції вузької спеціалізації діючої речовини беномілу (основний компонент даного фунгіциду), орієнтованої на систему профілактичної (знезаражуючого ефекту) дії в варіантах протруєння поверхні насіння, обробки кореневих систем і є малоефективним у структурі фолійного обприскування, хоча і рекомендується як варіант обприскування по листку за вирощування тепличних томатів (Hussien et al., 2022). З цієї позиції можна пояснити і менш ефективну дію фунгіциду Квадріс 250 SC, який з огляду на проведені тривалі оцінки за основного компонента діючої речовини у формі азоксистробіну також відноситься до фунгіцидів профілактично-контактної дії з менш тривалим утримуючих анти патогенним ефектом ніж Ридоміл Голд, Танос WG, ВГ та Зорвек Інкантія SE, CE (Guzmán-Plazola et al., 2011; Gikas et al., 2022).

Разом із тим,окремі з діючих речовин селектувались по ефективності з направленістю на конкретні хвороби, зокрема Зорвек Інкантія SE, CE (оксатіапіпролін 30 г/л, фамаксадон 300 г/л) має протифітофторозну спрямованість дії (Dholu et al., 2022), що підтверджено результатами його максимальної ефективності по відношенню до даного фітопатогенна як за одинарного застосування (ефективність дії 77,4%), так і за двохразового внесення (ефективність дії 92,7%) у співставленні до інших діючих речовин у досліді. На противагу фунгіциду Зорвек Інкантія SE, CE фунгіцид Танос WG, ВГмістить дві інноваційних діючих речовини, які мають певний ефект синергізму по відношенню до цілого спектру фітопатогенів (Figueroa et al., 2024), що у підсумку забезпечило загальний вищий результуючий ефект в ефективності, що на 6,4% був вищий за середнє в цілому по всіх варіантах досліду. Така різниця дозволило у підсумку отримати переваги з позиції комбінованого контролю комплексу фітопатогенів, що вплинуло як на рівень ефективності дії захисту, так і на кінцевий результат товарності плодів та їх якості.

Висновки

У результуючому підсумку застосування фунгіцидів за вирощування індетермінантних гібридів томату у плівкових теплицях залежно від складу та хімізму діючої речовини дозволяє досягнути загального середнього ефекту дії на рівні 65,7% за одноразового та 80,3% за двохразового використання. Максимальний середній рівень ефективності захисту, з огляду на ідентифіковану видову структуру фітопатогенів томату у досліді, було досягнуто за використання двох діючих комбінованих речовин: 640 г/кг манкоцеб, 40 г/кг металаксил-М у формі торгової марки фунгіциду Ридоміл Голд MZ 68 WGта 250 г/кг фамоксадону + 250 г/кг цимоксанілу у формі торгової марки фунгіциду Танос. Даний варіант застосування за двохразового варіанту забезпечив рівень ефективності дії захисту у значенні вищому 90% за показника урожайності вище 15 кг/м^2 з приростом до контролю в інтервалі 28–31%.

Список використаної літератури

Бондаренко Г.Л., Яковенко К.І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Х.: Основа, 2001. 369 с.

Волкодав В.В. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Вип. 4: Картопля, овочеві та баштанні культури. К.: Державна комісія України по випробуванню та охороні сортів рослин, 2001. 104 с.

Коломієць Ю.В., Григорюк І.П., Буценко Л.М. Діагностика бактеріальних хвороб рослин помідорів в умовах відкритого і закритого ґрунту України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України.* 2016. № 7. [Електронний ресурс] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2016_7_7 (дата звернення 22.03.2026)

Титова Л.В., Сергієнко В.Г. Ефективність комплексного застосування мікробних препаратів з фунгіцидами для контролю захворювань та підвищення продуктивності овочевих культур. *Мікробіологія і біотехнологія.* 2018. № 4. С. 30–41. http://dx.doi.org/10.18524/2307-4663.2018.4(44).149359

Трибель С. О. Методики випробування і застосування пестицидів. К.: Світ, 2001. 448 с.

Яровий Г.І., Кузьменко В.І. Ефективність застосування фунгіцидів проти хвороб помідора. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2014. Вип. 16. С. 273–279.

Abu-El Samen F., Goussous S.J., Jendi A., Makhadmeh I.M. Evaluation of tomato early blight management using reduced application rates and frequencies of fungicide applications. *International Journal of Pest Management*. 2015. Vol. 61. P. 320–328. http://doi.org/10.1080/09670874.2015.1059969

Alexandrov V. Efficacy of some fungicides against late blight of tomato. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 17. № 4. P. 465–469.

Dholu D., Shete P.P., Kasal Y.G., Dhaval P. The efficacy of various fungicides against tomato Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*). *Ecology Environment and Conservation*. 2022. Vol. 28 (December Suppl. Issue). P. S47–S52. http://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i08s.008

Dillard H.R., Johnston S.A., Cobb A.C., Hamilton G. An Assessment of Fungicide Benefits for the Control of Fungal Diseases of Processing Tomatoes in New York and New Jersey. *Plant disease*. 1997. Vol. 81. Is. 6. P. 677–681. http://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.677

El-Aswad A.F., Aly M.I., Alsahaty S.A., Basyony A.B.A. Efficacy evaluation of some fumigants against Fusarium oxysporum and enhancement of tomato growth as elicitor-induced defense responses. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. № 1. 2479. http://doi.org/10.1038/s41598-023-29033-w

Figueroa M.A.G., Sajorga R.R., Cahagna-An R.M., Caser R.P., Ybañez R.Z. Optimization, Characterization, & In vitro Evaluation of Spent Mushroom-Based Bio-fungicide for Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) Disease Management. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*. 2024. Vol. 11. Is. 4. P. 172–190. https://doi.org/10.9734/ajahr/2024/v11i4352

Gabrekiristos E., Getachew A. In Vitro Evaluation of Some Selected Fungicides against Early blight of tomato (*Alternaria solani*) in Ethiopia. *Journal of Agricultural Research Pesticides and Biofertilizers*. 2021. Vol. 2. № 2. P. 1–5. http://doi.org/07.2021/1.1032

Gikas G.D., Parlakidis P., Mavropoulos T., Vryzas Z. Particularities of Fungicides and Factors Affecting Their Fate and Removal Efficacy: A Review. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. № 7. 4056. https://doi.org/10.3390/su14074056

Guzmán-Plazola R.A., Fajardo-Franco M.L., Coffey M.D. Control of tomato powdery mildew (Leveillula taurica) in the Comarca Lagunera, Coahuila State, Mexico, supported by the spray forecast model Tomato. *Crop Protection*. 2011. Vol. 30, Iss. 8. P. 1006–1014. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.03.004

Hailu G., Zeleke T., Abdisa T., Alyi T. Evaluation of Fungicide Frequency and Rotation for Tomato Late Blight Management in Rain-Fed and Irrigated Conditions. *Advances in Crop Science and Technology Open Access*. 2024. Vol. 12. 678. https://doi.org/10.63002/asrp.28.517

Hazra R., Roy J., Jiang L., Webster D., Rahman M., Quadir M. Biobased, macro-, and nanoscale fungicide delivery approaches for plant fungi control. *ACS Applied Bio Materials*. 2023. Vol. 17. 2698–711. https://doi.org/10. 1021/acsabm.3c00171

Hussien R.A.A., Gnedy M.M. A., Sayed A.A.S., Bondok A., Alkhalifah D.H. M., Elkelish A., Tawfik M. M. Evaluation of the Fungicidal Effect of Some Commercial Disinfectant and Sterilizer Agents Formulated as Soluble Liquid against Sclerotium rolfsii Infected Tomato Plant. *Plants*. 2022. Vol. 11. Is. 24. 3542. https://doi.org/10.3390/plants11243542

Jiang L, Wang H, Zong X, Wang X, Wu C. Effects of soil treated fungicide fluopimomide on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) disease control and plant growth. *Open Life Science*. 2022. Vol. 17. № 1. P. 800–810. https://doi.org/10.1515/biol-2022-0069

Kanwal I., Ölmez F., Ali A., Tatar M., Dadaşoğlu F. Evaluating the Efficacy of Fungicides for Controlling Late Blight in Tomatoes Induced by Phytophthora infestans. *Journal of Agricultural Production*. 2024. Vol 5. Is. 4. 241. https://doi.org/10.56430/japro.1533073

Lan Z., Huang J., Akutse K.S., Lin Y. Impact of pre-harvest fungicide application on the storage performance of tomato fruits. *PLoS One*. 2024. Vol. 19. Is.8. e0308670. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308670

Nuwamanya A.M., Runo S., Mwangi M. Farmers' perceptions on tomato early blight, fungicide use factors and awareness of fungicide resistance: Insights from a field survey in Kenya. *PLoS One*. 2023. Vol. 18. № 1. e0269035. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269035

Ogolla F., Nyakinywa R., Chabari S., Onyango B. In-vitro Evaluation of Fungicide Sensitivity of Tomato Leaf Blight Pathogens. *Jurnal Online Pertanian Tropik*. 2021. Vol. 8. № 1. P. 11–25. https://doi.org/10.32734/jopt.v8i1.5842

Quesada-Ocampo L., Parada-Rojas C., Hansen Z., Vogel G., Smart C., Hausbeck M. Phytophthora capsici: Recent progress on fundamental biology and disease management 100 years after its description. *Annual Review of Phytopathology*. 2023. Vol. 61. P. 185–208. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021622-103801

Rodríguez A., Acosta A., Rodríguez C. Fungicide resistance of *Botrytis cinerea* in tomato greenhouses in the Canary Islands and effectiveness of non-chemical treatments against gray mold. *World Journal of Microbiol Biotechnology*. 2014. Vol. 30. P. 2397–2406. https://doi.org/10.1007/s11274-014-1665-5

Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. 2018. 589 p. https://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4

References

Bondarenko, H.L., & Yakovenko, K.I. (2001). Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi [Methodology of experimental research in vegetable and melon growing]. Kh.: Osnova, 369 pp. [in Ukrainian].

Volkodav, V.V. (2001). Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur. Vyp. 4: Kartoplia, ovochevi ta bashtanni kultury [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 4: Potato, vegetable and melon crops]. K.: Derzhavna komisiia Ukrainy po vyprobuvanniu ta okhoroni sortiv roslyn, 104 pp. [in Ukrainian].

Kolomiiets, Yu.., Hryhoriuk, I.P., & Butsenko, L.M. (2016). Diahnostyka bakterialnykh khvorob roslyn pomidoriv v umovakh vidkrytoho i zakrytoho gruntu Ukrainy [Diagnosis of bacterial diseases of tomato plants under open and protected ground conditions in Ukraine]. *Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy* [*Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*], 7. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2016_7_7 (access date 22.03.2026) [in Ukrainian].

Tytova, L.V., & Serhiienko, V.H. (2018). Efektyvnist kompleksnoho zastosuvannia mikrobnykh preparativ z funhitsydamy dlia kontroliu zakhvoriuvan ta pidvyshchennia produktyvnosti ovochevykh kultur [Effectiveness of combined application of microbial preparations and fungicides for disease control and increasing productivity of vegetable crops]. *Mikrobiolohiia i biotekhnolohiia* [*Microbiology and Biotechnology*], 4, 30–41. http://dx.doi.org/10.18524/2307-4663.2018.4(44).149359 [in Ukrainian].

Trybel, S.O. (2001). Metodyky vyprobuvannia i zastosuvannia pestytsydiv [Methods of testing and application of pesticides]. K.: Svit, 448 pp. [in Ukrainian].

Yarovyi, H.I., & Kuzmenko, V.I. (2014). Efektyvnist zastosuvannia funhitsydiv proty khvorob pomidora [Effectiveness of fungicides against tomato diseases]. *Visnyk Tsentru naukovoho zabezpechennia APV Kharkivskoi oblasti* [*Bulletin of the Center for Scientific Support of Agribusiness in Kharkiv Region*], 16, 273–279. [in Ukrainian].

Abu-El Samen, F., Goussou,s S.J., Jendi, A., & Makhadmeh, I.M. (2015). Evaluation of tomato early blight management using reduced application rates and frequencies of fungicide applications. *International Journal of Pest Management*, 61, 320–328 http://doi.org/10.1080/09670874.2015.1059969 [in English].

Alexandrov, V. (2011). Efficacy of some fungicides against late blight of tomato. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(4), 465–469. [in English].

Dholu, D., Shete, P.P., Kasal, Y.G., & Dhaval, P. (2022). The efficacy of various fungicides against tomato Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*). *Ecology Environment and Conservation,* 28 (December Suppl. Issue), S47–S52. http://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i08s.008 [in English].

Dillard, H.R., Johnston, S.A., Cobb, A.C., & Hamilton, G. (1997). An Assessment of Fungicide Benefits for the Control of Fungal Diseases of Processing Tomatoes in New York and New Jersey. *Plant disease,* 81(6), 677–681. http://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.677 [in English]

El-Aswad, A.F., Aly, M.I., Alsahaty, S.A., & Basyony, A.B.A. (2023). Efficacy evaluation of some fumigants against Fusarium oxysporum and enhancement of tomato growth as elicitor-induced defense responses. *Scientific Reports*, 13(1), 2479. http://doi.org/10.1038/s41598-023-29033-w [in English].

Figueroa, M.A.G., Sajorga, R.R., Cahagna-An, R.M., Caser, R.P., & Ybañez, R.Z. (2024). Optimization, Characterization, & In vitro Evaluation of Spent Mushroom-Based Bio-fungicide for Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) Disease Management. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research,* 11(4), 172–190. https://doi.org/10.9734/ajahr/2024/v11i4352 [in English].

Gabrekiristos, E., & Getachew, A. (2021). In Vitro Evaluation of Some Selected Fungicides against Early blight of tomato (*Alternaria solani*) in Ethiopia. *Journal of Agricultural Research Pesticides and Biofertilizers,* 2(2), 1–5. http://doi.org/07.2021/1.1032 [in English].

Gikas, G. D., Parlakidis, P., Mavropoulos, T., & Vryzas, Z. (2022). Particularities of Fungicides and Factors Affecting Their Fate and Removal Efficacy: A Review. *Sustainability*, 14(7), 4056. https://doi.org/10.3390/su14074056 [in English].

Guzmán-Plazola, R.A., Fajardo-Franco, M.L., & Coffey, M.D. (2011). Control of tomato powdery mildew (Leveillula taurica) in the Comarca Lagunera, Coahuila State, Mexico, supported by the spray forecast model Tomato PM. *Crop Protection,* 30(8), 1006–1014. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.03.004 [in English].

Hailu, G., Zeleke, T., Abdisa, T., & Alyi, T. (2024). Evaluation of Fungicide Frequency and Rotation for Tomato Late Blight Management in Rain-Fed and Irrigated Conditions. *Advances in Crop Science and Technology Open Access,* 12, 678. https://doi.org/10.63002/asrp.28.517 [in English].

Hazra, R., Roy, J., Jiang, L., Webster, D., Rahman, M., & Quadir, M. (2023). Biobased, macro-, and nanoscale fungicide delivery approaches for plant fungi control. *ACS Applied Bio Materials*, 17, 2698–711. https://doi.org/10. 1021/acsabm.3c00171 [in English].

Hussien, R. A. A., Gnedy, M. M. A., Sayed, A. A. S., Bondok, A., Alkhalifah, D. H. M., Elkelish, A., & Tawfik, M. M. (2022). Evaluation of the Fungicidal Effect of Some Commercial Disinfectant and Sterilizer Agents Formulated as Soluble Liquid against Sclerotium rolfsii Infected Tomato Plant. *Plants,* 11(24), 3542. https://doi.org/10.3390/plants11243542 [in English].

Jiang, L, Wang, H, Zong, X, Wang, X, & Wu, C. (2022). Effects of soil treated fungicide fluopimomide on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) disease control and plant growth. *Open Life Science*, 17(1), 800–810. https://doi.org/10.1515/biol-2022-0069 [in English].

Kanwal, I., Ölmez, F., Ali, A., Tatar, M., & Dadaşoğlu, F. (2024). Evaluating the Efficacy of Fungicides for Controlling Late Blight in Tomatoes Induced by Phytophthora infestans. *Journal of Agricultural Production,* 5(4), 241. https://doi.org/10.56430/japro.1533073 [in English].

Lan, Z., Huang, J., Akutse, K.S., & Lin, Y. (2024). Impact of pre-harvest fungicide application on the storage performance of tomato fruits. *PLoS One,* 19(8), e0308670. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308670 [in English].

Nuwamanya, A.M., Runo, S., & Mwangi, M. (2023). Farmers' perceptions on tomato early blight, fungicide use factors and awareness of fungicide resistance: Insights from a field survey in Kenya. *PLoS One,* 18(1), e0269035. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269035 [in English].

Ogolla, F., Nyakinywa, R., Chabari, S., & Onyango, B. (2021). In-vitro Evaluation of Fungicide Sensitivity of Tomato Leaf Blight Pathogens. *Jurnal Online Pertanian Tropik*, 8(1), 11–25. https://doi.org/10.32734/jopt.v8i1.5842 [in English].

Quesada-Ocampo, L., Parada-Rojas, C., Hansen, Z., Vogel, G., Smart, C., & Hausbeck, M. (2023). Phytophthora capsici: Recent progress on fundamental biology and disease management 100 years after its description. *Annual Review of Phytopathology,* 61, 185–208. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021622-103801 [in English].

Rodríguez, A., Acosta, A., & Rodríguez, C. (2014). Fungicide resistance of *Botrytis cinerea* in tomato greenhouses in the Canary Islands and effectiveness of non-chemical treatments against gray mold. *World Journal of Microbiol Biotechnology,* 30, 2397–2406. https://doi.org/10.1007/s11274-014-1665-5 [in English].

Wong, J. (2018). Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press, 589 pp. https://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 631.41;502.52
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.16

МОДЕЛІ ЛАНДШАФТНОЇ АДАПТАЦІЇ ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОСУШУВАНИХ ҐРУНТІВ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

В. А. Гаврилюк[1], Р. Я. Мелимука[2]

У статті проведено комплексний аналіз сучасного стану та динаміки трансформації осушуваних ґрунтів Західного Полісся в умовах інтенсивного антропогенного навантаження та за підсилення цього процесу глобальними кліматичними змінами. Об'єктом дослідження виступають осушувані легкі мінеральні ґрунти, які через низьку буферну здатність та специфіку морфологічної будови, а також органогенні осушувані ґрунти, які є вразливими до деградації. Встановлено, що традиційні системи землеробства на меліорованих землях стимулюють процеси мінералізації органічної речовини, перетворюючи акумулятивні екосистеми на джерела активної емісії парникових газів.

На основі результатів моніторингових досліджень 2021–2025 років, запропоновано та науково обґрунтовано три моделі ландшафтної адаптації: ощадне землеробство, адаптивне землеробство та природне відновлення.

Модель ощадного землеробства, орієнтована на вирощування багаторічних ягідників (лохини), продемонструвала здатність стабілізувати агрофізичні показники (щільність 0,69–0,72 г/см³) та знижувати рівень емісії діоксиду карбону.

Модель адаптивного землеробства базується на впровадженні раціональних сівозмін із багаторічними травами та системах крапельного зрошення, забезпечує приріст вологи у верхньому горизонті на 3,1–4,1%, виконуючи роль ефективного терморегулятора ґрунтового профілю.

Найвищу екологічну ефективність підтверджено для моделі природного відновлення. Результати на цілинних ділянках свідчать про мінімальну інтенсивність «дихання ґрунту» (132,3–132,9 мг/м²/год) та максимальну акумуляцію продуктивної вологи (понад 500 мм).

У результаті досліджень доведено, що ренатуралізація деградованих торфовищ є ключовим інструментом секвестрації вуглецю та відновлення екосистемних послуг регіону. Запропоновані моделі корелюють із засадами «Європейського зеленого курсу» та пропонують

[1] кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник, в.о. директора
(Поліська дослідна станція Національного наукового центру
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», м. Луцьк)
e-mail: gavrilyuk-v@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3923-0842
[2] доктор філософії з біології,
молодший науковий співробітник
(Поліська дослідна станція Національного наукового центру
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», м. Луцьк)
e-mail: r.melymuka22@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2133-5654

дієвий механізм підвищення кліматичної стійкості агроландшафтів через диференційоване управління земельними ресурсами.

***Ключові слова**: мінеральні, органогенні ґрунти, емісія діоксиду карбону, трансформація, клімат.*

MODELS OF LANDSCAPE ADAPTATION AS A MEANS OF IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF DRAINED SOILS IN WESTERN POLISSYA

V. A. Gavrilyuk, R. Ya. Melymuka

This article presents a comprehensive analysis of the current state and dynamics of the transformation of drained soils in Western Polissya under conditions of intense anthropogenic pressure and the exacerbation of this process by global climate change. The study focuses on drained light mineral soils, which are vulnerable to degradation due to their low buffering capacity and specific morphological structure, as well as organogenic drained soils. It has been established that traditional farming systems on reclaimed lands stimulate the mineralization of organic matter, transforming accumulative ecosystems into sources of active greenhouse gas emissions.

Based on the results of monitoring studies conducted between 2021 and 2025, three models of landscape adaptation have been proposed and scientifically substantiated: conservation agriculture, adaptive agriculture, and natural restoration. The conservation agriculture model, focused on growing perennial berry crops (blueberries), demonstrated the ability to stabilize agro-physical indicators (density of 0.69–0.72 g/cm³) and reduce carbon dioxide emissions.

The adaptive farming model is based on the implementation of rational crop rotations with perennial grasses and drip irrigation systems, providing a 3.1–4.1% increase in moisture reserves in the topsoil, acting as an effective thermoregulator for the soil profile.

The highest ecological efficiency has been confirmed for the natural restoration model. Results from virgin sites indicate minimal soil respiration rates (132.3–132.9 mg/m²/year) and maximum accumulation of available moisture (over 500 mm).

The research has demonstrated that the renaturalization of degraded peatlands is a key tool for carbon sequestration and the restoration of ecosystem services in the region. The proposed models align with the principles of the «European Green Deal» and offer an effective mechanism for enhancing the climate resilience of agricultural landscapes through differentiated land resource management.

***Key words:** mineral soils, organogenic soils, carbon dioxide emissions, transformation, climate.*

Вступ

Сучасний стан осушуваних ґрунтів Західного Полісся є результатом тривалої та інтенсивної антропогенної трансформації, яка сьогодні вступає у критичну фазу під впливом глобальних кліматичних змін. Проведення масштабних меліоративних робіт у минулому столітті докорінно змінило природні гідрологічні цикли регіону, перевівши екосистеми з акумулятивного режиму у режим активної мінералізації. Тенденція до зростання рівня антропогенного навантаження на агросистеми, що супроводжується інтенсифікацією обробітку та порушенням сівозмін, неминуче призводить до розвитку глибоких деградаційних процесів. Особливо чутливими до таких впливів є ґрунти Західного Полісся, які історично піддавалися стресовому стану під час осушення, що накладається на специфіку місцевого ґрунтового покриву: переважання легких, малобуферних мінеральних ґрунтів та органогенних торфових масивів (Синіцина і Кравченко, 2016).

Низька буферна здатність легких за гранулометричним складом дерново-підзолистих ґрунтів зумовлює їх швидку виснажуваність. За відсутності достатньої кількості органічних добрив та через інтенсивну аерацію після осушення, процеси гумусонакопичення в них поступаються мінералізаційним процесам ґрунту. У випадку з органогенними ґрунтами ситуація є ще складнішою: зниження рівня ґрунтових вод запускає механізм «спрацювання» торфу, де органічна речовина, що накопичувалася тисячоліттями, за декілька десятиліть окислюється та втрачається у вигляді емісії парникових газів.

За сучасних реалій однією з головних причин різкого зниження продуктивності осушуваних земель є зміни клімату та їхні негативні наслідки, які посилюються технологічними факторами. До них належать критична спрацьованість мелі-

оративних інфраструктур, збудованих ще у 60–80-х роках минулого століття, відсутність фахового технічного обслуговування гідротехнічних споруд та ігнорування наукових рекомендацій щодо проведення агрохімічних заходів. Особливу занепокоєність викликає фактична відсутність двостороннього регулювання водозабезпечення: якщо раніше системи працювали на відведення та подачу вологи, то сьогодні вони часто функціонують лише як канали скиду, що призводить до пересушування територій у літні періоди (Коломієць і Ясенчук, 2011).

Кліматичні трансформації, що безпосередньо впливають на ґрунтові ресурси, характеризуються не лише глобальним потеплінням, а й різкою зміною режиму опадів. Збільшення тривалості посушливих періодів у поєднанні з підвищенням частоти проявів екстремальних злив призводить до посилення водної та вітрової ерозії. Такі умови стимулюють розвиток деградаційних процесів, а також підсилюють парниковий ефект через вивільнення вуглецю з деградованих торфовищ, де чітко простежується значний антропогенний слід (Бойченко, 2000; Climate change, 2007; Бойченко, 2008).

Для забезпечення стійкого функціонування агроекосистем у цьому вразливому регіоні стратегічно важливо впроваджувати моделі ландшафтної адаптації. Це не просто окремі агротехнічні прийоми, а комплекс адаптивних заходів, спрямованих на реструктуризацію агроландшафту. Ландшафтна адаптація дозволяє не лише зберегти залишкову родючість, а й створити умови для часткового самовідновлення ґрунтових функцій, знизити ерозійні ризики та стабілізувати врожайність за рахунок раціонального використання кожної окремої ділянки відповідно до її природного потенціалу (Дячук та ін., 2016).

Розробка та практичне впровадження таких моделей є єдиним дієвим варіантом вирішення проблем ґрунтового покриву Західного Полісся. Деградація агроландшафту в регіоні сприймається як комплексний процес спрощення його структури: від зникнення специфічних мікробіоценозів до погіршення якості поверхневих і ґрунтових вод, зокрема це негативно позначається на найбільш уразливих компонентах – активності та біорізноманітті ґрунтових мікроорганізмів, що зрештою призводить до зниження загальній продуктивності ґрунтових агроекосистем (Тараріко, 2024).

Насамперед, питання ренатуралізації та оптимізації використання осушуваних торфовищ є ключовим елементом національної стратегії адаптації до змін клімату. Структура землекористування та спосіб запровадження агромеліоративних заходів повинні докорінно змінитися. Зокрема, перехід від вирощування просапних культур до багаторічних трав та ягідників (наприклад, лохини) дозволяє сформувати постійний рослинний покрив, який захищає ґрунт від перегріву та дефляції. Такі культури мають значно менший негативний вплив на вуглецевий баланс, оскільки вони мінімізують механічне втручання в ґрунтовий профіль та сприяють депонуванню вуглецю, на відміну від інтенсивних технологій вирощування культур суцільного посіву, що провокують швидку мінералізацію органічної речовини (Бондарчук та ін., 2022).

Матеріал і методи

Дослідження спрямовані на розробку моделей ландшафтної адаптації осушуваних ґрунтів в умовах зростаючого антропогенного навантаження та змін клімату, проводили протягом 2021–2025 років на дослідних полігонах в межах Шацького національного природного парку поблизу села Положево на Верхньо-Прип'ятській осушувально-зволожувальній системі та села Римачі Ковельського району Волинської області, що репрезентують основні типи землекористування регіону: інтенсивне рільництво, ягідні багаторічні насадження та природні (цілинні) ділянки. Було закладено 11 ґрунтових розрізів на осушуваних ґрунтах, із них 4 на осушуваних органогенних ґрунтах та 7 на мінеральних осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах.

Відбір зразків ґрунтового покриву та закладка ґрунтових розрізів на осушуваних землях проводилась згідно рекомендацій описаних в «Методології оцінювання еколого-меліоративного стану осушуваних ґрунтів», яка розроблена національним науковим центром «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (Трускавецький і Цапко, 2012), «Інструкцією з проведення кислотної зйомки на осушуваних землях України» (Трускавецький та ін., 2005) та «Методичними рекомендаціями з особливостей моніторингу осушувальних земель та комплексу з їх охорони і ефективного використання (Трускавецький і Цапко, 2010).

Результати

Виходячи з комплексного аналізу даних, отриманих Поліською дослідною стан-

цією Національного наукового центру «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» протягом п'ятирічного циклу спостережень (2021–2025 років) на 11 моніторингових полігонах, можна запропонувати три основні моделі ландшафтної адаптації: ощадне землеробство, адаптивне землеробство та природне відновлення. Кожна модель враховує специфіку генетичних особливостей ґрунтового покриву Західного Полісся: від органогенних торфовищ до легких мінеральних дерново-підзолистих супісків.

Розробка моделей ландшафтної адаптації меліорованих ґрунтів є одним із варіантів вирішення проблем ґрунтового покриву місцевості, що пов'язані із надмірним антропогенним навантаженням на ґрунт та сучасними тенденціями кліматичних змін, до якого особливо вразливими є осушувані ґрунти Західного Полісся. Деградація агроландшафту – це процес спрощення його структури і погіршення природних властивостей, що негативно позначається на найбільш уразливих його компонентах – ґрунтах, біорізноманітті, відтак активності, чисельності, різноманітності ґрунтових мікроорганізмів; якості поверхневих і ґрунтових вод, що у підсумку відображається на зниженні загальній продуктивності ґрунтових агроекостем (Тараріко та ін., 2024).

Насамперед ренатуралізація осушуваних торфовищ потрібна з метою адаптації до змін клімату, тому важливу роль відіграє структура та спосіб використання і запровадження агромеліоративних заходів та ґрунтах такого типу. Зокрема багаторічні трави та ягідні культури мають менший негативний вплив на баланс вуглецю в наземних екосистемах, як використання ґрунту для вирощування культур суцільного посіву чи, тим більше, просапних культур.

Модель ощадного землеробства. Модель ощадного землеробства передбачає мінімізацію механічного втручання у ґрунт і акцентує увагу на вирощуванні багаторічних культур, зокрема ягідних. Основною культурою для цієї моделі є лохина, яка демонструє високу адаптивність до умов Західного Полісся. Вирощування ягідних культур, зокрема ягідників лохини, на органогенних ґрунтах дозволяє уникнути частого обробітку ґрунту та зменшити внесення мінеральних добрив. Крім того, ця модель передбачає використання систем крапельного зрошення, що забезпечує ефективне використання водних ресурсів і адаптацію до змін клімату.

Згідно з результатами досліджень, на полігонах із ягідними культурами зафіксовано стабільність агрофізичних показників ґрунту. Показники щільності складення ґрунту на цих ділянках становили 0,69–0,72 тут і надалі між цифрами тире г/см^3 у верхньому горизонті (0–20 см), що свідчить про оптимальні умови для розвитку кореневої системи рослин. Вологозапаси залишалися стабільними завдяки зменшенню випаровування води та підвищенню водоутримувальної здатності ґрунту.

Переваги моделі ощадного землеробства – це зменшення механічного навантаження на ґрунт, покращення водного балансу завдяки крапельному зрошенню, зниження ймовірності розвитку/прояву ерозійних процесів та збереження/відновлення рівня природної родючості ґрунту.

Окрім збереження ґрунтових ресурсів, ощадне землеробство сприяє підвищенню економічної вигоди для фермерів. Вирощування ягідних культур має високий попит на ринку, що забезпечує стабільний дохід. Також використання крапельного зрошення зменшує витрати води та енергії, підвищуючи ефективність виробничих процесів.

Важливим аспектом моделі є екологічна стабільність, адже завдяки зменшенню обробітку ґрунту знижується ризик деградаційних процесів, таких як переущільнення та змивання родючого шару, а використання органічних добрив, добрив на основі місцевих сировинних ресурсів та мульчування сприяє збагаченню ґрунту органічними речовинами, що підвищує його родючість, забезпечує структуру та довготривалу продуктивність.

Модель ощадного землеробства передбачає вирощування багаторічних ягідних культур на органогенних ґрунтах із мінімізацією механічного втручання. Застосування цієї моделі дозволяє суттєво знизити рівень емісії діоксиду карбону. На полігоні №1, де вирощувалися ягідні культури на осушуваних органогенних ґрунтах, показник емісії діоксиду карбону знизився з 188,2 мг/м^2/год у 2021 році до 186,8 мг/м^2/год у 2025 році. Ця тенденція підтверджує позитивний вплив ощадного землеробства на зменшення викидів діоксиду карбону. Позитивні зміни також зафіксовано на полігоні №5 із мінеральними

ґрунтами, де показник емісії діоксиду карбону на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті під ягідними культурами знизилася з 139,1 мг/м²/год до 137,3 мг/м²/год протягом періоду досліджень.

Модель адаптивного землеробства. Адаптивне землеробство передбачає вирощування культур, які найкраще відповідають природним умовам регіону та сприяють покращенню якісних характеристик ґрунту. У Західному Поліссі такими культурами є багаторічні трави, зернові та бобові культури, які не лише адаптовані до місцевих кліматичних умов, але й сприяють покращенню структури ґрунту та збагаченню його поживними елементами та закріпленні їх у ґрунті.

Результати досліджень показали, що на полігонах, що призначені для вирощування сільськогосподарських культур спостерігається стабілізація показників вологості ґрунту. Показники щільності складення ґрунту на органогенних ґрунтах цього типу господарського призначення залишалися в межах 0,82–0,93 г/см³, а на мінеральних ґрунтах показники становлять у межах 1,25–1,28 г/см³, що свідчить про оптимальні умови для розвитку рослин. Відтак модель адаптивного землеробства, завдяки раціональній сівозміні, ретельно підібраним культурам, що стабілізують показники родючості ґрунту, допомагає покращенню його структури та зниженню ризиків деградації, покращує рівень забезпечення ґрунту елементами живлення, біорізноманітністю та органікою, а завдяки застосуванню заходів адаптації до змін клімату, має й глобальний вплив на екосистему.

Модель адаптивного землеробства – це також спосіб адаптації до змін клімату, зокрема до збільшення частоти прояву посушливих періодів, що вимагає застосування систем регуляції вологи у ґрунті – системи крапельного поливу. У результаті досліджень підтверджено ефективність застосування системи крапельного поливу як на осушуваних органогенних ґрунтах, так і на мінеральних, зокрема на торфовищі сильно розкладеному мінералізованому, де вирощувались ягідники лохини та застосовувалася система крапельного поливу, зафіксовані найбільші значення вмісту вологи органогенних ґрунтів – 89,2 % на початку досліджень та 88,12% наприкінці досліджень у верхньому генетичному горизонті (0–20 см). На мінеральних ґрунтах за період досліджень зафіксоване збільшення вмісту вологи у верхніх генетичних горизонтах на двох дослідних полігонах, де вирощувалися ягідні культури, тобто застосовувалася система крапельного поливу, мова йде про полігони призначені для вирощування багаторічних ягідників лохини, де збільшення вмісту вологи відбулося на 3,1 та 4,1 % відповідно. На інших полігонах на осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах різного господарського призначення, де система крапельного поливу не застосовувалася, тенденція збільшення вмісту вологи була не такою значною, або ж взагалі відсутня була від'ємною, як на полігоні призначеному для вирощування сільськогосподарських культур та цілинному полігоні на дерново-підзолистих супіщаних осушуваних ґрунтах.

Особливу увагу в цій моделі слід приділити зменшенню інтенсивності емісії діоксиду карбону. Вирощування культур, які сприяють покращенню структури ґрунту та збагаченню його органічною речовиною, дозволяє утримувати вуглець у ґрунті, знижуючи рівень його викиду в атмосферу. Зокрема, багаторічні трави та бобові культури мають глибоку кореневу систему, що сприяє закріпленню органічного вуглецю в нижніх шарах ґрунту.

Дослідження показали, що на полігонах зі стабільним рівнем вологості ґрунту рівень інтенсивності емісії діоксиду карбону значно знижується. Використання системи крапельного зрошення також сприяє підтриманню оптимальної температури ґрунту, що запобігає інтенсивному розкладанню органічної речовини та зменшує викиди парникових газів. Адаптивне землеробство передбачає підбір культур, які відповідають природним умовам регіону, та використання системи крапельного зрошення. На осушуваних органогенних ґрунтах, зокрема полігоні, де вирощувалися сільськогосподарські культури, показник емісії діоксиду карбону зростав з 213,8 мг/м²/год у 2021 році до 215,7 мг/м²/год у 2025 році. Це свідчить про високу інтенсивність «дихання ґрунту» за умов активного обробітку. Водночас на полігоні, підготовленому під ягідні культури на мінеральних ґрунтах, спостерігалася позитивна динаміка, а саме показник інтенсивності емісії діоксиду карбону зменшився з 140,7 мг/м²/год у 2021 році до 139,3 мг/м²/год у 2025 році, що свідчить про стабілізацію ґрунтових процесів та зменшення викидів діоксиду карбону завдяки адаптивному землеробству.

Модель природного відновлення. Модель природного відновлення передбачає залишення частини осушуваних земель у стані цілини для відновлення природних екосистем. Цей підхід є особливо актуальним для деградованих та малопродуктивних ділянок, які більше не придатні для інтенсивного землеробства – оптимальним рішенням для використання яких є консервація.

На досліджуваних цілинних ділянках спостерігається поступова стабілізація агрофізичних показників ґрунту. Зокрема, щільність складення ґрунту на таких полігонах становила 1,02–1,03 г/см^3 у верхньому горизонті, що свідчить про збереження природної структури ґрунту. Рівень продуктивної вологи на цілинних ділянках залишався стабільно високим, що забезпечує оптимальні умови для відновлення природної рослинності. Особливо високими запаси продуктивної вологи є на органогенних ґрунтах де значення були найбільшими серед інших дослідних полігонів на цьому типу ґрунтового покриву – показник перевищував 500 мм, а подекуди досягав 560 мм по профілю (глибина профілю складає 60 см). На мінеральних ґрунтах на цілинному полігоні показники запасів продуктивної вологи також були зафіксовані на найвищому рівні поміж полігонів із іншим видом господарського використання – показник перевищував по профілю 65 мм, а подекуди й 75 мм.

До переваг моделі природного відновлення можна віднести загалом намір відтворення природних показників родючості ґрунту, що у свою чергу забезпечує зниженню ризиків прояву ерозійних процесів та зменшення їх рівня на ділянках, де вони вже присутні, окрім цього це важливий аспект у плані відтворення ґрунтового біорізноманіття. Проте важливу роль модель природного відновлення відіграє у зменшенні емісії діоксиду карбону. Природні рослинні угруповання сприяють закріпленню органічного вуглецю в ґрунті, що зменшує його викиди в атмосферу. Відновлення цілинних ділянок допомагає зменшити розкладання органічної речовини та запобігає втратам вуглецю.

Дослідження підтверджують, що природне відновлення є одним із найефективніших способів зменшення викидів парникових газів з деградованих осушуваних земель. На цілинних ділянках рівень емісії діоксиду карбону є значно нижчим порівняно з оброблюваними землями, тому оскільки модель природного відновлення передбачає залишення частини осушуваних земель у стані цілини, що сприяє природному відновленню ґрунтових процесів. Про це свідчать результати проведених досліджень, де найнижчі показники інтенсивності емісії діоксиду карбону на органогенних ґрунтах зафіксовано на полігоні №4, який залишався непорушеним. Рівень емісії коливався від 166,7 до 169,2 мг/м^2/год протягом досліджуваного періоду. На полігоні №9, який також залишався цілинним, але вже на мінеральних ґрунтах, показник інтенсивності емісії діоксиду карбону коливався в межах 132,3–132,9 мг/м^2/год, що є найнижчим серед усіх дослідних полігонів як мінеральних так органогенних ґрунтів. Відсутність антропогенного впливу на цілинних ділянках забезпечує стабільність ґрунтових процесів та зменшення викидів діоксиду карбону, що свідчить про ефективність природного відновлення для зменшення емісії парникових газів.

З загалом запропоновані моделі ландшафтної адаптації осушуваних ґрунтів Західного Полісся дозволяють вирішити низку екологічних та агротехнічних проблем. Модель ощадного землеробства забезпечує збереження родючості ґрунтів та зниження ерозійних процесів завдяки вирощуванню багаторічних ягідних культур та застосуванню крапельного зрошення. Адаптивне землеробство передбачає використання культур, які найкраще відповідають природним умовам регіону, що забезпечує покращення якісних характеристик ґрунтів. Модель природного відновлення сприяє відновленню природних екосистем та збереженню екологічного балансу.

Обговорення

Результати проведених досліджень протягом 2021–2025 років дають підстави стверджувати, що осушувані ґрунти Західного Полісся наразі перебувають у стані глибокої трансформації. У цій системі антропогенний чинник, що супроводжується насамперед інтенсивним обробітком ґрунту, виступає потужним каталізатором деградаційних процесів, дія якого значно підсилюється сучасними кліматичними змінами. У результаті спостерігається синергійний ефект: підвищення температури прискорює мікробіологічний розпад органіки, а механічне втручання забезпечує цей процес киснем, тобто глобальне потепління підвищує інтенсивність емісії діоксиду карбону із ґрунту, а сам процес емісії призводить до парникового ефекту, відтак температура ще більше зростає, що знову супроводжується збіль-

шенням інтенсивності емісії діоксиду карбону і так далі.

Запропоновані у результаті досліджень моделі ландшафтної адаптації не лише вирішують локальні господарські завдання, а й повністю корелюють із сучасними європейськими стратегіями сталого землекористування, зокрема з принципами «Європейського зеленого курсу» щодо збереження ґрунтового біорізноманіття та регулювання балансу діоксиду карбону, у тому числі в ґрунтових екосистемах.

Модель ощадного землеробства, яка в дослідженнях продемонструвала чітку тенденцію до зниження емісії діоксиду карбону та стабілізації гідротермічного режиму через вирощування багаторічних ягідників (лохини), має глибоке наукове обґрунтування. Наші дані перегукуються з фундаментальними висновками дослідників (Трускавецький і Цапко, 2019), які наголошують, що мінімізація механічного обробітку на легких за гранулометричним складом ґрунтах Полісся є безальтернативною умовою збереження їхнього гумусового стану, тобто за умови зменшення антропогенного навантаження процес гумусоутворення переважатиме над мінералізацій ними процесами. Окрім цього, відмова від щорічної оранки на користь багаторічних насаджень дозволяє запобігти вітровій ерозії (дефляції), яка в останні роки набула загрозливих масштабів внаслідок тривалих засух та дефіциту вологи в період вегетації рослин.

Висока ефективність адаптивного землеробства, зокрема поєднання раціональних сівозмін із використанням систем крапельного зрошення та багаторічних трав, повністю узгоджується з результатами досліджень (Балюк і Кучер, 2021), які зазначають, що адаптація агроекосистем до глобального потепління в Україні не може бути універсальною – вона має базуватися на диференційованому підході до меліорованих земель. У цьому контексті крапельне зрошення, яке застосовувалося на окремих дослідних полігонах, виступає не лише як засіб компенсації дефіциту вологи для рослин, а й як потужний інструмент терморегуляції ґрунтового профілю.

Особливої наукової та екологічної уваги заслуговує модель природного відновлення – ренатуралізації. Найнижчі показники інтенсивності емісії діоксиду карбону (132,3–132,9 мг/м²/год), зафіксовані протягом проведення досліджень на цілинних полігонах, є прямим доказом того, що відсутність антропогенного навантаження дозволяє ґрунтовій екосистемі повернутися до стану відносної рівноваги. Ренатуралізація виступає як найбільш потужний інструмент пом'якшення наслідків змін клімату, оскільки вона перетворює деградоване торфовище з джерела викидів діоксиду карбону на його активний поглинач та акумулювач. Це цілком співпадає з позицією досліджень (Балюк і Шимель, 2024; Слюсар та ін., 2024), які стверджують, що адаптивне землеробство на деградованих, сильно мінералізованих та малопродуктивних осушуваних ґрунтах є економічно та екологічно доцільним та виправданим способом відновлення втрачених екосистемних послуг.

Секвестрація (депонування) вуглецю в регіоні Полісся через залуження та відновлення природних біоценозів має розглядатися не як втрата сільськогосподарських угідь, а як інвестиція в екологічну безпеку та кліматичну стійкість всього регіону.

Висновки

У результаті проведених комплексних досліджень впродовж 2021–2025 років встановлено, що сучасний стан осушуваних ґрунтів Західного Полісся вимагає негайного переходу від інтенсивних систем землеробства до адаптивних ландшафтних моделей. Зокрема:

– Встановлено, що вирощування багаторічних ягідних культур (лохини) на органогенних та легких мінеральних ґрунтах є дієвим механізмом консервації органічної речовини.

– Використання систем крапельного зрошення та мульчування дозволяє стабілізувати агрофізичні показники, зокрема щільність складення (0,69–0,72 г/см³), та знизити рівень емісії діоксиду карбону на 0,7–1,4 мг/м²/год порівняно з інтенсивним обробітком. Це свідчить про сповільнення деструкції торфу та стабілізацію вуглецевого балансу агроекосистем.

– Доведено, що впровадження адаптивних сівозмін із переважанням багаторічних трав та бобових у поєднанні з локальним зволоженням забезпечує зростання вмісту вологи у верхньому 20-сантиметровому шарі ґрунту на 3,1–4,1%, що не лише покращує умови вегетації рослин, а й виступає інструментом терморегуляції ґрунтового профілю, запобігаючи перегріву поверхні та надмірній аерації, що є критично важливим для легких мало буферних ґрунтів Полісся в умовах кліматичних змін.

– Модель природного відновлення продемонструвала найвищу екологічну ефективність. Зафіксовані на цілинних полігонах найнижчі показники емісії діоксиду карбону (132,3–132,9 мг/м²/год) та максимальні запаси продуктивної вологи (понад 500 мм у профілі торфовищ) підтверджують, що виведення деградованих земель з інтенсивного використання є найбільш економічно виправданим способом відновлення екосистемних послуг та пом'якшення наслідків глобального потепління.

– Запропоновані три моделі ландшафтної адаптації дозволяють реалізувати диференційований підхід до управління меліорованими землями. Комплексне застосування цих підходів забезпечує зниження антропогенного навантаження, запобігає вітровій ерозії та сприяє відновленню ґрунтового біорізноманіття, що створює надійний фундамент для сталого розвитку регіону та підвищення кліматичної стійкості агроландшафтів Західного Полісся.

Список використаної літератури

Балюк С.А., Кучер А.В., Максименко Н.В. Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми і стратегія сталого управління. *Український географічний журнал.* 2021. 2 (114). С. 3–10. https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.003

Балюк С.А., Шимель В.В. Про стан та завдання управління органічним вуглецем ґрунту. *Вісник аграрної науки.* 2024. 102 (6). С. 5–13. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202406-01

Бойченко С. Г. Глобальне потепління та його наслідки на території України. *Український географічний журнал.* 2000. № 3. С. 59–68.

Бойченко С. Г. Сучасні глобальні зміни клімату та прояви їх на території України. *Світогляд.* 2008. № 1. С. 15–25.

Бондарчук С.П., Бондарчук Л.Ф., Федонюк В.В., Іванців В.В. Агроекологічна оцінка можливості ренатуралізації меліорованих земель як напрямку вирішення регіональних екологічних проблем Північно-Західного Полісся. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки».* 2021. Вип. 1. С. 171–175. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.02.2021.032

Дячук О. В., Рокочинський А. М., Чугай Є. О. Необхідність та шляхи поліпшення еколого-меліоративного стану осушуваних торфових ґрунтів Західного Полісся України. Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції : матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Житомир, 27 жовт. 2016 р. Житомир, 2016. С. 38–40.

Коломієць С. С., Ясенчук Т. О. Сучасні аспекти екологічних проблем осушуваних земель та шляхи їхнього розв'язання. *Меліорація і водне господарство.* 2011. № 99. С. 103–111.

Синіцина І. С., Кравченко Ю. С. Деградація ґрунтів України як наслідок антропогенного навантаження. Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції : матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Житомир, 27 жовт. 2016 р. Житомир, 2016. С. 35–36.

Слюсар І. Т., Сербенюк В.О., Повидало В.М., Тарасенко О.А., Сербенюк Г.А. Інтенсивність, емісія CO_2 та біологічна активність дренованих органогенних ґрунтів залежно від способів їхнього використання за умов змін клімату. *Агроекологічний журнал.* 2024. № 4 (2024). С. 178–191. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317173

Тараріко Ю. О., Яцюк М. В., Сайдак Р. В., Книш В. В. Меліоровані агроекосистеми у Західному Поліссі. *Аграрні інновації.* 2024. № 26. С. 111–120. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.16

Трускавецький Р. С., Балюк С. А., Цапко Ю. Л., Калініченко В. М. Інструкція з проведення кислотної зйомки на осушуваних землях України. Київ, 2005. 9 с.

Методологія оцінювання еколого-меліоративного стану осушуваних ґрунтів / за заг. ред. Р.С. Трускавецького. Харків: Міськдрук, 2012. 40 с.

Climate change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Grup 1 to the IPCC Fort Assessment Report. UNEP/WMO, 2001. 250 p.

References

Baliuk, S. A., Kucher, A. V., & Maksymenko, N. V. (2021). Gruntovi resursy ukrayiny: stan, problemy i stratehiya staloho upravlinnya [Soil resources of Ukraine: status, problems and sustainable management strategy]. *Ukrayins'kyy heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 2. 3–11. https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.003 [in Ukrainian].

Baliuk, S. A., & Shymel, V. V. (2024). Pro stan ta zavdannya upravlinnya orhanichnym vuhletsem gruntu [On the status and tasks of soil organic carbon management]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*

[Bulletin of Agricultural Science], 102 (6), 5–13. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202406-01 [in Ukrainian].

Boichenko, S. H. (2000). Hlobalne poteplinnia ta yoho naslidky na terytorii Ukrainy [Global warming and its consequences on the territory of Ukraine]. *Ukrayins'kyy heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, (3), 59–68. [in Ukrainian].

Boichenko, S. H. (2008). Suchasni hlobalni zminy klimatu ta proiavy yikh na terytorii Ukrainy [Modern global climate changes and their manifestations on the territory of Ukraine]. *Svitohlyad, [Outlook],* (1), 15–25. [in Ukrainian].

Bondarchuk, S. P., Bondarchuk, L. F., Fedoniuk, V. V., & Ivantsiv, V. V. (2022). Ahroekolohichna otsinka mozhlyvostei renaturalizatsii meliorovanykh zemel yak napriamku vyrishennia rehionalnykh ekolohichnykh problem Pivnichno-Zakhidnoho Polissia [Agroecological assessment of the possibilities of renaturalization of reclaimed lands as a direction for solving regional environmental problems of North-Western Polissia]. *Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal «Hraal' nauky» [International scientific journal "Grail of Science"],* (1), 171–175. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.02.2021.032 [in Ukrainian].

Diachuk, O. V., Rokochynskyi, A. M., & Chuhai, Ye. O. (2016). Neobkhidnist ta shliakhy polipshennia ekoloho-melioratyvnoho stanu osushuvanykh torfovykh hruntiv Zakhidnoho Polissia Ukrainy [The necessity and ways of improving the ecological and reclamation state of drained peat soils of Western Polissia of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats «Sustainable development of the country within the framework of European integration».* Zhytomyr, pp. 38–40 [in Ukrainian].

Kolomiiets, S. S., & Yasenchuk, T. O. (2011). Suchasni aspekty ekolohichnykh problem osushuvanykh zemel ta shliakhy yikhnyoho rozv'iazannia [Modern aspects of environmental problems of drained lands and ways of their solution]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo [Land reclamation and water management],* (99), 103–111. [in Ukrainian].

Synitsyna, I. S., & Kravchenko, Yu. S. (2016). Dehradatsiia hruntiv Ukrainy yak naslidok antropohennoho navantazhennia [Soil degradation in Ukraine as a consequence of anthropogenic pressure]. *Zbirnyk naukovykh prats «Sustainable development of the country within the framework of European integration».* Zhytomyr, pp. 35–36 [in Ukrainian].

Slyusar, I. T., Serbeniuk, V. O., Povydalo, V. M., Tarasenko, O. A., & Serbeniuk, G. A. (2024). Intensyvnist', emisiya CO_2 ta biolohichna aktyvnist' drenovanykh orhanohennykh gruntiv zalezhno vid sposobiv yikhn'oho vykorystannya za umov zmin klimatu [Intensity, CO_2 emissions and biological activity of drained organic soils depending on their use methods under climate change conditions] *Ahroekolohichnyy zhurnal [Agroecological Journal],* (4), 178–191. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317173 [in Ukrainian].

Tarariko, Yu. O., Yatsiuk, M. V., Saidak, R. V., & Knysh, V. V. (2024). Meliorovani ahroekosystemy u Zakhidnomu Polissi [Reclaimed agroecosystems in Western Polissia]. *Ahrarni innovatsii [Agricultural innovations],* (26), 111–120. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.16 [in Ukrainian].

Truskavetskyi, R. S., Baliuk, S. A., Tsapko, Yu. L., & Kalinichenko, V. M. (2005). Instruktsiia z provedennya kyslotnoyi zyomky na osushuvanykh zemlyakh Ukrayiny [Instructions for conducting acid surveys on drained lands of Ukraine]. Kyiv [in Ukrainian].

Truskavetskyi, R. S., & Tsapko, Yu. L. (2010). Metodychni rekomendatsiyi z osoblyvostey monitorynhu osushuvalnykh zemel ta kompleksu z yikh okhorony i efektyvnoho vykorystannya [Methodological recommendations on the features of monitoring drained lands and a complex for their protection and effective use]. Kharkiv [in Ukrainian].

Truskavetskyi, R. S., & Tsapko, Yu. L. (2012). Metodolohiya otsinyuvannya ekoloho-melioratyvnoho stanu osushenykh gruntiv [Methodology for assessing the ecological and reclamation state of drained soils]. Kharkiv [in Ukrainian].

Climate change 2007: The Scientific Basis – Contribution of Working Grup 1 to the IPCC Fort Assessment Report, UNEP/WMO, 2001. 250 p [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 24.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 06.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 635.652:631.86:631.582(477.54)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.17

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КВАСОЛІ ПІД ДІЄЮ СУЧАСНИХ БІОПРЕПАРАТІВ У СХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В. Д. Дімов[1], Л. М. Поташова[2]

В умовах зростання вартості енергоресурсів, добрив та засобів захисту рослин особливого значення набувають ресурсоощадні технології вирощування, важливим елементом яких є застосування бактеріальних і біологічних рістрегулюючих препаратів для допосівної інокуляції насіння та листкового підживлення рослин. Метою дослідження було визначення впливу допосівної обробки насіння квасолі окремими біопрепаратами та їх сумішшю у комплексі з листковим підживленням біодобривом на врожайність сортів Панна і Мавка у Східному Лісостепу України. Польові дослідження проводили у 2023–2025 рр. на чорноземі типовому важкосуглинковому на карбонатному лесі в умовах ННВЦ «Дослідне поле Докучаєвське» Державного біотехнологічного університету. Схема досліду мала такі варіанти: контроль (сухе насіння); вода; Гумат калію; Азотікс; Азотікс + Гумат калію; Азотікс + Гумат калію + одноразове підживлення Мега врожай; Азотікс + Гумат калію + дворазове підживлення Мега врожай.

Установлено, що застосовані біопрепарати позитивно вплинули на густоту, виживаність, біометричні, симбіотичні, фотосинтетичні та структурні показники рослин. У середньому за три роки досліджень урожайність зерна квасолі сорту Панна по варіантах досліду коливалася від 1,13 до 1,41 т/га, у сорту Мавка – від 1,06 до 1,35 т/га із мінімумом на контролі і максимумом за використання Азотіксу і Гумату калію для допосівної обробки насіння та дворазового підживлення посівів біодобривом Мега врожай. На варіантах комплексного застосування біопрепаратів отримали найбільший приріст урожайності: у сорту Панна 0,28 т/га або 24,8 %, у сорту Мавка 0,29 т/га або 27,4 % у порівнянні з контролем. Рекомендуємо здійснювати допосівну обробку насіння квасолі біологічно активними препаратами Азотікс і Гумат калію у комплексі з подвійним листковим підживленням біодобривом Мега врожай у період інтенсивного росту рослин (фази гілкування та бутонізації).

Ключові слова: *квасоля, біопрепарати, допосівна обробка насіння, листкове підживлення, ріст, урожайність.*

[1] аспірант кафедри рослинництва
(Державний біотехнологічний університет, м. Харків)
e-mail: Valent560@ukr.net
ORCID: 0009-0001-1942-0828
[2] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри рослинництва
(Державний біотехнологічний університет, м. Харків)
e-mail: potashova124@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9310-5474

THE INFLUENCE OF MODERN BIOLOGICAL PRODUCTS ON BEAN YIELD IN THE EASTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE

V. D. Dimov, L. M. Potashova

Against a backdrop of rising costs for energy, fertilisers and plant protection products, resource-efficient cultivation techniques are becoming particularly important; a key element of these is the use of bacterial and biological growth regulators for pre-sowing seed inoculation and foliar feeding of plants. The aim of the study was to determine the effect of pre-sowing treatment of bean seeds with individual biological preparations and their mixtures, in combination with foliar feeding with biofertiliser, on the yield of the Panna and Mavka varieties in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. Field studies were conducted in 2023–2025 on typical heavy loam chernozem on carbonate loess at the 'Dokuchaevsk Experimental Field' Research Centre of the State University of Biotechnology. The experimental design included the following treatments: control (dry seeds); water; potassium humate; Azotix; Azotix + potassium humate; Azotix + potassium humate + a single application of Mega Harvest; Azotix + potassium humate + two applications of Mega Harvest.

It was established that the biological products used had a positive effect on plant density, survival rate, and biometric, symbiotic, photosynthetic and structural parameters. On average, over the three years of the study, the grain yield of the Panna bean variety across the experimental treatments ranged from 1.13 to 1.41 t/ha, for the Mavka variety – from 1.06 to 1.35 t/ha, with the lowest yield in the control group and the highest when Azotix and potassium humate were used for pre-sowing seed treatment and two-time top-dressing of crops with the Mega Harvest biofertiliser. The greatest yield increase was achieved in the variants involving the combined use of biological preparations: 0.28 t/ha or 24.8% for the Panna variety, and 0.29 t/ha or 27.4% for the Mavka variety, compared to the control. We recommend pre-sowing treatment of bean seeds with the biologically active preparations Azotix and Potassium Humate in combination with double foliar feeding with the biofertiliser Mega Harvest during the period of intensive plant growth (the branching and budding phases).

Key words: *beans, biological preparations, pre-sowing seed treatment, foliar feeding, growth, yield.*

Вступ

Квасоля є однією з найбільш теплолюбних зернобобових культур. Тривале похолодання і рясні опади після посіву квасолі, уповільнюють появу сходів і подальші ростові процеси, негативно впливають на утворення симбіозу з бульбочковими бактеріями, призводять до ураження кореневими хворобами (фузаріоз), подовжують вегетацію в рослин, що істотно знижує величину та якість урожаю. Надмірно високі температури, особливо за гострого дефіциту вологи, також не сприяють розвитку симбіотичних взаємин між коренями і ризобіями, спричиняють бактеріальні захворювання (бура плямистість та ін.), пригнічують фотосинтетичну активність листків, часто викликають загибель рослин і в цілому сильно знижують структурні показники врожаю та врожайність квасолі.

Надійним шляхом одержання високоякісної екологічно чистої продукції квасолі є впровадження у виробництво біологічної екологічно безпечної технології. Ця технологія передбачає підсилення функціонування симбіотичної системи шляхом застосування бактеріальних добрив на основі високоефективних штамів бульбочкових бактерій (Шувар та ін., 2014; Крутило та ін., 2016; Труш та ін, 2018; Поташова і Поташов, 2019). Провідну роль у поліпшенні росту і збільшенні врожайності квасолі, поряд із інокуляцією азотфіксуючими бактеріями, мають фізіологічно активні речовин природного походження і мікроелементи у доступній (халатній) формі. Саме названі компоненти містяться у складі сучасних біопрепаратів, які рекламуються багатьма їх виробниками. Одним із них є ТМ «Органиця», яка пропонує для підвищення врожайності квасолі застосовувати такі біопрепарати як Азотікс і Гумат калію для допосівної обробки насіння і Мега врожай для листкового підживлення (Наша…, 2026).

Метою досліджень було вивчення особливостей росту й розвитку рослин та формування врожайності квасолі на основі екологічно безпечних заходів допосівної інокуляції насіння та листкового підживлення біопрепаратами. Головним завданням роботи є вдосконалення елементів технології вирощування квасолі, спрямованих на забезпечення ефективної азотфіксації та поліпшення загального стану рослин і їх стійкості до дії стресорів.

В останні роки дослідження щодо комплексного впливу допосівної обробки

насіння та удобрення на симбіотичну активність, ріст і врожайність квасолі проводилися багатьма вченими (Колісник, 2020; Панчишин та ін., 2021; Didur et al., 2021; Доктор та ін, 2022; Сівак, 2023). Але мінеральні добрива дороговартісні і не завжди окупають витрати на їх придбання і застосування, часто призводять до забруднення довкілля. Біологічно активні препарати, навпаки, відносно дешеві, дозволяють досягти оздоровлення рослин, підвищити їх врожайність та якість продукції, ефективно відновлювати родючість ґрунту, економити добрива і пестициди, прискорювати ріст рослин, зменшувати розмноження шкідливих мікроорганізмів, усувати чинники ґрунтовтоми тощо (Докладніше ..., 2026).

Наукова новизна полягає в узагальнені науково-практичних положень вирощування квасолі звичайної *(Phaseolus vulgaris Savi)*, порівнянні ефективності комплексного використання допосівної обробки та двох листкових підживлень із кількісним узгодженням біометричних і врожайних показників.

Матеріал і методи

Польові дослідження щодо впливу допосівної обробки насіння і листкового підживлення біопрепаратами на ріст, розвиток і врожайність квасолі сортів Панна і Мавка проводилися у 2023–2025 рр. на дослідному полі університету. Ґрунт – чорнозем типовий важкосуглинковий на карбонатному лесі. Схема досліду мала такі варіанти допосівної обробки насіння: 1. Контроль (сухе насіння), 2. Вода, 3. Гумат калію, 4. Азотікс, 5. Азотікс + Гумат калію, 6. Азотікс + Гумат калію + одноразове листкове підживлення Мега врожай, 7. Азотікс + Гумат калію + дворазове листкове підживлення Мега врожай. Загальна площа ділянки – 10 м², облікова – 6 м². Розміщення ділянок – систематичне, повторність – чотириразова. Спосіб сівби – широкорядний (45 см). Норма висіву насіння – 500 тис. шт./га. Обробку насіння проводили в день посіву, перше листкове підживлення – у фазі гілкування, друге – у фазі бутонізації. Біопрепарати застосовували згідно рекомендацій. Сіяли квасолю у травні, коли ґрунт прогрівся до 12 ^{0}С, а збирали врожай у вересні. Протягом вегетації проводили фенологічні спостереження за загально прийнятою методикою (Ермантраут та ін., 2010). Відмічали настання основних фаз росту й розвитку рослин: сходи, перший трійчастий листок, гілкування, бутонізація, цвітіння, утворення бобів, налив бобів, достигання насіння, повна стиглість (ДСТУ 4794:2007; Квасоля..., 2009). У фазі цвітіння відбирали проби рослин для визначення біометричних показників, фотосинтетичної та симбіотичної діяльності. У фазі повної стиглості відбирали снопові зразки для аналізу структури врожаю. Збирання врожаю здійснювали поділяночно. Спостереження за гідротермічними умовами здійснювали протягом шести місяців, щоб охопити періоди не лише вегетації квасолі (травень–серпень), але й підготовки ґрунту до посіву і після збирального дозрівання насіння у снопових зразках. Конкретні показники температури повітря і суми опадів порівнювали з середніми багаторічними даними за 1991–2020 рр. (Поташов і Хижняк, 2025).

Результати

Погодні умови впродовж вегетаційного періоду квасолі характеризувалися певними особливостями і змінювалися по роках досліджень. За даними Метеопосту Харків температура повітря у 2023 р. за період із квітня до вересня по місяцях на 0,7–4,4 ^{0}С перевищувала багаторічний показник. Рясні опади спостерігалися у квітні і липні, що більше за кліматичну норму відповідно на 32,3 і 37,2 мм; в інші місяці відмічений їх певний дефіцит у межах 11,8–39,7 мм. Сумарна кількість опадів за шість місяців вегетаційного періоду становила 264,4 мм, а за літні місяці – 163,1 мм.

Температура повітря у 2024 р. по місяцях вегетаційного періоду перевищувала багаторічний показник на 2,1–5,3 ^{o}С, лише травень виявився прохолоднішим на 1,0 ^{o}С. Дефіцит опадів спостерігався впродовж усього вегетаційного періоду і коливався в межах 19,5–48,3 мм. Особливо посушливими виявилися травень, липень, серпень і вересень. Сумарно за півроку досліджень випало рекордно мало опадів – 104,3 мм, а за період червень – серпень – лише 74,8 мм; кліматична норма – 309,2 і 177,4 мм відповідно. Погодні умови вегетаційного періоду 2025 р. не мали різких перепадів температур. Квітень, липень і вересень були теплішими відповідно на 1,9, 2,6 і 1,2 ^{o}С, а травень, червень і серпень – прохолоднішими на 1,0, 1,4 і 0,8 ^{o}С за багаторічний показник. Нестача опадів спостерігалася у квітні, червні і вересні відповідно 8,7, 32,5 і 21,8 мм, а їх перевищення відмічене у травні, липні і серпні на 13,0, 10,9 і 22,1 мм відносно кліматичної

норми. Сумарна кількість опадів за період квітень–вересень становила 292,2 мм, а за три місяці літа – 155,8 мм.

У середньому за три роки досліджень густота сходів по варіантах досліду у сорту Панна коливалася від 40,5 до 41,6 шт./м^2, польова схожість насіння – від 81,0 до 83,2 %; у сорту Мавка вони виявилися дещо меншими 38,8–41,0 шт./м^2 і 77,6–82,0 % відповідно. Найменшими зазначені показники відмічені на контролі, найбільшими – за сумісної допосівної обробки насіння біопрепаратами Азотікс і Гумат калію (табл. 1).

Густота рослин перед збиранням урожаю по варіантах досліду у сорту Панна змінювалася від 29,9 до 33,6 шт./м^2, у сорту Мавка – від 25,7 до 29,5 шт./м^2. Виживаність рослин у сорту Панна варіювала в межах 73,8–80,8 %, у сорту Мавка – 66,2–72,0 %. В обох сортів квасолі мінімальна густота рослин перед збиранням урожаю зафіксована на контрольних варіантах, максимальна – за допосівної обробки насіння сумішшю Азотіксу й Гумату калію та додаткового дворазового підживлення посівів біодобривом Мега врожай. Подібна закономірність простежувалася щодо виживаності рослин: найменша – на контролі, найбільша – за комплексного використання біопрепаратів.

У середньому за три роки досліджень висота рослин у фазі цвітіння квасолі сорту Панна по варіантах досліду змінювалися від 42,5 до 47,7 см, їх сира надземна маса – від 46,5 до 58,8 г, коренів – від 2,9 до 3,7 г; у сорту Мавка вони коливалися відповідно в межах 38,5–47,1 см, 33,9–86,6 і 3,1–6,9 г (табл. 2).

Найменші біометричні показники по обох сортах квасолі зафіксовані на контролі, а найбільші – на варіантах Азотікс + Гумат калію для допосівної обробки насіння та Мега врожай для дворазового листкового підживлення посівів. Кращу реакцію щодо збільшення біометричних показників через запропоновані заходи показав сорт Мавка, тоді як у сорту Панна зміни виявилися менш помітними.

Квасоля завдяки симбіозу з ризобіями може використовувати атмосферний азот, забезпечуючи ним себе і покращуючи баланс азоту у ґрунті. Азот необхідний рослинам для синтезу нуклеїнових кислот, амінокислот, білків, алкалоїдів, хлорофілу, деяких фітогормонів, вітамінів тощо. Симбіотична і фотосинтетична діяльність тісно пов'язані

Таблиця 1

Густота, польова схожість і виживаність рослин квасолі залежно від допосівної обробки насіння та листкового підживлення. Середнє за 2023–2025 рр.

Допосівна обробка насіння	**Листкове підживлення**	**Густота, шт./м^2**		**Польова схожість, %**	**Виживаність, %**
		сходи	**збір**		
Сорт Панна					
Контроль	–	40,5	29,9	81,0	73,8
Вода	–	40,8	30,6	81,6	75,0
Гумат калію	–	41,4	32,3	82,8	78,0
Азотікс	–	41,2	31,8	82,4	77,2
Азотікс+Гумат калію	–	41,6	32,9	83,2	79,1
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	41,6	33,3	83,2	80,0
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	41,6	33,6	83,2	80,8
Сорт Мавка					
Контроль	–	38,8	25,7	77,6	66,2
Вода	–	39,1	26,0	78,2	66,5
Гумат калію	–	40,3	27,3	80,6	67,7
Азотікс	–	40,2	27,6	80,4	68,6
Азотікс + Гумат калію	–	41,0	28,8	82,0	70,2
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	41,0	29,1	82,0	71,0
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	41,0	29,5	82,0	72,0

Таблиця 2

Біометричні показники квасолі у фазі цвітіння залежно від допосівної обробки насіння та листкового підживлення. Середнє за 2023–2025 рр.

Допосівна обробка насіння	**Листкове підживлення**	**Висота рослин, см**	**Сира маса однієї рослини, г**	
			надземна	**коренів**
Сорт Панна				
Контроль	–	42,5	46,5	2,9
Вода	–	42,8	48,1	3,0
Гумат калію	–	43,3	51,6	3,3
Азотікс	–	43,8	51,3	3,3
Азотікс + Гумат калію	–	45,8	54,4	3,4
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	46,8	57,1	3,6
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	47,7	58,8	3,7
Сорт Мавка				
Контроль	–	38,5	33,9	3,1
Вода	–	39,7	39,5	3,2
Гумат калію	–	42,3	42,2	3,8
Азотікс	–	44,3	51,5	4,9
Азотікс + Гумат калію	–	44,6	55,9	5,5
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	45,5	68,6	6,0
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	47,1	86,6	6,9

між собою: бульбочкові бактерії забезпечують рослини фіксованим із повітря азотом, а ризобії отримують від них вуглеводи.

У результаті трирічних досліджень встановлено, що кількість бульбочок у перерахунку на одну рослину по варіантах досліду у квасолі сорту Панна змінювалася від 5,2 до 49,5 шт., їх сира маса – від 21,6 до 188,9 мг; у сорту Мавка вони коливалися відповідно в межах 5,5-22,1 шт. і 39,1-203,3 мг. Найменша кількість і маса бульбочок на коренях рослин по обох сортах квасолі відмічена на контролі, найбільша – за допосівної інокуляції насіння сумішшю Азотіксу і Гумату калію та подальшого дворазового підживлення посівів біодобривом Мега врожай (табл. 3).

Площа листків однієї рослини в середньому за три роки досліджень у квасолі сорту Панна по варіантах досліду збільшувалася від 769 до 1178 см^2, а площа листків її посіву – від 24,3 до 41,2 тис. м^2/га. У сорту Мавка ці показники фотосинтетичної діяльності відповідно зростали від 783 до 1302 см^2 і від 26,0 до 47,2 тис. м^2/га. Мінімальна площа листків на одній рослині і в посіві квасолі зафіксована на контрольному варіанті, максимальна – за комплексного використання біопрепаратів.

Аналіз елементів структури врожаю дає можливість з'ясувати, які з них формують урожайність зерна квасолі. Протягом трирічних досліджень встановлено, що у сорту Панна кількість бобів на одній рослині по варіантах досліду змінювалася в межах 5,7–6,4 шт., кількість зерен – 17,5–21,4 шт., зерен у бобі – 3,0–3,3 шт., маса 1000 зерен – 228–234 г, маса зерна з однієї рослини – 4,19–5,16 г. У сорту Мавка кількість бобів на одній рослині коливалася в межах 9,0–9,9 шт., зерен – 24,6–30,0 шт., зерен у бобі – 2,9–3,3 шт., маса 1000 зерен – 159–170 г, маса зерна з однієї рослини – 4,11–5,25 г (табл. 4).

Кращі показники структури врожаю по обох сортах квасолі сформувалися за використання інокулянтів Азотікс і Гумат калію для допосівної обробки насіння із дворазовим підживленням посівів біодобривом Мега врожай.

Формування врожаю квасолі сорту Панна відрізнялося по роках досліджень. Якщо 2023 р. виявився відносно сприятливим для процесів цвітіння, формування і наливу бобів, достигання насіння, то у 2024 р. ці етапи росту відбувалися за надзвичайно високих температур і тривалого гострого

Таблиця 3

Симбіотична і фотосинтетична діяльність рослин квасолі у фазі цвітіння залежно від допосівної обробки насіння та листкового підживлення (у перерахунку на одну рослину). Середнє за 2023–2025 рр.

Допосівна обробка насіння	**Листкове підживлення**	**Бульбочки**		**Площа листків**	
		кількість, шт.	**сира маса, мг**	**см²**	**тис. м²/ га**
Сорт Панна					
Контроль	–	5,2	21,6	769	24,3
Вода	–	5,6	23,1	802	25,7
Гумат калію	–	6,9	29,3	914	30,7
Азотікс	–	14,5	52,7	904	30,1
Азотікс + Гумат калію	–	23,9	107,3	978	33,5
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	33,4	151,1	1067	37,1
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	49,5	188,9	1178	41,2
Сорт Мавка					
Контроль	–	5,5	39,1	783	26,0
Вода	–	6,6	39,8	860	28,7
Гумат калію	–	8,9	61,1	969	33,3
Азотікс	–	12,5	129,4	1005	35,2
Азотікс + Гумат калію	–	17,3	182,6	1136	40,8
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	18,4	195,1	1221	44,0
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	22,1	203,3	1302	47,2

Таблиця 4

Структура врожаю квасолі залежно від допосівної обробки насіння та листкового підживлення. Середнє за 2023–2025 рр.

Допосівна обробка насіння	**Листкове підживлення**	**Кількість, шт.**			**Маса, г**	
		бобів	**зерен**	**зерен у бобі**	**1000 зерен**	**зерна з рослини**
Сорт Панна						
Контроль	–	5,7	17,5	3,0	228	4,19
Вода	–	5,8	18,1	3,1	230	4,36
Гумат калію	–	6,0	18,8	3,1	232	4,54
Азотікс	–	6,0	19,1	3,1	232	4,61
Азотікс + Гумат калію	–	6,2	20,1	3,2	233	4,88
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	6,3	20,6	3,2	234	5,01
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	6,4	21,4	3,3	234	5,16
Сорт Мавка						
Контроль	–	9,0	24,6	2,9	159	4,11
Вода	–	9,1	25,4	3,0	160	4,29
Гумат калію	–	9,2	26,6	3,1	162	4,55
Азотікс	–	9,2	27,1	3,1	164	4,69
Азотікс + Гумат калію	–	9,4	28,2	3,2	168	5,01
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	9,8	29,4	3,2	169	5,25
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	9,9	30,0	3,3	170	5,41

дефіциту вологи, що сильно знизило врожай. У 2025 р. формуванню високої врожайності квасолі завадила прохолодна погода травня і червня, що негативно вплинуло не лише на густоту сходів, але й подальший ріст і розвиток рослин.

У 2023 р. врожайність зерна квасолі сорту Панна по варіантах досліду коливалася від 2,02 до 2,40 т/га, у сорту Мавка – від 1,93 до 2,34 т/га. У 2024 р. вона виявилася дуже низькою – в межах 0,42–0,62 і 0,35–0,50 т/га, а у 2025 р. хоч і збільшилася у порівнянні з попереднім роком, але все ж таки була низькою – 0,95–1,21 і 0,90–1,20 т/га відповідно (табл. 5).

У середньому за три роки досліджень урожайність зерна квасолі сорту Панна по варіантах досліду коливалася від 1,13 до 1,41 т/га, у сорту Мавка – від 1,06 до 1,35 т/га із мінімумом на контролі і максимумом за використання Азотіксу і Гумату калію для допосівної обробки насіння та дворазового підживлення посівів біодобривом Мега врожай. На варіантах комплексного застосування біопрепаратів отримали найбільший приріст урожайності: у сорту Панна 0,28 т/га або 24,8 %, у сорту Мавка 0,29 т/га або 27,4 % у порівнянні з контролем. На інших варіантах досліду приріст урожайності у сорту Панна змінювався в межах 0,04–0,24 т/га або 3,5–24,8 %, у сорту Мавка – 0,03–0,23 т/га або 2,8–21,7 %.

Обговорення

У 2023 р. склалися відносно сприятливі погодні умови для вирощування квасолі сортів Панна і Мавка, тому проявився добрий ефект від застосування біопрепаратів: отримали високу врожайність зерна із найбільшим її приростом у порівнянні з контролем. У 2024 р. початкові етапи росту квасолі відбувалися за дещо прохолодної погоди, а потім її вегетація тривала за гострого дефіциту опадів і надмірно високих температур. Це істотно пригнітило ростові процеси, обумовило дуже низьку врожайність та її малий приріст від використання біопрепаратів у порівнянні з контролем. У 2025 р. від сходів до цвітіння стояла відносно прохолодна погода, що негативно вплинуло на ріст і розвиток та формування зернової

Таблиця 5

Урожайність квасолі залежно від допосівної обробки насіння та листкового підживлення

Допосівна обробка насіння	**Листкове підживлення**	**Урожайність по роках, т/га**				**Приріст**	
		2023	**2024**	**2025**	**Середня**	**т/га**	**%**
Сорт Панна							
Контроль	–	2,02	0,42	0,95	1,13	-	-
Вода	–	2,08	0,44	0,98	1,17	0,04	3,5
Гумат калію	–	2,27	0,52	1,11	1,30	0,17	15,0
Азотікс	–	2,23	0,52	1,09	1,28	0,15	13,3
Азотікс + Гумат калію	–	2,30	0,58	1,14	1,34	0,21	18,6
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	2,33	0,60	1,18	1,37	0,24	21,2
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	2,40	0,62	1,21	1,41	0,28	24,8
$НІР_{05}$		0,09	0, 03	0,06			
Сорт Мавка							
Контроль	–	1,93	0,35	0,90	1,06	-	-
Вода	–	1,98	0,37	0,93	1,09	0,03	2,8
Гумат калію	–	2,10	0,41	1,01	1,17	0,11	10,4
Азотікс	–	2,16	0,41	1,04	1,20	0,14	13,2
Азотікс + Гумат калію	–	2,22	0,45	1,12	1,26	0,20	18,9
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай одноразове	2,25	0,47	1,15	1,29	0,23	21,7
Азотікс + Гумат калію	Мега врожай дворазове	2,34	0,50	1,20	1,35	0,29	27,4
$НІР_{05}$		0,08	0,03	0,05			

продуктивності квасолі, знизило величину приросту врожайності при внесенні біопрепаратів.

Подібні дослідження з вивчення впливу передпосівної обробки насіння інокулянтом та позакореневих підживлень проведені на нуті сорту Пегас (Дідур і Мордванюк, 2018). Встановлено, що за умов обробки насіння інокулянтом Біомаг нут та дворазового підживлення мікродобривом Урожай Бобові збільшуються показники польової схожості, густоти стояння, коефіцієнту збереження рослин, що позитивно впливає на зернову продуктивність. У середньому за 2016–2017 рр. урожайність зерна нуту становила 2,76 т/га, а приріст до контролю – 0,86 т/га.

У свіжій статті (Тріус та ін., 2026) представлено результати досліджень щодо впливу передпосівної інокуляції насіння препаратом Ризогумін та систем позакореневого підживлення стимуляторами Гуміфілд ВР-18 і Фульвігрін Бор на формування продуктивності сої сорту Сіверка в умовах Лісостепу України протягом 2024–2025 рр. Встановлено, що застосування інтегрованої схеми обробки забезпечило формування найвищих середніх показників індивідуальної продуктивності: кількості бобів (12,8 шт.), кількості насінин на рослині (26,1 шт.) та маси зерна з рослини (4,85 г). Середня врожайність у даному варіанті досягла 2,88 т/га, а маса 1000 насінин – 185,5 г, що перевищувало показники контролю на 11,6% та 14,9 г відповідно.

На перспективу варто провести дослідження щодо впливу на ріст, розвиток і врожайність квасолі сучасних поліфункціональних адаптогенів, на кшталт Грантас аміно антистрес від ТМ Органиця.

Висновки

Застосування в технології вирощування квасолі сумісної допосівної обробки насіння біопрепаратами від ТМ «Органиця» Азотікс і Гумат калію та подальшого дворазового підживлення посівів біодобривом Мега врожай позитивно впливає на ростові процеси і формування врожайності навіть за екстремальних погодних умов. Трирічні дослідження свідчать про те, що використання біопрепаратів сприяло підвищенню густоти і виживаності рослин у сортів Панна і Мавка. В обох сортів квасолі мінімальні показники зафіксовані на контролі, максимальні – за допосівної обробки насіння сумішшю Азотіксу й Гумату калію та дворазового підживлення посівів біодобривом Мега врожай. Застосовані біопрепарати позитивно вплинули також на біометричні, симбіотичні та фотосинтетичні показники рослин. Аналіз структури врожаю показав, що у сорту Панна кількість бобів на одній рослині по варіантах досліду змінювалася в межах 5,7–6,4 шт., кількість зерен – 17,5–21,4 шт., зерен у бобі – 3,0–3,3 шт., маса 1000 зерен – 228–234 г, маса зерна з однієї рослини – 4,19–5,16 г. У сорту Мавка кількість бобів на одній рослині коливалася в межах 9,0–9,9 шт., зерен – 24,6–30,0 шт., зерен у бобі – 2,9–3,3 шт., маса 1000 зерен – 159–170 г, маса зерна з однієї рослини – 4,11–5,25 г. Найменші структурні показники врожаю сформувалися на контролі, найбільші – за комплексного використання біопрепаратів. Урожайність зерна квасолі сорту Панна по варіантах досліду коливалася від 1,13 до 1,41 т/га, у сорту Мавка – від 1,06 до 1,35 т/га із мінімумом на контролі і максимумом за використання Азотіксу і Гумату калію для допосівної обробки насіння та дворазового підживлення посівів біодобривом Мега врожай. На варіантах комплексного застосування біопрепаратів отримали найбільший приріст урожайності: у сорту Панна 0,28 т/га або 24,8 %, у сорту Мавка 0,29 т/га або 27,4 % у порівнянні з контролем. Рекомендуємо здійснювати допосівну обробку насіння квасолі біологічно активними препаратами Азотікс і Гумат калію у комплексі з подвійним листковим підживленням біодобривом Мега врожай у період інтенсивного росту рослин (фази гілкування та бутонізації).

Список використаної літератури

ДСТУ 4794:2007. Квасоля. Технологія вирощування. Загальні умови. Київ: Держстандарт України, 2009. 10 с.

Дідур І.М., Мордванюк М.О. Вплив інокуляції насіння та позакореневих підживлень на індивідуальну продуктивність рослин нуту в умовах лісостепу правобережного. *Сільське господарство і лісівництво.* 2018. № 11. С. 26–35.

Докладніше про біопрепарати. [Електронний ресурс]. URL: https://ifarming.ua›dokladnishe-pro-biopreparaty (дата звернення 25.03.2026).

Доктор Н.М., Новицька Н.В., Кормош С.М., Пилипенко В.С., Мартинов О.В. Урожайність квасолі звичайної (Phaseolus vulgaris L.) залежно від інокуляції та удобрення в умовах Закарпаття України. *Аграрні інновації.* 2022. № 13. С. 53–57. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.8.

Ермантраут Е.Р., Малиновський А.С., Дідора В.Г. Методика наукових досліджень в агрономії: навч. посібник. Житомир: ЖНАЕУ, 2010. 124 с.

Колісник О.М. Урожайність насіння квасолі залежно від удобрення та застосування інокуляції насіння в умовах правобережного Лісостепу України. *Sciences of Europa.* 2020. Vol. 1. № 50. С. 3–13.

Крутило Д.В., Надкренична О.В., Іванюк С.В., Куц О.В. Ефективність біопрепаратів на основі нового штаму Rhizobium phaseoli фб1 за вирощування квасолі. *Вісник аграрної науки.* 2016. Березень. С. 58–62.

Наша продукція – Organica. [Електронний ресурс]. URL: https://organica.org.ua/shop/?srsltid=AfmBOorOzZyl1nMFjeblgr17fomirLlqWuEdTVFhX92HAZeHr7CWsPcE (дата звернення 25.03.2026).

Панчишин В.З., Стоцька С.В., Мойсієнко В.В., Фоміна О.П. Продуктивність квасолі звичайної (Phaseolus vulgaris) залежно від елементів технології вирощування. *Таврійський наук. вісник.* 2021. Вип. 118. С. 145–151. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.18.

Поташов Ю.М., Хижняк С.Ю. Агрометеорологічні спостереження в Харківському НАУ імені В.В. Докучаєва. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва*: мат-ли IX Міжнар. наук.-прак. конф., 28 листопада 2025 р. Харків: ДБТУ, 2025. С. 293–295.

Поташова Л.М., Поташов Ю.М. Вплив способів допосівної обробки насіння і погодних умов на врожайність штамбових сортів квасолі. *Вісник ХНАУ. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання».* 2019. № 1. С.125–132.

Сівак Н.В. Шляхи підвищення продуктивності квасолі звичайної за рахунок мінерального удобрення і біологічних препаратів в умовах Лісостепу Західного: дис. на здобуття наук. ступеня доктора філософії. Кам'янець-Подільський, 2023. 156 с.

Триус В. О., Бутенко А.О., Готвянська А.С., Сологуб І.М. Продуктивність сої під впливом удобрювальних продуктів в умовах Північно-східного Лісостепу України. *Український журнал природничих наук.* 2026. № 15. С. 215–223. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.21

Труш О.К., Бобро М.А., Рожков А.О. Вплив передпосівної обробки бактеріальними препаратами насіння квасолі на основні елементи структури врожаю. *Селекція і насінництво.* 2018. № 114. С. 120–127.

Шувар А.М., Свідерко М.С., Беген Л.Л., Терешко Р.В. Урожай і якість зерна квасолі залежно від застосування біологічних препаратів. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2014. Вип. 56. С. 183–190.

Didur I., Chynchyk O., Pantsyreva H. et. al. Effect of fertilizers for Phaseolus vulgaris L. productivity in Western Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2021. Vol. 11. Iss. 1. P. 419–424. https://doi.org/10.15421/2021.61.

References

DSTU 4794:2007 (2009). Kvasolia. Tekhnolohiia vyroschuvannia. Zahal'ni umovy [Beans. Growing techniques. General conditions]. Kyiv: State Standards Service of Ukraine [in Ukrainian].

Didur, I.M., & Mordvaniuk, M.O. (2018). Vplyv inokuliatsii nasinnia ta pozakorenevykh pidzhyvlen na indyvidualnu produktyvnist roslyn nutu v umovakh lisostepu pravoberezhnoho [The Effect of Seed Inoculation and Foliar Fertilization on the Individual Productivity of Chickpea Plants in the Forest-Steppe Zone of the Right Bank]. *Silske hospodarstvo i lisivnytstvo [Agriculture and Forestry],* 11, 26–35. [in Ukrainian].

Dokladnishe pro biopreparaty [More information about biological products]. [Electronic resource]. URL: https://ifarming.ua›dokladnishe-pro-biopreparaty (access date 25.03.2026) [in Ukrainian].

Doktor, N.M., Novytska, N.V., Kormosh, S.M., Pylypenko, V.S., & Martynov, O.V. (2022). Urozhainist kvasoli zvychainoi (Phaseolus vulgaris L.) zalezhno vid inokuliatsii ta udobrennia v umovakh Zakarpattia Ukrainy [Yield of common beans (Phaseolus vulgaris L.) depending on inoculation and fertilization in the Transcarpathian region of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii [Agricultural innovations],* 13, 53–57. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.8 [in Ukrainian].

Ermantraut, E.R., Malynovs'kyj, A.S., & Didora, V.H. (2010). Metodyka naukovykh doslidzhen' v ahronomi: navch. posibnyk [Research Methods in Agronomy: A Study Guide]. Zhytomyr: ZhNAEU [in Ukrainian].

Kolisnyk, O.M. (2020). Urozhainist nasinnia kvasoli zalezhno vid udobrennia ta zastosuvannia inokuliatsii nasinnia v umovakh pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Yield of bean seeds depending on fertilization and seed inoculation in the Right-Bank Forest-Steppe region of Ukraine]. *Sciences of Europa*, 1 (50), 3–13. [in Ukrainian].

Krutylo, D.V., Nadkrenychna, O.V., Ivaniuk, S.V., & Kuts, O.V. (2016). Efektyvnist biopreparativ na osnovi novoho shtamu Rhizobium phaseoli fb1 za vyroshchuvannia kvasoli [The effectiveness of biological products based on the new Rhizobium phaseoli fb1 strain in bean cultivation]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Journal of Agricultural Science],* march, 58–62 [in Ukrainian].

Nasha produktsiia – Organica [Our products – Organica]. [Electronic resource]. URL: https://organica.org.ua/shop/?srsltid=AfmBOorOzZyl1nMFjeblgr17fomirLlquEdTVFhX92HAZeHr7CWsPcE (access date 25.03.2026) [in Ukrainian].

Panchyshyn, V.Z., Stotska, S.V., Moisiienko, V.V., & Fomina, O.P. (2021). Produktyvnist kvasoli zvychainoi (Phaseolus vulgaris) zalezhno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia [Yield of common beans (Phaseolus vulgaris) depending on cultivation practices]. *Tavriiskyi nauk. Visnyk [Tavriya Scientific Bulletin]*, 118, 145–151. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.18 [in Ukrainian].

Potashov, Yu.M., & Khyzhniak, S.Yu. (2025). Ahrometeorolohichni sposterezhennia v Kharkivskomu NAU imeni V.V. Dokuchaieva [Agrometeorological Observations at the V.V. Dokuchaev Kharkiv National Agricultural University]. *Naukovi zasady pidvyshchennia efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva: mat-ly IX Mizhnar. nauk.-prak. konf. [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference "Scientific Foundations for Improving the Efficiency of Agricultural Production"].* November 28, 2025. Kharkiv: DBTU, pp. 293–295 [in Ukrainian].

Potashova, L.M., & Potashov, Yu.M. (2019). Vplyv sposobiv doposivnoi obrobky nasinnia i pohodnykh umov na vrozhainist shtambovykh sortiv kvasoli [The Effect of Pre-Sowing Seed Treatment Methods and Weather Conditions on the Yield of Dwarf Bean Varieties]. *Visnyk KhNAU. Seriia «Roslynnytstvo, selektsiia i nasinnytstio, plodoovochivnytstvo i zberihannia» [Bulletin of Kharkiv National Agricultural University. Series "Crop Production, Plant Breeding and Seed Production, Fruit and Vegetable Growing, and Storage"],* 1, 125–132 [in Ukrainian].

Sivak, N.V. (2023). Shliakhy pidvyshchennia produktyvnosti kvasoli zvychainoi za rakhunok mineralnoho udobrennia i biolohichnykh preparativ v umovakh Lisostepu Zakhidnoho. Dys. na zdobuttia nauk. stupenia doktora filosofii [Ways to Increase the Yield of Common Beans Through the Use of Mineral Fertilizers and Biological Preparations in the Western Forest-Steppe Region. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy]. Kamianets-Podilskyi [in Ukrainian].

Tryus, V. O., Butenko, A.O., Hotvianska, A.S., & Solohub, I.M. (2026). Produktyvnist soi pid vplyvom udobriuvalnykh produktiv v umovakh Pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Soybean Yields Under the Influence of Fertilizers in the Northeast Forest-Steppe Region of Ukraine]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences],* 15, 215–223. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.21 [in Ukrainian].

Trush, O.K., Bobro, M.A., & Rozhkov, A.O. (2018). Vplyv peredposivnoi obrobky bakterialnymy preparatamy nasinnia kvasoli na osnovni elementy struktury vrozhaiu [Soybean Yields Under the Influence of Fertilizers in the Northeastern Forest-Steppe Region of Ukraine]. *Selektsiia i nasinnytstvo [Breeding and Seed Production],* 114, 120–127 [in Ukrainian].

Shuvar, A.M., Sviderko, M.S., Behen, L.L., & Tereshko, R.V. (2014). Urozhai i yakist zerna kvasoli zalezhno vid zastosuvannia biolohichnykh preparativ [Yield and grain quality of beans depending on the use of biological products]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Farming and livestock raising in foothill and mountainous regions],* 56, 183–190 [in Ukrainian].

Didur, I., Shynchyk, O., & Pantsyreva, H. et. al. (2021). Effect of fertilizers for Phaseolus vulgaris L. productivity in Western Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology,* 11 (1), 419–424. https://doi.org/10.15421/2021.61 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.11:631.8
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.18

РЕАКЦІЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ МУДРІСТЬ ОДЕСЬКА НА КОМПЛЕКСНІ ПРЕПАРАТИ

Р. Г. Мешко[1], І. І. Ярчук[2]

В умовах північного Степу України реалізація продуктивного потенціалу пшениці м'якої озимої істотно залежить від поєднання мінерального живлення, водного режиму та застосування фізіологічно активних речовин. У сучасних технологіях найбільш активно використовуються комплексні (полікомпонентні) препарати, що поєднують поживні, регуляторні та антистресові компоненти і здатні підтримувати фізіологічний стан рослин у критичні періоди органогенезу. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення та стабілізації врожайності пшениці озимої за посушливих умов, коли дефіцит продуктивної вологи обмежує кущення, засвоєння елементів живлення та налив зерна.

Метою роботи було оцінити ефективність поєднання різних фонів мінерального живлення з комплексними препаратами у технології вирощування пшениці озимої сорту Мудрість Одеська та встановити їх вплив на формування урожайності і елементів структури врожаю. Дослідження проведено у польовому досліді на дослідному полі Дніпровського державного аграрно-економічного університету протягом 2023–2025 рр. Схема досліду включала 10 варіантів: контроль без добрив і препаратів; фонові елементи удобрення (P_{10} та $N_{45}P_{45}K_{45}$ в основне внесення) і підживлення N30 по мерзло-талому ґрунту; а також комбінації з препаратами ВітаСтар РК+S (Вітастар), Антистрес, Поліамід, Дефенс та лінійкою NewPlant iQ (NEO, Стимулін, UNI), що застосовувалися у різні строки. Оцінювали стан рослин на час припинення осінньої вегетації, елементи структури врожаю (продуктивний стеблостій, маса зерна з колоса, маса 1000 насінин) та урожайність зерна з перерахунком на стандартну вологість 14%. Встановлено, що у фазу припинення осінньої вегетації визначальним чинником формування біометричних показників був рівень фонового мінерального живлення: за повного удобрення $N_{45}P_{45}K_{45}$ у поєднанні з підживленням N30 маса 100 абсолютно сухих рослин зростала до 4,7–4,8 г, висота – до 13,7–14,3 см, формувалися вузлові корені (1,8–1,9 шт.) і оптимальні параметри залягання вузла кущення (0,8–1,0 см), що створювало передумови для кращої перезимівлі. За середніми показниками 2024–2025 рр. максимальну урожайність забезпечила схема $N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту) + Поліамід (навесні) – 3,93 т/га, що на 1,88 т/га перевищувало контроль. Близький результат отримано на варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ + N_{30}

[1] аспірант кафедри агрохімії
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: roma140718@gmail.com
ORCID: 0009-0004-6309-7572
[2] доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри агрохімії
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: i.i.yarchuk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8107-0582

(3,90 т/га). Мінімальний фон удобрення P_{10} + N_{30} забезпечував 3,65 т/га; поєднання цього фону з комплексом препаратів підвищувало урожайність до 3,68 т/га. Варіанти, де застосовували переважно препарати без мінеральних добрив, у середньому не забезпечували істотної прибавки та в окремих випадках знижували урожайність.Наукова новизна полягає у комплексній оцінці ефективності полікомпонентних препаратів на різних фонах мінерального живлення за умов дефіциту вологи та у встановленні кількісного внеску технологічних комбінацій у формування продуктивного стеблостою і кінцевої урожайності. Практична значущість результатів полягає в обґрунтуванні доцільності застосування комплексних препаратів як складової інтегрованої системи живлення; максимальний ефект досягається за достатнього забезпечення NPK і раціонального поєднання підживлення N_{30} з препаратами антистресової та стимулювальної дії.

Ключові слова: *зернова продуктивність, мінеральне живлення, NPK, полікомпонентні препарати, осінній розвиток, структура врожаю, посушливі умови, північний Степ.*

RESPONSE OF WINTER WHEAT CULTIVAR MUDRIST ODESKA TO COMPLEX PREPARATIONS

R. H. Meshko, I. I. Yarchuk

Under the Northern Steppe conditions of Ukraine, the realization of soft winter wheat yield potential strongly depends on mineral nutrition, water regime and the use of physiologically active substances. Modern technologies increasingly employ complex (multicomponent) preparations that combine nutritional, regulatory and anti-stress components and are expected to support plant physiology during critical stages of organogenesis. The relevance of this research is driven by the need to increase and stabilize winter wheat productivity under drought-prone conditions, when moisture deficit restricts tillering, nutrient uptake and grain filling. The purpose of the study was to evaluate the efficiency of combining different mineral nutrition backgrounds with complex preparations in the cultivation technology of the winter wheat cultivar Mudrist Odeska and to determine their impact on grain yield and yield structure elements. Field experiments were conducted at the experimental field of Dnipro State Agrarian and Economic University during 2023–2025. The experimental design included 10 treatments: an unfertilized and untreated control; fertilization backgrounds (basic P_{10} or complete $N_{45}P_{45}K_{45}$) and spring top-dressing N_{30} on thawed soil; and combinations with VitaStar PK+S, Antistress, Polyamide, Defense and the NewPlant iQ line (NEO, Stymulin, UNI) applied at different timings. Autumn plant status (at the end of autumn vegetation), yield structure (productive stems, grain weight per spike, 1000-grain weight) and grain yield recalculated to 14% moisture were assessed.The results demonstrated that autumn biometrics were primarily determined by the mineral background: under complete fertilization $N_{45}P_{45}K_{45}$ combined with N_{30} top-dressing, the mass of 100 absolutely dry plants increased to 4.7–4.8 g, plant height to 13.7–14.3 cm, nodal roots were formed (1.8–1.9 per plant), and favorable tillering node depth (0.8–1.0 cm) was observed, indicating better preparation for overwintering. According to the mean yield for 2024–2025, the maximum grain yield was obtained for the treatment $N_{45}P_{45}K_{45}$ (basic) + VitaStar (pre-sowing) + Antistress (autumn) + N_{30} (thawed soil) + Polyamide (spring), reaching 3.93 t/ha, which exceeded the control by 1.88 t/ha. A similar yield level was achieved under $N_{45}P_{45}K_{45}$ + N_{30} (3.90 t/ha). Reduced fertilization P_{10} + N_{30} provided 3.65 t/ha, while adding the preparation complex increased yield to 3.68 t/ha. Treatments relying mainly on preparations without mineral fertilization produced minor or unstable effects and in some cases decreased yield. Scientific novelty consists in an integrated evaluation of multicomponent preparations across contrasting nutrient backgrounds under moisture deficit and in quantifying the contribution of technological combinations to the formation of productive stem density and final grain yield. Practical significance lies in substantiating the feasibility of using complex preparations as part of integrated nutrient management; the maximum effect is achieved under adequate NPK supply and rational combination of N30 top-dressing with anti-stress and stimulatory components.

Key words: *grain productivity, mineral nutrition, NPK, multicomponent preparations, autumn development, yield structure, drought stress, Northern Steppe.*

Вступ

Прискорене нарощування виробництва продовольчого та фуражного зерна пшениці озимої (Triticum aestivum L.) можливе лише за умови використання науково обґрунтованих технологій. Високопродуктивні агроценози формуються за оптимального поєднання сортових особливостей, системи удобрення, захисту та регуляції росту. Для північного Степу України характерна

висока міжрічна варіабельність опадів і температур, що призводить до періодичних посух у критичні фази розвитку культури. У таких умовах навіть ефективні елементи технології можуть давати нестійкий ефект: за дефіциту вологи знижується засвоєння елементів живлення, обмежується кущення, погіршується налив зерна, що в підсумку зменшує врожайність і погіршує якість продукції. Сучасні комплексні препарати позиціонуються як засоби, що підвищують стійкість рослин до стресів і оптимізують фізіологічний стан, покращують живлення за рахунок макро- і мікроелементів, амінокислот, гумінових речовин та інших біоактивних компонентів. Однак практичний результат їх застосування значною мірою залежить від вихідного рівня мінерального живлення: якщо ґрунт і технологія не забезпечують необхідного фонового постачання N, P і K, біостимулюючі компоненти можуть не реалізувати потенціал. Тому актуальним є встановлення ефективності комплексних препаратів саме у системі мінерального живлення та визначення раціональних комбінацій для конкретних умов зони (Вінюков та ін., 2018; Вернера, 2024; Поспєлова та ін., 2024; Юрченко і Палазюк, 2025).

Інтенсифікація технології вирощування пшениці озимої супроводжується пошуком рішень, що забезпечують поєднання високої продуктивності з екологічною та економічною доцільністю. У літературі комплексні (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015; Sharma et al., 2020; Шейко, 2023; Хоміна і Шейко, 2023; Поспєлова та ін., 2024; Заєць та ін., 2024; Pathak et al., 2024) препарати розглядають як композиції речовин різної хімічної природи, які здатні одночасно впливати на забезпечення рослин елементами живлення, активність ферментних систем, перебіг фотосинтезу, антиоксидантний статус і адаптацію до абіотичних чинників. Показано, що поєднання систем удобрення з біоактивними добавками може підвищувати фотосинтетичний потенціал, зберігати асиміляційну поверхню, покращувати якісні показники зерна та стабілізувати врожайність у стресові роки (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015; Sharma et al., 2020; Шейко, 2023; Хоміна і Шейко, 2023; Поспєлова та ін., 2024; Заєць та ін., 2024; Pathak et al., 2024). Водночас у низці робіт наголошується, що ефективність біостимуляторів та мікродобрив суттєво зростає за оптимального фону NPK. За дефіциту основних елементів живлення або в умовах гострої посухи спостерігається обмеження реакції, а іноді – лише «косметичний» ефект без істотної прибавки урожаю. Таким чином, наукове завдання полягає у кількісній оцінці внеску комплексних препаратів у структуру врожаю та кінцеву продуктивність на різних фонах мінерального живлення, з урахуванням сортових особливостей (Lozowicka et al., 2022; Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015; Sharma et al., 2020; Шейко, 2023; Хоміна і Шейко, 2023; Поспєлова та ін., 2024; Заєць та ін., 2024; Pathak et al., 2024).

Метою досліджень було вивчення реакції пшениці озимої сорту Мудрість Одеська на застосування комплексних препаратів та встановлення їх ефективності за різного рівня мінерального живлення в умовах північного Степу України. Для досягнення мети передбачалося: 1) оцінити стан рослин на час припинення осінньої вегетації; 2) проаналізувати елементи структури урожаю (стеблостій, продуктивне кущення, маса зерна з колоса, маса 1000 насінин); 3) встановити зернову продуктивність у середньому за 2024–2025 рр. і провести порівняльну оцінку всіх варіантів схеми досліду.

Матеріал і методи

Польові досліди проводили на дослідному полі Дніпровського державного аграрно-економічного університету протягом 2023–2025 років. Ґрунтовий покрив представлений чорноземом звичайним малогумусним середньосуглинковим. Потужність гумусованого профілю 75 см. Вміст гумусу (за Тюріним) становив 3,1–3,2 %. Вміст у шарі 0–20 см азоту, що легко гідролізується (за Тюріним та Кононовою), – 8,0–8,5 мг/100 г ґрунту, рухомого фосфору (за Чириковим) – 9,0–10,0 мг/100 г ґрунту, обмінного калію (за Масловою) – 14,0–15,0 мг/100 г ґрунту. Попередник – соняшник. Дослід закладали систематичним методом; облікова площа ділянок – 30 м², повторність – трикратна (Сучасні …, 2014; Єщенко та ін., 2005). Схема досліду була наступною: 1) контроль (без добрив і препаратів); 2) Р10 (основне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту); 3) $N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту); 4) Вітастар (передпосівне) + N30 (по мерзло-талому ґрунту); 5) Вітастар (передпосівне) + Поліамід (навесні); 6) Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + Поліамід (навесні); 7) NEO (3–4 листка) + Стимулін (кущення) + UNI (трубкування); 8) Дефенс (інкрустація) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + Поліамід (навесні); 9) P_{10} (основне) + Вітастар (перед-

посівне) + Антистрес (восени) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту) + Поліамід (навесні); 10) $N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту) + Поліамід (навесні).

Результати

Погодні умови у роки досліджень були типовими для степової зони з проявами посушливості: 2023/2024 рр. – посушливий, 2024/2025 рр. – гостро посушливий. Дефіцит вологи в осінній період спричинив нерівномірність сходів, уповільнення росту та слабке кущення перед входженням у зиму (табл. 1). За таких умов найбільш інформативним є аналіз стану рослин на час припинення осінньої вегетації, оскільки саме він визначає вихідний рівень зимостійкості, потенціал кущення та перспективу формування продуктивного стеблостою навесні (Vyshnevskyi, 2025).

Найбільший вплив на біометричні показники в осінній період мав рівень мінерального живлення. Найвищі значення маси 100 абсолютно сухих рослин отримано на варіантах з внесенням повного основного удобренням $N_{45}P_{45}K_{45}$ – 4,7 г (варіант № 3) і 4,8 г (варіант № 10). Ці варіанти відрізнялись і найбільшою висотою рослин – 13,7 та 14,3 см, а також сформували вузлові корені – 1,8 і 1,9 шт. Вузол кущення

Таблиця 1

Стан рослин пшениці м'якої озимої на час припинення осінньої вегетації залежно від використаних добрив і препаратів (2023–2024 рр.)

№	Назва препаратів та добрив	Варіанти * Маса 100 абсолютно сухих рослин, г	Висота, см	Кількість на рослині, шт.		Глибина залягання вузла кущення, см
				стебел	вузлових коренів	
	сорт Мудрість одеська					
1	Контроль (без добрив і препаратів)	2,7	11,4	1,0	0	-
2	P_{10} (основне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту)	2,5	11,7	1,0	0	-
3	$N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту)	4,7	13,7	1,4	1,8	0,8
4	Вітастар (передпосівне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту)	2,0	10,8	1,0	0	-
5	Вітастар (передпосівне) + *Поліамід (навесні)*	2,1	10,9	1,0	0	-
6	Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + *Поліамід (навесні)*	2,4	11,7	1,0	0	-
7	NEO (3-4 листка) + *Стимулін (кущення)* + *UNI (трубкування)*	2,2	11,1	1,0	0	-
8	Дефенс (інкрустація)+Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + *Поліамід (навесні)*	2,8	11,8	1,0	0	-
9	P_{10} (основне) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту) + Поліамід (навесні)	2,7	12,5	1,4	0	-
10	$N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту) + Поліамід (навесні)	4,8	14,3	1,4	1,9	1,0

** Примітка – частина препаратів за схемою застосовується у весняно-літній період; тому на час припинення осінньої вегетації оцінювали лише сформовані на цей момент показники розвитку рослин.*

у них сформувався на глибині 0,8 та 1,0 см. Це свідчить про більш інтенсивний розвиток кореневої системи та кращу підготовку рослин до перезимівлі. Дещо меншими показники маси, висоти та кущення спостерігалися на варіанті № 9 (P_{10} (основне) + Вітастар + Антистрес + N_{30} + Поліамід): 2,7 г; 12,5 см; 1,4 стебла.

Варіанти без внесення мінеральних добрив, а лише з використанням комплексних препаратів, значно поступалися по основним біометричним показникам. Найкращий серед них, з незначною перевагою над контролем, за масою і висотою відмічається варіант № 8 (Дефенс (інкрустація) + Вітастар + Антистрес + Поліамід): 2,8 г; 11,8 см. Варіант № 2 (P_{10} (основне) + N_{30}) мав висоту дещо вищу за контроль, але з меншою масою: – 2,5 г; 11,7 см. Подібний до варіанта № 2 за висотою, але з меншою масою варіант № 6 (Вітастар + Антистрес + Поліамід): 2,4 г; 11,7 см.

Менше контролю за масою і висотою варіант № 7 (NEO (3–4 листка) + Стимулін (кущення) + UNI (трубкування): 2,2 г; 11,1 см. Показники росту нижчі за контроль були на варіанті № 5 (Вітастар (передпосівне) + Поліамід (навесні)): 2,1 г; 10,9 см. Мінімальні значення маси та висоти серед усіх варіантів були на варіанті № 4 (Вітастар (передпосівне) + N_{30}): 2,0 г; 10,8 см.

З урахуванням того, що частина препаратів застосовується протягом вегетації, ключовим для оцінки технології є аналіз елементів структури урожаю (табл. 2).

На період достигання найбільш розвинені рослини сформувалися на варіантах з внесенням повного мінерального добрива (варіанти № 3 та 10) та з додатковим застосуванням препаратів на фоні мінерального живлення (варіанти № 10 та № 9). Максимальна висота рослин відмічена на варіанті № 3 (69,7 см), де мінеральне живлення поєднувалося з препаратами Вітастар, Антистрес і Поліамід. Близький результат мав варіант № 2 (68,7 см) з NPK + N_{30} без додаткових препаратів. У контрольному варіанті висота становила 49,9 см, що демонструє суттєве обмеження росту за відсутності удобрення. Підсумковим інтегральним показником ефективності застосування добрив і препаратів є урожайність зерна (табл. 3).

Таблиця 2

Основні елементи структури урожаю пшениці озимої сорту Мудрість Одеська (середнє за 2024 та 2025 рр.).

№	Варіант	Висота рослин, см	Рослин на 1 м², шт.	Продукт. стебел на 1 м², шт.	Коеф. прод. кущення	Маса зерна з колоса, г	Маса 1000 насінин, г
1	Контроль (без добрив і препаратів)	49,9	355,1	419,4	1,09	0,55	36,2
2	$N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + N_{30} (по мерзлоталому ґрунту)	68,7	303,2	338,7	1,1	0,93	34,8
3	$N_{45}P_{45}$K45 (основне) + N_{30} (по мерзлоталому ґрунту) + Поліамід (навесні) + Антистрес (восени) + Вітастар (передпосівне)	69,7	335	413,3	1,1	0,98	36,9
4	P_{10} (основне) + Вітастар (передпосівне) + N30 (по мерзлоталому ґрунту) + Поліамід (навесні) + Антистрес (восени)	66	331,4	374,5	1,09	0,87	36

Продовження таблиці 2

5	P_{10} (основне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту)	64,6	321,6	370,5	1,1	0,81	35,6
6	Вітастар (передпосівне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту)	63,1	315,9	398	1,09	0,8	34,6
7	Вітастар (передпосівне) + Поліамід (навесні)	53,2	283,4	321,9	1,1	0,62	36,1
8	Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + Поліамід (навесні)	52,4	330,3	373,5	1,1	0,59	38,5
9	NEO (3–4 листка) + Стимулін (кущення) + UNI (трубкування)	54,5	336,3	380,2	1,08	0,65	38,1
10	Дефенс (інкрустація) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + Поліамід (навесні)	56,8	320,4	387,9	0,97	0,6	36,3

Таблиця 3

Урожайність зерна пшениці озимої сорту Мудрість Одеська в середньому за 2024 та 2025 роки, т/га.

№	Варіант	Урожайність, т/га
1	Контроль (без добрив і препаратів)	2,05
2	P_{10} (основне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту)	3,65
3	$N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту)	3,90
4	Вітастар (передпосівне) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту)	2,87
5	Вітастар (передпосівне) + Поліамід (навесні)	2,02
6	Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + Поліамід (навесні)	2,29
7	NEO (3–4 листка) + Стимулін (кущення) + UNI (трубкування)	2,13
8	Дефенс (інкрустація) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + Поліамід (навесні)	1,83
9	P_{10} (основне) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту) + Поліамід (навесні)	3,68
10	$N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + N30 (по мерзло-талому ґрунту) + Поліамід (навесні)	3,93
	НІР05: у 2024 р. – 0,16; у 2025 р. – 0,14.	

Урожайні дані підтвердили висновки, отримані за аналізом структури врожаю. Максимальну урожайність забезпечив варіант № 10 ($N_{45}P_{45}K_{45}$ + Вітастар + Антистрес + N_{30} + Поліамід) – 3,93 т/га, що на 1,88 т/га (91,7%) вище контролю. Дещо нижчий, але близький результат отримано на варіанті № 3 ($N_{45}P_{45}K_{45}$ + N_{30}) – 3,90 т/га (+1,85 т/га).

Високі показники також забезпечили варіанти з мінімальним удобренням, це варіант № 2 (P_{10} + N_{30}) з урожайністю 3,65 т/га та варіант № 9 (P_{10} (основне) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + N_{30} + Поліамід), що дав 3,68 т/га. Середній рівень урожайності відмічено на варіанті № 4 (Вітастар + N_{30}) – 2,87 т/га (прибавка +0,82 т/га; 40,0 %). Низький або

нестійкий ефект мали схеми переважно з біоактивними компонентами без достатнього мінерального фону, це варіант № 6 (Вітастар + Антистрес + Поліамід) – 2,29 т/га (+0,24 т/га 11,7%) та варіант № 7 (NEO + Стимулін + UNI) – 2,13 т/га (+0,08 т/га; 3,9 %).

Найгірші показники встановлено на варіантах № 8 (Дефенс + Вітастар + Антистрес + Поліамід) – 1,83 т/га (–0,22 т/га; –10,7 %) і № 5 (Вітастар + Поліамід) – 2,02 т/га (–0,03 т/га; –1,5 %), тоді як контроль становив 2,05 т/га. Отже, варіанти із застосуванням лише комплексних препаратів без мінеральних добрив (№№ 5–8) у середньому не забезпечили істотної прибавки урожаю. Це підтверджує тезу, що за умов посухи біоактивні компоненти не можуть компенсувати нестачу базового мінерального живлення і мають найбільшу доцільність у складі системи удобрення.

Обговорення

Отримані результати узгоджуються з положенням про провідну роль фону мінерального живлення у формуванні врожайності пшениці озимої, а полікомпонентні препарати найбільше проявляють ефективність саме у складі системи удобрення. За умов дефіциту вологи комплексні обробки можуть стабілізувати формування продуктивного стеблостою та виповнення зерна, проте без забезпечення базових потреб рослин в N, P і K суттєвого приросту врожаю, як правило, не спостерігається.

Висновки

1. У період припинення осінньої вегетації найбільш розвинений габітус формували рослини на варіантах з повним мінеральним удобренням $N_{45}P_{45}K_{45}$, що забезпечувало вищу масу 100 абсолютно сухих рослин (4,7–4,8 г) та більшу висоту (13,7–14,3 см).

2. На час дозрівання найкраще поєднання таких показників структури урожаю, як продуктивний стеблостій і виповненість колоса, сформувалося на варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ + N_{30} + Вітастар + Антистрес + Поліамід. Рослини мали висоту 69,7 см, продуктивних стебел 413,3 шт./м², масу зерна з колоса 0,98 г.

3. Максимальна урожайність отримана за поєднання мінерального живлення з комплексними препаратами $N_{45}P_{45}K_{45}$ (основне) + Вітастар (передпосівне) + Антистрес (восени) + N_{30} (по мерзло-талому ґрунту) + Поліамід (навесні) – 3,93 т/га, що на 1,88 т/га вище контролю.

4. Мінімальний фон удобрення P10 (основне) + N30 забезпечив отримання урожаю в розмірі 3,65 т/га; додаткове застосування комплексних препаратів на цьому фоні підвищувало результат до 3,68 т/га, що свідчить про потенціал оптимізації технології навіть за обмежених доз добрив.

5. Застосування комплексних препаратів без внесення хоча б мінімальної кількості мінеральних добрив у посушливих умовах не забезпечує суттєвої прибавки врожаю, тому їх доцільно використовувати як елемент інтегрованої системи живлення.

Список використаної літератури

Вернера І. Є. Статистичний щорічник України за 2024 р. Statistical Yearbook of Ukraine. Київ: Держстат України, 2024. 268 с.

Вінюков О. О., Бондарева О. Б., Чугрій Г. А. Особливості реалізації потенціалу продуктивності сортів пшениці озимої в агрокліматичних умовах Донецької області. *Таврійський вісник.* 2018. № 102. С. 9–14.

Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Дія, 2005. 288 с.

Заєць С. О., Онуфран Л. І., Юзюк С. М. та ін. Вплив різних систем біологічного захисту рослин на врожайність та якість зерна пшениці озимої в органічному землеробстві. *Аграрні інновації* 2024. № 23. С. 61–68. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.11.

Поспєлова Г. Д., Коваленко Н. П., Поспєлов С. В. та ін. Ефективність застосування біопрепаратів на пшениці озимій. *Scientific Progress & Innovations.* 2024. № 27(4). С. 37–42. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.07.

Сучасні технології вирощування пшениці озимої в зоні Степу / А. В. Черенков та ін. Дніпро : Інститут сільського господарства степової зони НААН України, 2014. 115 с.

Хоміна В. Я., Шейко Д. В. Елементи біологізації як засіб поліпшення технологічних показників та якісного складу зерна пшениці озимої. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2023. № 2. С. 45–52. https://doi.org/10.37406/2706905220232.5.

Шейко Д. В. Фотосинтетичний потенціал сортів пшениці озимої залежно від способів застосування біологічно активних препаратів в умовах Західного Лісостепу. *Аграрні інновації* 2023. № 19. С. 96–102. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.18.

Юрченко С. О., Палазюк Б. О. Вплив мікоризного препарату на формування урожайності зерна пшениці м'якої озимої (Triticum aestivum L.): тези доп. І Міжнар. наук.-практ. конф. Полтава: ПДАУ, 2025. С. 21–23.

Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil.* 2014. Vol. 383. № 1–2. P. 3–41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8.

du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae.* 2015. Vol. 196. P. 3–14. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021.

Lozowicka B., Iwaniuk P., Konecki R., Kaczynski P., Kuldybayev N., Dutbayev Y. Impact of diversified chemical and biostimulator protection on yield, health status, mycotoxin level, and economic profitability in wheat (Triticum aestivum L.) cultivation. *Agronomy.* 2022. Vol. 12. № 2. Article 258. https://doi.org/10.3390/agronomy12020258.

Pathak D., Suman A., Dass A. et al. Enhancing wheat growth and nutrient content through integrated microbial and non-microbial biostimulants. *Physiologia Plantarum.* 2024. Vol. 176, Is. 5. e14485. https://doi.org/10.1111/ppl.14485.

Sharma S., Kandel N., Chaudhary P., Rai P. A review on integrated nutrient management on wheat (Triticum aestivum L.). *Reviews in Food and Agriculture.* 2020. Vol. 1. № 1. P. 32–37. https://doi.org/10.26480/rfna.01.2020.32.37.

Vyshnevskyi V. I. Climate Change in Ukraine and Its Consequences. *Journal of Landscape Ecology.* 2025. Vol. 18. № 4. P. 150-174. https://doi.org/10.2478/jlecol-2025-0032.

References

Vernera, I.Ye. (2024). *Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy za 2024 r.* [Statistical Yearbook of Ukraine 2024]. Kyiv: Derzhstat Ukrainy, 268 p. [in Ukrainian/English].

Viniukov, O.O., Bondareva, O.B., & Chuhrii, H.A. (2018). Osoblyvosti realizatsii potentsialu produktyvnosti sortiv pshenytsi ozymoi v ahroklimatychnykh umovakh Donetskoi oblasti [Peculiarities of realization of winter wheat cultivar productivity potential under agroclimatic conditions of Donetsk region]. *Tavriiskyi visnyk [Tavriiskyi Herald]*, 102, 9–14. [in Ukrainian].

Yeshchenko, V.O., Kopytko, P.H., Opryshko, V.P., & Kostohryz, P.V. (2005). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii* [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kyiv : Diia, 288 p. [in Ukrainian].

Zaiets, S.O., Onufran, L.I., Yuziuk, S.M., et al. (2024). Vplyv riznykh system biolohichnoho zakhystu roslyn na vrozhainist ta yakist zerna pshenytsi ozymoi v orhanichnomu zemlerobstvi [Influence of different biological plant protection systems on grain yield and quality of winter wheat in organic farming]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations],* 23, 61–68. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.11 [in Ukrainian].

Pospielova, H.D., Kovalenko, N.P., & Pospielov, S.V., et al. (2024). Efektyvnist zastosuvannia biopreparativ na pshenytsi ozymii [Efficiency of biopreparations application on winter wheat]. *Scientific Progress & Innovations*, 27(4), 37–42. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.07 [in Ukrainian].

Cherenkov, A.V., et al. (2014). *Suchasni tekhnolohii vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi v zoni Stepu* [Modern technologies of winter wheat cultivation in the Steppe zone]. Dnipro : Instytut silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy, 115 p. [in Ukrainian].

Khomina, V.Ya., & Sheiko, D.V. (2023). Elementy biolohizatsii yak zasib polipshennia tekhnolohichnykh pokaznykiv ta yakisnoho skladu zerna pshenytsi ozymoi [Elements of biologization as a means of improving technological indicators and qualitative composition of winter wheat grain]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Podilskyi Herald: Agriculture, Engineering, Economics],* 2, 45–52. https://doi.org/10.37406/2706905220232.5 [in Ukrainian].

Sheiko, D.V. (2023). Fotosyntetychnyi potentsial sortiv pshenytsi ozymoi zalezhno vid sposobiv zastosuvannia biolohichno aktyvnykh preparativ v umovakh Zakhidnoho Lisostepu [Photosynthetic potential of winter wheat varieties depending on application methods of biologically active preparations under Western Forest-Steppe conditions]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations],* 19, 96–102. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.18 [in Ukrainian].

Yurchenko, S.O., & Palaziuk, B.O. (2025). Vplyv mikoryznoho preparatu na formuvannia urozhainosti zerna pshenytsi miakoi ozymoi (Triticum aestivum L.) [Influence of a mycorrhizal

preparation on grain yield formation of soft winter wheat (Triticum aestivum L.)]. *Tezy dopovidei I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* [Abstracts of the 1st International Scientific and Practical Conference] (pp. 21–23). Poltava: PDAU. [in Ukrainian].

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8 [in English].

du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021 [in English].

Lozowicka, B., Iwaniuk, P., Konecki, R., Kaczynski, P., Kuldybayev, N., & Dutbayev, Y. (2022). Impact of diversified chemical and biostimulator protection on yield, health status, mycotoxin level, and economic profitability in wheat (Triticum aestivum L.) cultivation. *Agronomy*, 12(2), 258. https://doi.org/10.3390/agronomy12020258 [in English].

Pathak, D., Suman, A., & Dass, A., et al. (2024). Enhancing wheat growth and nutrient content through integrated microbial and non-microbial biostimulants. *Physiologia Plantarum*, Vol. 176, Is. 5. e14485. https://doi.org/10.1111/ppl.14485 [in English].

Sharma, S., Kandel, N., Chaudhary, P., & Rai, P. (2020). A review on integrated nutrient management on wheat (Triticum aestivum L.). *Reviews in Food and Agriculture*, 1(1), 32–37. https://doi.org/10.26480/rfna.01.2020.32.37 [in English].

Vyshnevskyi, V. I. (2025). Climate Change in Ukraine and Its Consequences. *Journal of Landscape Ecology,* 18(4), 150–174. https://doi.org/10.2478/jlecol-2025-0032 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 09.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 12.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.15;631.526.32;631.559(477.4)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.19

СОРТОВІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ЗЕРНА НОВИХ СЕРЕДНЬОРАННІХ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗВИЧАЙНОЇ У ЗОНІ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

С. М. Михайлик[1], І. В. Смульська[2], О. О. Кічігіна[3], А. М. Гапоненко[4]

Метою дослідження є визначення господарсько-цінних показників індивідуальної продуктивності нових середньоранніх гібридів кукурудзи звичайної [Zea mays L.], за вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах зони Полісся. Вивчали 16 середньоранніх (ФАО – 200–299) гібридів української селекції. Польові дослідження проводили у Волинській, Закарпатській, Львівській та Рівненській філіях Українського інституту експертизи сортів рослин у 2024 та 2025 роках. Закладання дослідів здійснювали в останній декаді квітня – першій декаді травня. Облікова площа однієї дослідної ділянки складала 25 м², повторність чотириразова, розміщення ділянок – рендомізоване. Агротехнічні заходи спрямовували на забезпечення оптимальних умов вегетації, живлення і стійкості рослин до хвороб та шкідників. Результати дослідження та обговорення. Кращу вологовіддачу продемонстрували гібриди ПС 311 (20,0%) Стар Сідс С 281 (20,7%) Оптікс (20,8%) та Альбом (20,9%). Найвищі середні показники збиральної вологості зерна мали гібриди Брукса (23,1%), ІР Лопань (22,7%). Середня врожайність усіх досліджуваних гібридів на 8–28% переважала умовний стандарт. Вищою врожайністю відзначились гібриди Арболь (9,80 т/га), Оптікс (9,74 т/га), ІР Лопань (9,69 т/га). Врожайність гібридів ДБ Ясіня (9,29 т/га), Соліст (9,46 т/га), Грінч 2361 (9,55 т/га), ДУ Золотарівка (9,33 т/га), Брукса (9,54 т/га) та Фрея (9,26 т/га) перевищили умовний стандарт більше ніж на 20%. Гідротермічні

[1] кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник відділу експертизи на придатність до поширення сортів рослин
(Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ)
e-mail: svetlana.nik2519@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9981-0545
[2] науковий співробітник відділу експертизи на придатність до поширення сортів рослин
(Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ)
e-mail: ivanna1973@i.ua
ORCID: 0000-0001-9675-0620
[3] кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник,
завідувач Незалежної лабораторії екології насінництва
(Інститут агроекології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: seednlen@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0879-627X
[4] молодший науковий співробітник відділу науково-організаційної роботи
(Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ)
e-mail: uipvegap@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4215-2216

умови виявили вирішальний вплив на вологовіддачу зерна: у Львівській філії у 2024 році збиральна вологість зерна виявилась най меншою і сягнула 15,0–17,5%, а у 2025 році затяжні осінні дощі спричинили затримку вологовіддачі та зростання збиральної вологості до 36,2% у Рівненській філії. Гібриди Арболь, Оптікс та ПС 311 продемонстрували високу врожайність і задовільну вологовіддачу та виявились найбільш перспективними для вирощування в умовах зони Полісся.

Ключові слова: *УІЕСР, Zea mays L., ФАО, збиральна вологість зерна, вологовіддача, гідротермічний коефіцієнт.*

VARIETAL FEATURES OF GRAIN YIELD FORMATION OF NEW MID-EARLY HYBRIDS OF COMMON MAIZE IN THE POLISSIA ZONE OF UKRAINE

S. M. Mykhailyk, I. V. Smulska, O. O. Kichigina, A. M. Gaponenko

Aim: to determine the economically valuable indicators of individual productivity of new mid-early hybrids of common maize when grown in the soil and climatic conditions of the Polissia zone. The study involved 16 mid-early (FAO 200–299) hybrids of Ukrainian selection. Field studies were conducted at the Volyn, Zakarpattia, Lviv, and Rivne branches of the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination (UIPVE) in 2024 and 2025. Trials were established in the last decade of April – first decade of May. The harvest area of one experimental plot was 25 m^2, with four replications, and randomized plot arrangement. Agrotechnical measures were aimed at providing optimal conditions for vegetation, nutrition, and plant resistance to diseases and pests. Better moisture dry-down was demonstrated by the hybrids PS 311 (20.0%), Star Seeds S 281 (20.7%), Optix (20.8%), and Albom (20.9%). The highest average indicators of harvesting grain moisture were recorded for the hybrids Bruksa (23.1%) and IR Lopan (22.7%). The average yield of all studied hybrids exceeded the conventional standard by 8–28%. Hybrids Arbol (9.80 t/ha), Optix (9.74 t/ha), and IR Lopan (9.69 t/ha) were distinguished by higher yields. The yields of the hybrids DB Yasinia (9.29 t/ha), Solist (9.46 t/ha), Grinch 2361 (9.55 t/ha), DU Zolotarivka (9.33 t/ha), Bruksa (9.54 t/ha), and Freia (9.26 t/ha) exceeded the conventional standard by more than 20%. Hydrothermal conditions exerted a decisive influence on grain moisture loss: at the Lviv branch in 2024, the harvesting grain moisture was the lowest, reaching 15.0–17.5%, whereas in 2025, prolonged autumn rains caused a delay in moisture dry-down and an increase in harvesting moisture to 36.2% at the Rivne branch. Hybrids Arbol, Optix, and PS 311 demonstrated high yields and satisfactory moisture dry-down, proving to be the most promising for cultivation under the conditions of the Polissia zone.

Key words: *UIPVE, grain harvesting moisture, moisture yield, hydrothermal coefficient.*

Вступ

Потенціал аграрного виробництва дозволяє Україні бути одним із ключових гарантів продовольчої безпеки у світовому масштабі та забезпечувати потреби внутрішніх споживачів у продовольстві майже в повному обсязі. Кукурудза є однією з найбільш поширених і високопродуктивних злакових культур універсального призначення, яку вирощують для продовольчого, кормового і технічного використання. Висока продуктивність, широке використання та здатність до адаптації в різних агрокліматичних умовах визначають її стратегічне значення для глобальної продовольчої безпеки. За даними FAOSTAT, кукурудзу у світі вирощують на площі близько 210 млн га, валовий збір зерна сягає 1218 млн т за середньої врожайності 5,8 т/га (FAOSTAT, 2026). Світовий досвід свідчить, що для продовольчих потреб використовується близько 20 % зерна кукурудзи, для технічних цілей – 15–20 %, на кормові потреби – 60–65 % (Мазур та ін., 2023; Стоцька та ін., 2025). В Україні, за даними Держстату, у 2025 році посівна площа кукурудзи становила 261,2 тис. га, що перевищувало посівну площу попереднього року на 35,1 % (Посівні…, 2025). Валовий збір зерна кукурудзи в Україні станом на 01.08.2026 склав 28,66 млн тон. Середня врожайність сягнула 7,13 т/га. (Як йде…, 2025; Поле онлайн, 2026).

Вирощування кукурудзи на зерно за обсягами виробництва лідирує у вітчизняному аграрному секторі [Шкатула та ін., 2024], а її урожайність є результатом складної взаємодії генетичних факторів, агротехнічних заходів та погодних умов (Zhang et al., 2020; Yue et al., 2025)

Головними напрямами селекції кукурудзи звичайної [*Zea mays* L.] залишаються підвищення врожайності, зниження воло-

гості зерна під час збору врожаю, стійкість до хвороб та шкідників, а також стабільне відтворення цінних господарських ознак за широко мінливих умов навколишнього середовища (Kapustian et al., 2021; Tuttle et al., 2026).

Впровадження у виробництво нових високоврожайних гібридів, придатних для вирощування у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах має вагоме значення для підвищення врожайності та стабільного зростання виробництва зерна кукурудзи (Raziel et al., 2025). На фоні суттєвих змін клімату у бік потепління, на передній план постають завдання з розкриття генотипового потенціалу урожайності гібридів кукурудзи завдяки удосконаленню агротехнології та захисту рослин від шкідливих організмів, що забезпечують стабільно високу врожайність. Встановлено вплив на продуктивність кукурудзи строків сівби – 52,4%, захисту рослин – 19,8%, а також, генотипу гібриду, що становив 7,5% (Вожегова та ін., 2021; Гадзало та ін., 2024).

Проте, здатність гібридів кукурудзи до відтворення генетично зумовленої високої врожайності значною мірою обмежують несприятливі погодні умови, тому одним з головних завдань сучасної селекції є створення гібридів, що поєднують високу потенціальну продуктивність і генетично зумовлену пристосованість до певних кліматичних умов (Шарипіна та ін., 2020). За спостереженням науковців, температура повітря та вологість відіграють ключову роль, впливаючи на всі етапи розвитку рослини, від проростання насіння до достигання зерна. Гідротермічні умови під час вегетації виявляють значний вплив на розкриття генотипового потенціалу урожайності гібридів кукурудзи (Дем'янюк та ін., 2016; Гадзало та ін., 2020; Коковіхін та ін., 2020; Wang et al., 2025). Правильний добір гібридного складу, що зумовлює продуктивний потенціал культури, її адаптивність до різних ґрунтово-кліматичних умов та ефективність використання ресурсів є одним із визначальних факторів формування високої врожайності сільськогосподаських культур (Михайлик та ін., 2024; King et al., 2025; Михайлик та ін., 2025). На сьогодні, рекомендована структура гібридного складу посівів кукурудзи за скоростиглістю для степової зони складається із 20–30% середньоранніх (ФАО 200–299) та 70–80% середньостиглих (ФАО 300–399) гібридів, для лісостепової зони – 15–25% ранньостиглих (ФАО 150–199), 45–50% середньоранніх (ФАО 200–299) і 15–25% середньостиглих (ФАО 300–399) гібридів, а для Полісся – 100% ранньостиглі (ФАО 1500–199) гібриди (Паламарчук і Колісник, 2022). Проте, для зменшення негативного впливу погодних умов на урожайність кукурудзи, необхідно підбирати гібриди різних груп стиглості придатних для культивування у конкретній зоні вирощування. Важливе практичне значення для підвищення рентабельності виробництва зерна кукурудзи є створення та впровадження гібридів з ознакою прискореної вологовіддачі зерна за достигання. Швидка вологовіддача притаманна ранньостиглим гібридам із певними морфологічними особливостями. Зокрема, швидше віддають вологу гібриди із тонкими стрижнями качанів, тонкими обгортками та із зубоподібним типом зерна (Любич, 2020; Marchenko et al., 2023).

Внаслідок глобальних змін клімату, коли в південній частині України дедалі частіше складаються посушливі умови, в тому числі, під час вегетації кукурудзи, ареал вирощування культури зміщується в зону стійкого вологозабезпечення, зокрема, в зону Полісся. Тому, для зменшення негативного впливу погодних умов року, все більшого значення набуває підбір високоврожайних гібридів із різною тривалістю вегетаційного періоду безпосередньо для конкретної зони вирощування.

Метою досліджень було визначення господарсько цінних показників індивідуальної продуктивності нових гібридів кукурудзи середньоранньої групи стиглості за вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах зони Полісся.

Матеріал і методи

Польові дослідження нових гібридів кукурудзи звичайної та оцінку їх врожайності в зоні Полісся проводили у Волинській, Закарпатській, Львівській та Рівненській філіях Українського інституту експертизи сортів рослин (УІЕСР) у 2024 та 2025 роках. Досліджували 16 гібридів української селекції: Альбом, Голос, Гріч 2360, ДБ Ясіня, ДН Явір, ДУ Золотарівка, ДХ Акпадон, Соліст (заявник – Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України), Арболь (заявник – Товариство з обмеженою відповідальністю «МІРАСОЛ СІД ГРУП»), Брукса, Фрея (заявник – Фермерське господарство «Новоєгорівка-Агро»), ІР Лопань (заявник – Інститут рослинництва

ім. В. Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України), Стар Сідс С 280 (заявник – Гордієнко Володимир Валерійович), Ларсон (заявник – Товариство з обмеженою відповідальністю «ТК АРТ-АГРО»), ПС 310 (заявник – Товариство з обмеженою відовідальністю «Поділля-Агрохімсервіс») та Оптікс (заявник – Товариство з обмеженою відповідальністю «ХІКС Україна»). Досліджувані гібриди є середньоранніми, із тривалістю періоду вегетації – 91–105 діб (ФАО – 200–299). Всі зазначені гібриди внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні у 2025 році (Державний…, 2026).

Закладання дослідів здійснювали в останній декаді квітня – першій декаді травня залежно від погодних умов, які склалися у кожному пункті дослідження. Облікова площа однієї дослідної ділянки становила 25 м^2, повторність чотириразова, розміщення ділянок – рендомізоване (Методика…, 2024). За проведення польових досліджень дотримувались загальноприйнятої агротехніки вирощування кукурудзи звичайної, яка включає в себе такі технологічні операції: оранку, ранньовесняне боронування, внесення мінеральних добрив, передпосівну культивацію, сівбу, догляд за посівами (внесення засобів захисту рослин) і збирання врожаю. Агротехнічні заходи були спрямовані на забезпечення оптимальних умов живлення і стійкості рослин до хвороб та шкідників. Висівали кукурудзу пунктирним способом із нормою висіву 60–65 тис. шт./га (зі страховою надбавкою 10–15%). Збирання зерна здійснювали прямим комбайнуванням у другій декаді вересня (Методика…, 2016). Для опрацювання даних польових досліджень гібридів кукурудзи звичайної використовували методи описової статистики. Отримане значення показника урожайності досліджуваного сорту (гібриду) порівнювали з умовним стандартом, який розраховують як середнє значення відповідного показника сортів (гібридів) певного ботанічного таксона за останні п'ять років. Умовний стандарт визначають на кожен рік для ґрунтово-кліматичної зони, для кожного ботанічного таксону і блоку дослідження (Методика…, 2024).

У період вегетації кукурудзи звичайної в кожному пункті досліджень визначали та реєстрували за допомогою програмно-апаратного комплексу «Meteotrek» температуру повітря і кількість опадів. Для оцінки умов зволоження використовували комплексний показник гідротермічного коефіцієнта (ГТК) Селянінова, який враховує надходження води (опадів) та її сумарну витрату на випаровування.

Результати

Погодні умови, які спостерігалися у пунктах дослідження під час вирощування кукурудзи звичайної відзначались неоднорідністю. Як видно із даних таблиці 1, теплішим виявився 2024 р. із сумою активних температур від 3066,59 °С (Рівненська філія) до 3405,94 °С (Закарпатська філія).

Період вегетації кукурудзи звичайної, загалом, у Львівській та Рівненській філіях УІЕСР характеризувався достатнім (ГТК 1,15) та надмірним (ГТК 1,53–1,79) зволоженням в обидва роки дослідження. У Закарпатській та Волинській філіях погодні умови виявились більш посушливими від середньої посухи (ГТК 0,69) до достатнього зволоження (ГТК 1,08).

Проте, велике значення має розподіл вологи впродовж періоду вегетації куку-

Таблиця 1

Кліматичні показники у пунктах дослідження у період вегетації середньоранніх гібридів кукурудзи звичайної (2024 і 2025 рр.)

Пункт дослідження	Рік дослідження	Сума активних температур, °С	Гідротермічний коефіцієнт (ГТК)	Оцінка зволоження
Львівська філія	2024	3122,74	1,59	надмірно вологo
	2025	1999,41	1,53	надмірно вологo
Закарпатська філія	2024	3405,94	1,08	достатньо вологo
	2025	2666,47	0,83	слабка посуха
Волинська філія	2024	3143,32	0,69	середня посуха
	2025	2498,71	0,90	слабка посуха
Рівненська філія	2024	3066,59	1,79	надмірно вологo
	2025	2726,97	1,15	достатньо вологo

рудзи звичайної. Так, у 2024 р. погодні умови Волинської філії виявились найбільш посушливими серед інших, особливо у травні (ГТК 0,17), що відповідає сильному посушливому періоду. У Рівненській та Львівській філіях впродовж періоду мали стабільно високі показники ГТК, що вказує на більш сприятливі умови, але з ризиком перезволоження восени (рис. 1).

У 2025 р. спостерігається зниження рівня вологозабезпечення порівняно із попереднім роком. Найбільш посушливими місяцями стали серпень (ГТК 0,14–0,84) і червень (ГТК 0,22–0,63), а вологими – вересень (ГТК 1,05–2,95) та жовтень (ГТК 0,75–2,95). У Рівненській філії у липні зафіксовано різке збільшення рівня зволоження (ГТК 3,64), що може вказувати на сильні опади зливового характеру, на фоні загалом затяжного посушливого попереднього періоду травня (ГТК 0,05) – червня (ГТК 0,22) (рис. 2).

Рівень вологозабезпечення у Львівській філії залишався найбільш стабільним впродовж дослідження. У Рівненській філії погодні умови виявились найбільш мінливими: у 2024 р. вони були надмірно вологими, а у 2025 р. відзначились критично сухим травнем та надмірно вологим липнем.

Обговорення

Аналіз отриманих нами даних свідчить про суттєву залежність збиральної вологості зерна кукурудзи звичайної від року вирощування та пункту дослідження, що вказує на значний вплив гідротермічних умов.

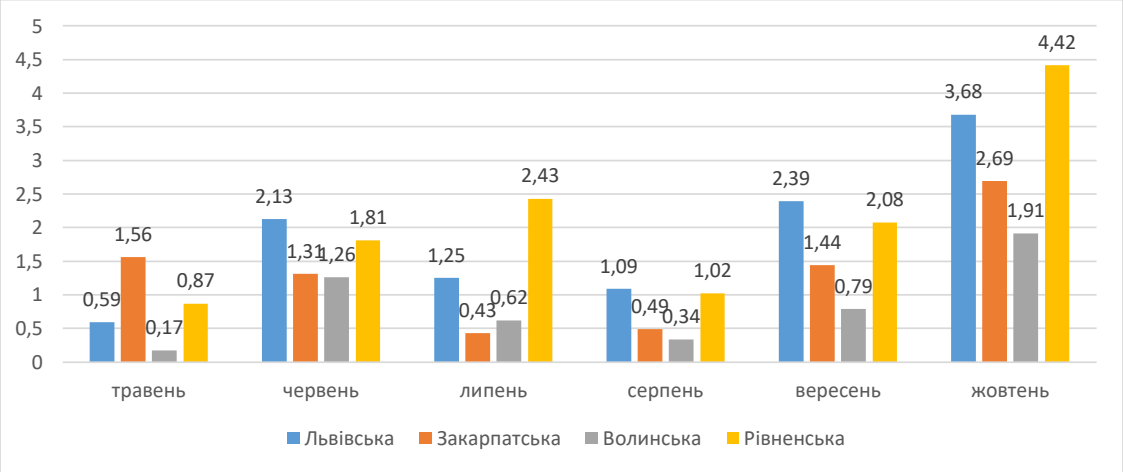


Рис. 1. Показник гідротермічного коефіцієнта (ГТК) впродовж вегетаційного періоду кукурудзи звичайної у філія УІЕСР (2024 р.)

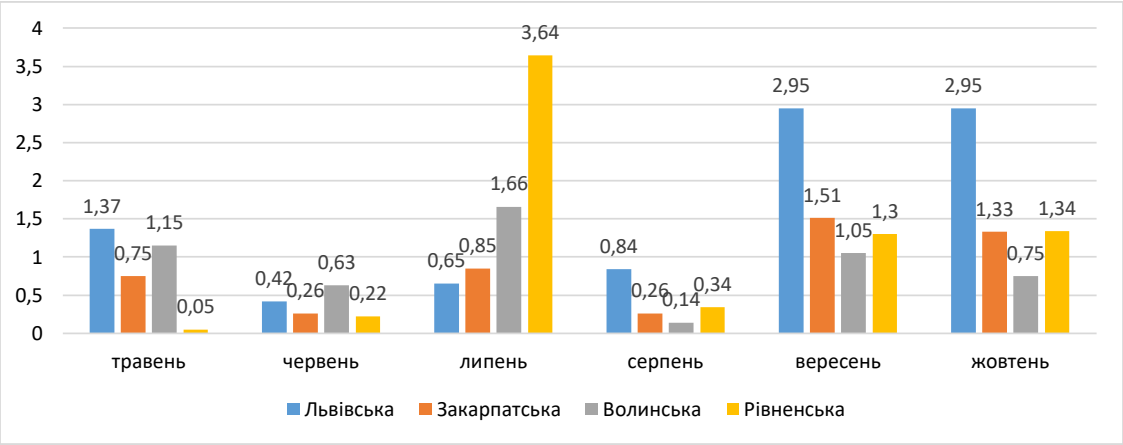


Рис. 2. Показник гідротермічного коефіцієнта (ГТК) впродовж вегетаційного періоду кукурудзи звичайної у філія УІЕСР (2025 р.)

Зокрема, 2024 р. був значно сприятливішим для підсихання зерна. Найнижчі показники зафіксовані у Львівській філії (в середньому 15,0–17,5%). У 2025 р. збиральна вологість зерна виявилась вищою у всіх пунктах дослідження, що пов'язано із затяжним дощовим періодом восени. Особливо критична ситуація спостерігалась у Рівненській філії, де показник мав значення 25,7–36,2% (табл. 2).

Найвищі середні показники вологості мали гібриди Брукса (23,1%), ІР Лопань (22,7%), Гріч 2361, ДУ Золотарівка та ДН Явір (всі по 22,2%), що свідчить про повільнішу вологовіддачу. Найкращу здатність до вологовіддачі (найменше середнє значення за два роки) продемонстрували гібриди Стар Сідс С 281 (20,7%) Оптікс (20,8%) Альбом (20,9%) та ПС 311 (20,0%), який виявився абсолютним лідером за стабільністю та швидкістю підсихання.

У 2025 р. спостерігається загальне зростання врожайності у більшості досліджуваних гібридів кукурудзи звичайної порівняно з 2024 роком. Найбільший приріст врожайності продемонстрували гібриди Оптікс у Волинській філії (з 7,74 т/га до 15,30 т/га) та Арболь (з 8,17 т/га до 13,70 т/га) (табл. 3).

У Рівненській філії спостерігаються стабільно вищі показники врожайності в обидва роки дослідження. Найвищої врожайності досягли тут гібриди Оптікс (12,75 т/га), Арболь (12,76 т/га) та Фрея (12,73 т/га) у 2025 р. Значне підвищення врожайності у 2025 р. відзначено у Волинській філії. Урожайність більшості гібридів перевищувала 11 т/га та сягала 15,3 т/га у гібриду Оптікс. У Львівській філії показник врожайності гібридів кукурудзи за роками дослідження є найбільш стабільним, але з дещо нижчими піко-

Таблиця 2

Збиральна вологість зерна середньоранніх гібридів кукурудзи звичайної у пунктах дослідження УІЕСР у 2024 і 2025 рр., %

Назва гібриду	2024				2025				Середня
	Волинська	Закарпатська	Львівська	Рівненська	Волинська	Закарпатська	Львівська	Рівненська	
Альбом	16,1	17,2	15,5	21,7	19,1	22,4	19,2	36,0	20,9
ПС 311	14,8	18,3	15,2	21,0	19,9	20,6	18,3	31,8	20,0
Оптікс	17,8	19,1	15,1	25,0	19,1	21,9	18,7	29,5	20,8
Арболь	16,2	18,3	16,7	23,5	21,1	24,1	18,7	33,3	21,5
Ларсон	17,4	17,1	15,1	22,9	29,8	22,6	20,4	26,9	21,5
Стар Сідс С 281	17,5	18,4	17,5	19,2	24,0	23,7	19,2	25,7	20,7
Голос	19,7	17,8	16,4	23,4	22,0	22,9	18,0	32,5	21,6
ДХ Акпадон	19,5	18,2	15,5	26,4	16,9	21,1	17,8	36,2	21,5
ДБ Ясіня	20,0	17,8	15,8	22,8	23,3	22,4	19,4	33,7	21,9
Соліст	19,4	19,7	16,0	23,3	18,8	21,8	18,4	32,8	21,3
Гріч 2361	19,7	18,2	16,1	25,0	20,4	22,7	20,8	34,6	22,2
ДУ Золотарівка	19,5	17,8	15,4	26,9	19,7	23,2	18,9	36,0	22,2
ДН Явір	20,0	17,7	16,3	23,9	19,9	25,7	19,7	34,4	22,2
ІР Лопань	19,5	18,4	16,1	29,5	19,8	25,4	17,3	35,3	22,7
Брукса	20,3	19,8	16,2	23,9	22,8	24,9	20,8	36,1	23,1
Фрея	20,5	17,7	15,0	22,9	24,9	23,8	21,3	32,0	22,3
Середнє	18,4	18,2	15,9	23,9	21,1	23,1	19,3	32,5	-
$НІР_{0,05}$	1,5	1,5	1,5	2,3	2,0	2,5	2,0	2,7	-

Таблиця 3

Урожайність (за стандартної вологості 14%) зерна середньоранніх гібридів кукурудзи звичайної у пунктах дослідження УІЕСР у 2024 і 2025 рр., т/га

Назва	2024				2025				Середня врожайність, т/га	Умовний тандарт, т/га	+ до умовного стандарту, %
	Волинська	Закарпатська	Львівська	Рівненська	Волинська	Закарпатська	Львівська	Рівненська			
Альбом	5,61	7,36	7,19	8,35	13,0	8,36	7,32	9,39	8,33	7,68	8
ПС 311	7,47	9,25	7,23	9,46	12,4	7,23	7,28	11,55	8,98	7,68	17
Оптікс	7,74	8,39	7,76	10,3	15,3	8,26	7,32	12,75	9,74	7,68	27
Арболь	8,17	9,16	7,86	10,3	13,7	8,50	7,88	12,76	9,80	7,68	28
Ларсон	10,13	8,53	7,60	10,0	8,90	7,62	7,29	11,24	8,91	7,68	16
Стар Сідс С 281	5,89	7,43	7,90	9,80	11,0	9,16	8,01	11,22	8,80	7,68	15
Голос	7,56	8,94	8,09	9,98	11,0	6,94	8,32	11,20	9,00	7,68	17
ДХ Акпадон	6,76	8,68	7,53	9,26	11,1	7,05	7,73	9,42	8,44	7,68	10
ДБ Ясіня	11,18	8,29	7,13	10,1	10,9	6,97	7,85	11,95	9,29	7,68	21
Соліст	8,75	9,56	7,41	10,6	12,2	8,34	8,22	10,63	9,46	7,68	23
Гріч 2361	9,19	7,62	7,61	11,0	14,0	8,74	7,75	10,49	9,55	7,68	24
ДУ Золотарівка	10,09	7,40	7,53	9,65	12,9	9,18	7,54	10,28	9,33	7,68	21
ДН Явір	8,91	9,13	6,82	10,1	12,6	8,16	7,99	9,50	9,14	7,68	19
ІР Лопань	11,25	9,62	7,21	10,7	12,4	8,04	7,67	10,62	9,69	7,68	26
Брукса	10,37	9,55	7,50	10,5	11,4	7,45	7,92	11,67	9,54	7,68	24
Фрея	8,72	9,05	7,99	9,06	11,6	7,73	7,20	12,73	9,26	7,68	21
Середня	8,61	8,62	7,52	9,94	12,15	7,98	7,71	11,09	9,20	-	-
$НІР_{0,05}$	0,27	0,36	0,33	0,41	0,44	0,34	0,37	0,46	0,41	-	-

вими значеннями. Показники варіюють в межах 6,82–8,32 т/га без різких коливань між роками. Закарпатська філія виявилась єдиною де врожайність деяких гібридів (ПС 311, Оптікс, Арболь, Ларсон, Голос, ДХ Акпадон, ДБ Ясіня, Соліст, ДН Явір, ІР Лопань, Брукса, Фрея) у 2025 році мала негативну динаміку, проте все ж сягала 6,94–8,50 т/га.

Середня врожайність усіх досліджуваних гібридів на 8–28% переважала умовний стандарт (усереднену врожайність сортів, що пройшли державну реєстрацію за 5 попередніх років). Проте, кращими гібридами за результатами нашого дослідження є: Арболь (9,80 т/га), який має найвищий середній результат та перевищує умовний стандарт на 28%; Оптікс (9,74 т/га) продемонстрував потужний результат у 2025 році, особливо у Волинській та Рівненській філіях; ІР Лопань (9,69 т/га) мав стабільно високу врожайність в обох роках дослідження. Врожайність гібридів ДБ Ясіня (9,29 т/га), Соліст (9,46 т/га), Грінч 2361 (9,55 т/га), ДУ Золотарівка (9,33 т/га), Брукса (9,54 т/га) та Фрея (9,26 т/га) перевищили умовний стандарт більше ніж на 20%.

Висновки

Погодні умови в пунктах дослідження відзначалися строкатістю. Температурний режим у 2024 р. виявився теплішим (сума активних температур від 3066,59 °С до 3405,94 °С), що сприяло інтенсивнішому підсиханню зерна перед збиранням. Найбільш стабільні умови зволоження спостерігалися у Львівській філії УІЕСР – надмірно вологого (ГТК 1,59 і ГТК 1,53) в обидва роки дослідження. Волинська філія у 2024 р. мала найбільш посуху (ГТК 0,17). Рівненська філія УІЕСР відзначилася найбільшою мінливістю: від надмірного зволоження у 2024 р. (ГТК 1,79) до екстремальних коливань

у 2025 р. – критично сухий травень (ГТК 0,05) та надмірно вологий липень (ГТК 3,64).

Гідротермічні умови виявили вирішальний вплив на вологість зерна під час збирання. У 2024 р. умови були сприятливими для природного підсушування. У Львівській філії збиральна вологість зерна виявилась най меншою і сягнула 15,0–17,5%. У 2025 р. затяжні осінні дощі спричинили затримку вологовіддачі та зростання збиральної вологості до 36,2% (Рівненська філія). Найкращу здатність до вологовіддачі та стабільність продемонстрували гібриди ПС 311 (середня вологість 20,0%), Стар Сідс С 281 (20,7%) та Оптікс (20,8%). Гібрид Брукса (23,1%) мав найвищу вологість, що свідчить про низьку швидкість вологовіддачі.

Досліджувані гібриди продемонстрували високий генетичний потенціал, перевищивши усереднену врожайність сортів, що пройшли державну реєстрацію за 5 попередніх років (умовний стандарт) на 8–28%. Кращими гібридами за врожайністю стали Арболь – 9,80 т/га (+28% до стандарту), Оптікс – 9,74 т/га (+27%) та ІР Лопань – 9,69 т/га (+26%).

Найбільш адаптованими та перспективними для вирощування в умовах зони Полісся є гібриди Арболь, Оптікс та ПС 311, оскільки вони поєднують високу врожайність із задовільною швидкістю вологовіддачі навіть за несприятливих погодних умов.

Список використаної літератури

Вожегова Р.А., Лавриненко Ю.О., Марченко Т.Ю. та ін. Морфологічні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від елементів технології за умов зрошення. *Аграрні інновації.* 2021. № 8. С. 91–99. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.8.14

Гадзало Я.М., Вожегова Р.А., Коковіхін С.В. та ін. Наукове обґрунтування технологій вирощування кукурудзи на зрошуваних землях із урахуванням гідротермічних чинників і змін клімату. *Зрошуване землеробство: збірник наукових праць.* 2020. № 73. С. 21–26. https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.3

Гадзало Я.М., Вожегова Р.А., Лікар Я.О. Урожайність та збиральна вологість зерна гібридів кукурудзи залежно від елементів агротехнології в умовах зрошення. *Таврійський науковий вісник.* 2024. № 138. С. 34–41. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.4

Дем'янюк О.С., Шерстобоєва О.В., Клименко А.М., Чабанюк Я.В. Вплив гідротермічного режиму вегетації на екологічний стан ґрунту та врожайність кукурудзи. *Агроекологічний журнал.* 2016. № 3. С. 45–501.

Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2026 рік / М-во економіки України [Електронний ресурс]. URL: https://me.gov.ua/view/dc085951-a4fd-4517-8ca5-2b50823c88db (дата звернення: 16.02.2026).

Коковіхін С.В., Писаренко П.В., Біднина І.О. та ін. Науково-практичні аспекти планування та оперативного управління режимами зрошення сільськогосподарських культур із використанням інформаційних технологій. *Зрошуване землеробство: збірник наукових праць.* 2020. № 73. С. 43–49. https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.8

Любич В.В. Формування продуктивності різних гібридів кукурудзи. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва.* 2020. № 97(1). С. 32–44. https://doi.org/10.31395/2415-8240-2020-97-1-32-44

Мазур В.А., Шевченко Н.В., Яковець Л.А. Агро-біологічні особливості вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біоетанолу в умовах Лісостепу правобережного : монографія. Вінниця : ТОВ «Друк», 2023. 288 с.

Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні / Укр. ін-т експертизи сортів рослин; ред. С. О. Ткачик; укл. А.А. Лівандовський, Т.М. Хоменко та ін. Вінниця, 2016. 82 с.

Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина / за ред. С.І. Мельника, Л.М. Присяжнюк, С.М. Гринів. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2024. 83 с.

Михайлик С.М,, Курочка Н.В., Смульська І.В. та ін. Урожайність, якість зерна та морфологічні ознаки нових ранньостиглих сортів сої культурної [*Glycine max* (L.) Merrill] вітчизняної селекції. *Plant varieties studying and protection.* 2024. 20(3). С. 166-173. https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.3.2024.311810

Михайлик С.М., Смульська І.В., Сонець Т.Д. та ін. Аналіз урожайності сортів сої культурної [Glycine max (L.) Merrill] у зоні Лісостепу України. *Агробіологія.* 2025. № 2. С. 152–161. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-199-2-152-161.

Паламарчук В.Д., Колісник О.М. Сучасна технологія вирощування кукурудзи для енергоефективного та екологобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: «Друк», 2022. 376 с.

Поле онлайн. Мінагрополітики України : офіц. сайт [Електронний ресурс]. URL: https://minagro.gov.ua/map (дата звернення: 10.02.2026).

Посівні площі сільськогосподарських культур за категоріями господарств під урожай 2025 року : стат. інформ [Електронний ресурс]. URL: https://www.km.ukrstat.gov.ua/ukr/statinf/sg/ppskkg24.htm (дата звернення: 10.02.2026).

Стоцька С.В., Дідора В.Г., Клименко Т.В., Коткова Т.М. Вплив елементів технології вирощування на зернову продуктивність кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 142. Ч. 2. С. 126–132. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.16

Шарипіна Я.Ю., Боровська І. Ю., Парій М. Ф. та ін. Екологічна пластичність гібридів кукурудзи селекції ВНІС в умовах України. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Т. 11, № 1. С. 69–78. https://doi.org/10.31548/agr2020.01.069

Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Остапчук Р.В. Сучасний стан виробництва кукурудзи в Україні. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 139. Ч. 2. С. 182–189. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.22

Як йде збирання врожаю в Україні? Latifundist.com. [Електронний ресурс]. URL: https://latifundist.com/urozhaj-online-2025 (дата звернення: 10.02.2026).

FAOSTAT. *Crops and livestock products* [Електронний ресурс]. URL: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (дата звернення: 10.02.2026).

Kapustian M.V., Muzafarov N.M., Chernobay L.M., Kolomatska V.P., Yegorova N.Yu., Kuzmishina N.V. Yield level and stability in corn hybrids of different ripeness groups. *Plant Breeding and Seed Production.* 2021. Issue 120. P. 16–23. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2021.251032

King K., Vyn T.J., Trifunovic S., Eudy D., Lamkey K.R., Archontoulis S.V. Genetic improvement in grain yield and kernel traits of 103- vs. 111-day maize hybrids. *Field Crops Research*. 2025. Vol. 334. Art. 110125. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.110125

Marchenko Tetiana, Skakun Vadim, Lavrynenko Yurii, Zavalnyuk Oleksandr, Skakun Yehor. Biometric indicators and yield of corn hybrids depending on elements of agrotechnology. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 11. P. 90–99. https://doi.org/10.48077/scihor11.2023.90

Raziel A. Ordóñez, Lia Olmedo-Pico, Antonella Ferela, Trifunovic S., Eudy D., Archontoulis S., Vyn T.J. Modern maize hybrids have increased grain yield and efficiency tolerances to nitrogen-limited conditions. *European Journal of Agronomy*. 2025. Vol. 168. Art. 127621. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127621

Tuttle Q.W., Schussler J.R., Habben J.E., Vyn, T.J. Post-anthesis N uptake in DP202216 maize hybrids is associated with greater biomass accumulation and enhanced grain yield. *European Journal of Agronomy*. 2026. Vol. 172. Art. 127843. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127843

Wang L., Chen J., Chu Z., Ren B., Zhao B., Liu P., Dong S., Zhang J. Performance of different corn hybrids and their corresponding water consumption analysis under various water management practices: Insights from experiments conducted under rain-shelters based on the TOPSIS method. *European Journal of Agronomy*. 2025. Vol. 168. Art. 127587. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127587

Yue H., Dias K. O. das G., Zhu J., Bu J., Wei J., Liu P., Yang H., Jiang X. Deciphering the role of genotype-by-environment interaction in summer maize hybrids based on multiple traits using envirotyping techniques and genotype by yield × trait approaches. *Field Crops Research*. 2025. Vol. 326. Art. 109875. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109875

Zhang L., Liang Z., He X., Meng Q., Hu Y., Schmidhalter U., Zhang W., Zou C., Chen X. Improving grain yield and protein concentration of maize (Zea mays L.) simultaneously by appropriate hybrid selection and nitrogen management. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 249. Art. 107754. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107754

References

Vozhehova, R.A., Lavrynenko, Y.O., Marchenko, T.Yu., Pilyarska, O.O., & Zabara, P.P. (2021). Morfolohichni pokaznyky hibrydiv kukurudzy riznykh hrup FAO zalezhno vid elementiv tekhnolohiyi za umov zroshchennya [Morphological indicators of corn hybrids of different FAO groups depending on technology elements under irrigation conditions]. *Ahrarni innovatsiyi [Agricultural Innovations]*, (8), 91–99. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.8.14 [in Ukrainian]

Gadzalo, Ya.M., Vozhehova, R.A., Kokovikhin, S.V., Bilyaeva, I.M., & Drobitko, A.V. (2020). Naukove obgruntuvannia tekhnolohii vyroshchuvannia kukurudzy na zroshuvanykh zemliakh iz urakhuvanniam hidrotermichnykh chynnykiv i zmin klimatu [Scientific justification of corn growing technologies on irrigated lands taking into account hydrothermal factors and climate change]. *Zroshuvane zemlerobstvo: zbirnyk naukovykh prats [Irrigated Agriculture: Collection of Scientific Papers]*, (73), 21–26. https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.3 [in Ukrainian]

Hadzalo, Ya.M., Vozhehova, R.A., & Likar, Ya.O. (2024). Urozhainist ta zbyralna volohist zerna hibrydiv kukurudzy zalezhno vid elementiv ahrotekhnolohii v umovakh zroshennia [Grain yield of maize hybrids depends on elements of agrotechnology under irrigation]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurida Scientific Herald]*, (138), 34–41. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.4 [in Ukrainian]

Dem'yanyuk, O.S., Sherstoboeva, O.V., Klymenko, A.M., & Chabanyuk, Ya.V. (2016). Vplyv hidrotermichnoho rezhymu vehetatsii na ekolohichnyi stan gruntu ta vrozhainist kukurudzy [The influence of the hydrothermal vegetation regime on the ecological state of the soil and corn yield]. *Ahroekolohichnyi zhurnal [Agroecological Journal]*, (3), 45–50 [in Ukrainian]

Ministry of Economy, Environment and Agriculture of Ukraine. (2026). Derzhavnyy reyestr sortiv roslyn, prydatnykh dlya poshyrennya v Ukrayini na 2026 rik [State register of plant varieties suitable for distribution Ukraine in 2026] [Electronic resource] URL: https://me.gov.ua/Documents/Detail/c5e26c83-ac95-43b8-8d53-a5f8f907099f?lang=uk-UA&title=DerzhavniiRestrSortiv-PridatnikhDliaPoshirenniaVUkraini (access date 16.02.2026) [in Ukrainian]

Kokovikhin, S.V., Pisarenko, P.V., Bidnyna, I.O., Shariy, V.O., & Boytsenyuk, Kh.I. (2020). Naukovo-praktychni aspekty planuvannia ta operatyvnoho upravlinnia rezhymamy zroshennia silskohospodarskykh kultur iz vykorystanniam informatsiinykh tekhnolohii [Scientific and practical aspects of planning and operational management of irrigation regimes of agricultural crops using information technologies]. *Zroshuvane zemlerobstvo: zbirnyk naukovykh prats [Irrigated Agriculture: Collection of Scientific Works]*, (73), 43–49. https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.8 [in Ukrainian]

Lyubych, V.V. (2020). Formuvannia produktyvnosti riznykh hibrydiv kukurudzy [Formation of productivity of various corn hybrids]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva [Collection of Scientific Works of the Uman National University of Horticulture]*, *97*(1), 32–44. https://doi.org/10.31395/2415-8240-2020-97-1-32-44 [in Ukrainian]

Mazur, V.A., Shevchenko, N.V., & Yakovets, L.A. (2023). *Ahro-biolohichni osoblyvosti vyroshchuvannya hibrydiv kukurudzy dlya vyrobnytstva bioetanolu v umovakh Lisostepu pravoberezhnoho: monohrafiya* [Agro-biological features of growing corn hybrids for bioethanol production in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe: monograph]. Druk. [in Ukrainian]

Tkachyk, S.O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennya ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh* [Methods of examination of plant varieties of the grain group]. Vinnytsia: FOP Korzun D.Yu. [In Ukrainian]

Melnyk, S.I., Prysyazhnyuk, L.M., & Hryniv, S.M. (Eds.). (2024). *Metodyka provedennya kvalifikatsiynoyi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist' do poshyrennya v Ukrayini. Zahal'na chastyna* [Methods of conducting qualification tests of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part]. Vinnytsia: TOV Tvory. [in Ukrainian]

Mykhailyk, S.M., Kurochka, N.V., Smulska, I.V., Sonets, T.D., & Starychenko, Y.M. (2024). Urozhainist, yakist zerna ta morfolohichni oznaky novykh rannostyhlykh sortiv soi kulturnoi [Glycine max (L.) Merrill] vitchyznianoi selektsii [Yield, grain quality and morphological characteristics of new early maturing varieties of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] from domestic breeding]. *Plant Varieties Studying and Protection*, *20*(3), 166–173. https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.3.2024.311810 [in Ukrainian]

Mykhailyk, S.M., Smulska, I.V., Sonets, T.D., & Orlenko, N.S. (2025). Analiz urozhainosti sortiv soi kulturnoi [*Glycine max* (L.) Merrill] u zoni Lisostepu Ukrainy [Yield analysis of cultivated soybean varieties [*Glycine max* (L.) Merrill] in the Forest-Steppe zone of Ukraine]. *Ahrobiolohiia [Agrobiology]*, (2), 152–161. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-199-2-152-161 [in Ukrainian]

Palamarchuk, V.D., & Kolisnyk, O.M. (2022). *Suchasna tekhnolohiya vyroshchuvannya kukurudzy dlya enerhoefektyvnoho ta ekolohobezpechnoho rozvytku sil's'kykh terytoriy: monohrafiya* [Modern technology of corn cultivation for energy-efficient and environmentally safe development of rural areas: monograph]. Vinnytsia: Druk. [in Ukrainian]

Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. (n.d.). Pole onlay [Field online]. [Electronic resource] URL: https://minagro.gov.ua (access date 11.02.2026) [in Ukrainian]

State Statistics Service of Ukraine. (2025). Posivni ploshchi sil'skohospodars'kykh kul'tur za katehoriyamy hospodarstv pid urozhay 2025 roku: stat. inform [Sown areas of agricultural crops by farm categories for the 2025 harvest: statistical information] [Electronic resource] URL: https://www.km.ukrstat.gov.ua (access date 13.02.2026) [in Ukrainian]

Stotska, S.V., Didora, V.H., Klymenko, T.V., & Kotkova, T.M. (2025). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na zernovu produktyvnist kukurudzy [The impact of elements of cultivation technology on the grain productivity of corn]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurida Scientific Herald]*, *142*(2), 126–132. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.16 [in Ukrainian]

Sharypina, Ya.Yu., Borovska, I.Yu., Pariy, M.F., Galushchenko, S.V., Smirnova, V.A., Kostenko, Yu.S., Kulish, O.Yu., & Shpakovich, I.V. (2020). Ekolohichna plastychnist hibrydiv kukurudzy selektsii VNIS v umovakh Ukrainy [Ecological plasticity of corn hybrids of VNIS selection in Ukrainian conditions]. *Roslynnytstvo ta gruntoznavstvo [Crop Production and Soil Science]*, *11*(1), 69–78. https://doi.org/10.31548/agr2020.01.069 [in Ukrainian]

Shkatula, Yu.M., Zabarna, T.A., & Ostapchuk, R.V. (2024). Suchasnyi stan vyrobnytstva kukurudzy v Ukraini [Current state of corn production in Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurida Scientific Herald]*, *139*(2), 182–189. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.22 [in Ukrainian]

Yak yde zbyrannya vrozhayu v Ukrayini? [How is the harvest going in Ukraine?] [Electronic resource] URL: https://latifundist.com/urozhaj-online-2025 (access date 12.02.2026) [in Ukrainian]

FAOSTAT. Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Electronic resource] URL: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (access date 10.02.2026) [in English]

Kapustian, M.V., Muzafarov, N.M., Chernobay, L.M., Kolomatska, V.P., Yegorova, N.Yu., & Kuzmishina, N.V. (2021). Yield level and stability in corn hybrids of different ripeness groups. *Plant Breeding and Seed Production*, (120), 16–23. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2021.251032 [in English]

King, K., Vyn, T.J., Trifunovic, S., Eudy, D., Lamkey, K.R., & Archontoulis, S.V. (2025). Genetic improvement in grain yield and kernel traits of 103- vs. 111-day maize hybrids. *Field Crops Research*, *334*, Article 110125. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.110125 [in English]

Marchenko, T., Skakun, V., Lavrynenko, Y., Zavalnyuk, O., & Skakun, Y. (2023). Biometric indicators and yield of corn hybrids depending on elements of agrotechnology. *Scientific Horizons*, (11), 90–99. https://doi.org/10.48077/scihor11.2023.90 [in English]

Ordóñez, R.A., Olmedo-Pico, L., Ferela, A., Trifunovic, S., Eudy, D., Archontoulis, S., & Vyn, T.J. (2025). Modern maize hybrids have increased grain yield and efficiency tolerances to nitrogen-limited conditions. *European Journal of Agronomy*, *168*, Article 127621. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127621 [in English]

Tuttle, Q.W., Schussler, J.R., Habben, J.E., & Vyn, T.J. (2026). Post-anthesis N uptake in DP202216 maize hybrids is associated with greater biomass accumulation and enhanced grain yield. *European Journal of Agronomy*, *172*, Article 127843. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127843 [in English]

Wang, L., Chen, J., Chu, Z., Ren, B., Zhao, B., Liu, P., Dong, S., & Zhang, J. (2025). Performance of different corn hybrids and their corresponding water consumption analysis under various water management practices: Insights from experiments conducted under rain-shelters based on the TOPSIS method. *European Journal of Agronomy*, *168*, Article 127587. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127587 [in English]

Yue, H., Dias, K. O. das G., Zhu, J., Bu, J., Wei, J., Liu, P., Yang, H., & Jiang, X. (2025). Deciphering the role of genotype-by-environment interaction in summer maize hybrids based on multiple traits using envirotyping techniques and genotype by yield × trait approaches. *Field Crops Research*, *326*, Article 109875. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109875 [in English]

Zhang, L., Liang, Z., He, X., Meng, Q., Hu, Y., Schmidhalter, U., Zhang, W., Zou, C., & Chen, X. (2020). Improving grain yield and protein concentration of maize (*Zea mays* L.) simultaneously by appropriate hybrid selection and nitrogen management. *Field Crops Research*, *249*, Article 107754. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107754 [in English]

Дата першого надходження статті до видання: 18.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 631.527:631.58
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.20

ВПЛИВ АГРОТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ УРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Р. О. М'ялковський[1], О. І. Мулярчук[2], В. В. Лапчинський[3], Д. П. Плахтій[4]

Зернові культури є основою продовольчої безпеки та важливим джерелом кормів і сировини для промислової переробки. Серед них кукурудза на зерно займає провідне місце завдяки високій продуктивності, адаптивності до різних ґрунтово-кліматичних умов та універсальності використання. Ефективне формування урожаю кукурудзи значною мірою залежить від структурних елементів – кількості рядів зерен у качані, кількості зерен у ряду та маси 1000 зерен. Ці показники визначають кінцеву продуктивність рослин і взаємопов'язані з умовами живлення, сортовими особливостями та агротехнологічними заходами.

Метою роботи було обґрунтувати ефективність поєднання азотних добрив і мікроелементів у технології вирощування кукурудзи на зерно шляхом вивчення їх впливу на формування структурних елементів урожайності та продуктивність гібридів.

У статті досліджено вплив азотно-мікроелементного живлення на формування структурних елементів урожайності кукурудзи. Польові дослідження проводили у 2022–2024 рр. на базі ТзОВ «Емберіка» (Івано-Франківська область) на чорноземі опідзоленому, типовому для лісостепової зони.

[1] доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри садово-паркового господарства, геодезії та землеустрою
(Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський)
e-mail: mialkovskyiro@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0791-436

[2] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
завідувач кафедри садівництва і виноградарства
(Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський)
e-mail: muliarchukoi@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2072-8536

[3] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри садівництва і виноградарства
(Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський)
e-mail: lapchynskyivv@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8367-6334

[4] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри екології і загальнобіологічних дисциплін
(Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський)
e-mail: Loringswoe@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2014-9748

Встановлено, що покращення умов мінерального живлення суттєво підвищує показники структурних елементів урожайності. У гібриду Фернандо кількість рядів зерен зросла від 14,3 до 16,9 шт., зерен у ряду – від 27,7 до 34,0 шт., маса 1000 зерен – від 293,0 до 339,9 г. Для Лауро показники становили 16,1–18,9 рядів, 31,9–36,3 зерен у ряду та 294,4–351,0 г маси 1000 зерен. Найвищі значення демонстрував Акустика: 17,4–20,0 рядів, 34,7–41,4 зерен у ряду, маса 1000 зерен – 308,1–369,1 г.

Результати свідчать, що оптимізація живлення, особливо поєднання азотних добрив із мікроелементами, стимулює інтенсивне формування генеративних органів, покращує налив зерна та накопичення сухої речовини, що забезпечує підвищення продуктивності та якості зерна. Встановлено, що реакція гібридів залежить від їх біологічних особливостей, при цьому пізньостиглі гібриди показують вищі значення структурних елементів.

Отримані дані узгоджуються з вітчизняними та зарубіжними дослідженнями, підтверджуючи доцільність комплексного підходу до живлення кукурудзи на зерно для підвищення ефективності виробництва.

Ключові слова: *кукурудза, структурні елементи урожаю, азотно-мікроелементне живлення, гібриди, маса 1000 зерен, кількість рядів зерен, кількість зерен у ряду.*

INFLUENCE OF AGROTECHNICAL MEASURES ON THE FORMATION OF STRUCTURAL YIELD COMPONENTS OF MAIZE FOR GRAIN IN THE CONDITIONS OF THE WESTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE

R. O. Myalkovsky, O. I. Muliarchuk, V. V. Lapchynskyi, D. P. Plahtiy

Cereal crops are the foundation of food security and an important source of feed and raw materials for industrial processing. Among them, maize for grain occupies a leading position due to its high productivity, adaptability to various soil-climatic conditions, and versatility of use. The effective formation of maize yield largely depends on its structural components – the number of grain rows per ear, the number of grains per row, and the weight of 1000 grains. These indicators determine the final productivity of plants and are closely linked to nutrient availability, varietal characteristics, and agrotechnical practices.

The aim of the study was to substantiate the effectiveness of combining nitrogen fertilizers with micronutrients in maize cultivation technology by investigating their influence on the formation of yield structural elements and the productivity of hybrids.

This study investigated the effect of nitrogen-micronutrient fertilization on the formation of maize yield structural components. Field experiments were conducted during 2022–2024 at TzOV "Emberika" (Ivano-Frankivsk region) on an oxidized chernozem soil, typical for the forest-steppe zone.

It was found that improving mineral nutrition conditions significantly enhanced the structural elements of maize yield. In the hybrid Fernando, the number of grain rows increased from 14.3 to 16.9, grains per row from 27.7 to 34.0, and the weight of 1000 grains from 293.0 to 339.9 g. For Lauro, the values ranged from 16.1–18.9 rows, 31.9–36.3 grains per row, and 294.4–351.0 g for the weight of 1000 grains. The highest values were observed in the hybrid Acustica: 17.4–20.0 rows, 34.7–41.4 grains per row, and 308.1–369.1 g for the weight of 1000 grains.

The results indicate that optimized nutrition, especially the combination of nitrogen fertilizers with micronutrients, stimulates intensive formation of generative organs, improves grain filling, and enhances dry matter accumulation, thereby increasing both productivity and grain quality. The response of hybrids was found to depend on their biological characteristics, with late-maturing hybrids showing higher structural element values.

The obtained data are consistent with domestic and international research, confirming the feasibility of an integrated approach to maize nutrition to improve productivity and efficiency of grain production.

Key words: *maize, yield components, nitrogen-micronutrient fertilization, hybrids, weight of 1000 grains, number of grain rows, number of grains per row.*

Вступ

Зернові культури займають провідне місце у структурі посівних площ більшості країн світу та є основою продовольчої безпеки, забезпечуючи населення продуктами харчування, а тваринництво – високоякісними кормами. Вони також виступають важливою сировинною базою для переробної промисловості, зокрема для виробництва борошна, крохмалю, біоетанолу та інших продуктів. У структурі світового та національного агровиробництва зернові культури формують значну частку валової продукції рослинництва, що обумовлює їх

стратегічне значення для економічного розвитку держави.

Серед зернових культур особливе місце посідає кукурудза, яка відзначається високою продуктивністю, широкою адаптивністю до різних ґрунтово-кліматичних умов та універсальністю використання. Вона є однією з найважливіших культур як у світовому землеробстві, так і в Україні, де стабільно входить до числа лідерів за обсягами виробництва та експорту. Кукурудза використовується у харчовій, кормовій і технічній галузях, що зумовлює її багатофункціональність та високу економічну цінність (Gilli et al., 2023, Григорів та ін., 2025).

Кукурудза на зерно характеризується значним потенціалом урожайності, який за оптимальних умов вирощування може реалізовуватись на високому рівні. Водночас у сучасних умовах господарювання важливим є не лише досягнення високих показників урожайності, а й забезпечення її стабільності в умовах мінливого клімату. Це потребує глибшого розуміння процесів формування врожаю, зокрема ролі окремих структурних елементів, які визначають кінцеву продуктивність рослин (Тоцький та ін., 2020; Dawar et al., 2024).

До основних структурних елементів урожайності кукурудзи належать кількість качанів на рослині, кількість рядів зерен у качані, кількість зерен у ряду та маса 1000 зерен. Саме ці показники є інтегральним відображенням біологічних особливостей гібридів і умов їх вирощування. Узгоджена взаємодія зазначених елементів визначає рівень реалізації генетичного потенціалу культури та формує кінцеву врожайність (Павліченко та ін., 2022; Khomina et al., 2024). Водночас кожен із цих компонентів формується на різних етапах органогенезу і по-різному реагує на вплив агротехнічних та екологічних факторів.

Суттєвий вплив на формування структурних елементів урожаю кукурудзи мають умови вирощування, зокрема рівень мінерального живлення, забезпеченість вологою, температурний режим, густота стояння рослин, а також застосування сучасних агротехнологій. У зв'язку з цим особливого значення набуває оптимізація елементів технології вирощування, спрямована на створення сприятливих умов для росту і розвитку рослин протягом усього вегетаційного періоду.

В умовах змін клімату, які супроводжуються підвищенням температури повітря, нерівномірним розподілом опадів та зростанням частоти стресових явищ (посухи, теплові хвилі), питання підвищення ефективності використання ресурсів набуває особливої актуальності. Одним із ключових напрямів є вдосконалення системи удобрення, зокрема оптимальне поєднання макро- та мікроелементів, що забезпечує активізацію фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, покращення формування генеративних органів та підвищення коефіцієнта використання поживних речовин (Шпаар, 2012; Shahini et al., 2023).

Крім того, сучасні дослідження акцентують увагу на необхідності адаптивного підходу до технологій вирощування кукурудзи, який передбачає врахування регіональних особливостей, типу ґрунтів, гідротермічних умов та біологічних характеристик гібридів. Це дозволяє більш ефективно керувати процесами формування врожаю та мінімізувати негативний вплив стресових факторів (Гаврюшенко та ін., 2025).

Таким чином, вивчення впливу елементів технології вирощування на формування структурних елементів урожаю кукурудзи є актуальним науковим і практичним завданням. Поглиблене дослідження цих процесів сприятиме підвищенню продуктивності культури, стабілізації врожайності в умовах кліматичних змін та зростанню ефективності аграрного виробництва в цілому.

Матеріал і методи

Польові дослідження, спрямовані на досягнення поставленої мети, проводили впродовж 2022–2024 рр. на базі ТзОВ «Емберіка», розташованого в с. Серафинці Коломийського району Івано-Франківської області. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений, типовий для лісостепової зони регіону та придатний для вирощування кукурудза на зерно.

Дослід закладали за двофакторною схемою. Фактор А включав гібриди кукурудзи різних груп стиглості: Фернандо (ФАО 260), Лауро (ФАО 300) та Акустика (ФАО 350). Фактор В передбачав варіанти азотно-мікроелементного живлення: застосування КАС-30; КАС-30 у поєднанні з цинковмісним мікродобривом; КАС-30 у поєднанні з комплексним мікродобривом «Авангард Кукурудза».

Посів проводили у оптимальні строки з дотриманням рекомендованих норм висіву для зони дослідження. Технологія вирощування включала основний і перед-

посівний обробіток ґрунту, внесення добрив та догляд за посівами відповідно до загальноприйнятих агротехнічних вимог.

Облік структурних елементів урожайності здійснювали у фазу повної стиглості зерна. Для аналізу відбирали типові рослини з кожного варіанта досліду. Визначали, кількість качанів на рослині, кількість рядів зерен у качані, кількість зерен у ряду, масу 1000 зерен та урожайність.

Урожайність зерна визначали шляхом збирання облікових ділянок із подальшим перерахунком на стандартну вологість і переведенням у т/га. Статистичну обробку результатів проводили методами варіаційної статистики.

Результати

Формування структурних елементів урожайності є важливим етапом реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи. Саме такі показники, як кількість рядів зерен у качані, кількість зерен у ряду та маса 1000 зерен, визначають рівень продуктивності культури та відображають ефективність перебігу основних фізіолого-біохімічних процесів у рослині. Ці елементи формуються впродовж різних етапів органогенезу і є чутливими до умов вирощування, особливо до рівня мінерального живлення.

Нашими дослідженнями встановлено, що оптимізація азотного та мікроелементного живлення сприяє інтенсифікації ростових процесів, активізації фотосинтетичної діяльності та покращенню формування генеративних органів. Азот відіграє ключову роль у синтезі білків, ферментів і хлорофілу, тоді як мікроелементи забезпечують регуляцію ферментативних систем, підвищують стійкість рослин до стресових умов та сприяють кращому засвоєнню макроелементів. У сукупності це створює передумови для більш повної реалізації генетичного потенціалу гібридів і формування високопродуктивних посівів.

У цілому доведено, покращення умов мінерального живлення, особливо за поєднання азотних добрив із мікроелементами, сприяє більш інтенсивному формуванню генеративних органів кукурудзи та підвищенню основних елементів структури врожаю. Водночас виявлено, що реакція рослин на рівень живлення значною мірою залежить від біологічних особливостей гібридів, зокрема групи стиглості. Більш пізньостиглі гібриди, як правило, характеризуються вищими значеннями досліджуваних показників, що пояснюється довшим періодом вегетації та більшими можливостями для накопичення пластичних речовин.

У результаті проведених досліджень доведено, застосування різних варіантів азотно-мікроелементного живлення істотно впливало на формування структурних елементів урожайності кукурудзи (табл. 1).

Відмічено чітку закономірність до зростання всіх досліджуваних показників за покращення умов живлення рослин, що свідчить про високу ефективність інтегрованого застосування макро- та мікродобрив, що свідчить про високий рівень реалізації продуктивного потенціалу гібрида за сприятливих умов живлення

Узагальнюючи отримані результати, можна зазначити, що комплексне застосування азотних добрив і мікроелементів забезпечує найбільш повне формування структурних елементів урожаю кукурудзи. При цьому спостерігається не лише збільшення кількісних показників, але й покращення їх збалансованості, що є важливим фактором формування високої та стабільної врожайності. Отримані дані підтверджують доцільність використання інтегрованих систем живлення з урахуванням біологічних особливостей гібридів та умов вирощування.

У результаті проведених досліджень встановлено, що застосування різних варіантів підживлення суттєво впливало на формування кількості качанів на одній рослині у досліджуваних гібридів кукурудзи. Найменші показники відзначено на контрольних варіантах без підживлення: у гібриду Фернандо (ФАО 260) – 1,0 шт/рослину, у Лауро (ФАО 300) – 1,1 шт/рослину, у Акустика (ФАО 350) – 1,2 шт/рослину. Застосування КАС-30 сприяло підвищенню цього показника відповідно до 1,1; 1,2 та 1,3 шт./рослину, а поєднання КАС-30 із цинком (Zn) забезпечило подальше зростання, особливо у гібриду Акустика – до 1,4 шт./рослину. Максимальну кількість качанів сформовано за варіанту КАС + Авангард Кукурудза, де у гібридів Фернандо та Лауро показник становив відповідно 1,2 та 1,3 шт/рослину, а у гібриду Акустика – 1,4 шт/рослину. Отримані результати свідчать, що застосування комплексного підживлення сприяє кращій реалізації продуктивного потенціалу гібридів кукурудзи, особливо середньостиглих форм.

Так, у гібриду Фернандо (ФАО 260) у контрольному варіанті сформовано 14,3 рядів зерен у качані, 27,7 зерен у ряду та масу 1000 зерен на рівні 293,0 г. Застосування

Таблиця 1

Вплив азотно-мікроелементного живлення на елементи структури врожаю кукурудзи (середнє за 2022–2024 рр.)

Фактор А	**Фактор В**	**Кількість качанів на рослині, шт**	**Кількість рядів зерен, шт**	**Кількість зерен у ряді, шт**	**Маса 1000 зерен, г**	**Урожайність, т/га**
ФЕРНАНДО ФАО 260	контроль	1,0	14,3	27,7	293,0	9,1
	КАС 30	1,1	15,1	29,9	309,2	9,7
	КАС 30 + Zn	1,1	15,7	31,5	315,8	10,0
	КАС + Авангард Кукурудза	1,2	16,9	34,0	339,9	10,3
Лауро ФАО 300	контроль	1,1	16,1	31,9	294,4	9,4
	КАС 30	1,2	17,8	33,4	318,0	10,0
	КАС 30 + Zn	1,2	18,3	35,5	338,2	10,2
	КАС + Авангард Кукурудза	1,3	18,9	36,3	351,0	10,4
АКУСТИКА ФАО 350	контроль	1,2	17,4	34,7	308,1	9,8
	КАС 30	1,3	18,3	37,9	331,8	10,5
	КАС 30 + Zn	1,4	19,8	39,0	349,9	10,8
	КАС + Авангард Кукурудза	1,4	20,0	41,4	369,1	10,9
$НІР_{0,5}$			0,3	0,11	1,14	0,2
			0,4	0,12	1,14	0,2

КАС-30 забезпечувало помітне покращення цих показників, що свідчить про високу чутливість гібрида до азотного живлення. Додавання мікроелементів додатково підсилювало позитивний ефект, що пояснюється синергетичною взаємодією елементів живлення. Найвищі значення відмічено за комплексного застосування КАС-30 у поєднанні з мікродобривом «Авангард Кукурудза», де кількість рядів зерен досягала 16,9 шт., кількість зерен у ряду – 34,0 шт., а маса 1000 зерен – 339,9 г. Це свідчить про покращення процесів запилення, наливу зерна та накопичення сухої речовини.

Подібна закономірність спостерігалась і у гібриду Лауро (ФАО 300), де всі структурні показники поступово зростали залежно від рівня живлення. Якщо у контролі кількість рядів зерен становила 16,1 шт., а зерен у ряду – 31,9 шт., то за інтенсивнішого живлення ці показники досягали 18,9 та 36,3 шт. відповідно. Маса 1000 зерен також зростала від 294,4 г у контролі до 351,0 г за комплексного застосування добрив. Це вказує на більш ефективне використання поживних речовин і підвищення інтенсивності процесів наливу зерна.

Найвищі показники формування структури врожаю відмічено у гібриду Акустика (ФАО 350), що пояснюється його біологічними особливостями, зокрема більш тривалим періодом вегетації та підвищеною здатністю до акумуляції асимілянтів. У контрольному варіанті кількість рядів зерен становила 17,4 шт., а зерен у ряду – 34,7 шт., тоді як за оптимізації живлення ці показники зростали до 20,0 та 41,4 шт. відповідно. Маса 1000 зерен збільшувалась від 308,1 г у контролі до 369,1 г за внесення КАС-30 у поєднанні з мікродобривом.

Аналіз урожайності зерна кукурудзи показав, що застосування різних варіантів підживлення суттєво впливало на продуктивність досліджуваних гібридів. Найнижчу врожайність отримано на контрольних варіантах без підживлення: у гібриду Фернандо (ФАО 260) – 9,1 т/га, Лауро (ФАО 300) – 9,4 т/га, Акустика (ФАО 350) – 9,8 т/га. Застосування КАС-30 сприяло підвищенню врожайності відповідно до 9,7; 10,0 та 10,5 т/га, що свідчить про позитивний вплив азотного живлення на формування продуктивності рослин. Поєднання КАС-30 із цинком (Zn) забезпечило подальше зростання врожайності, зокрема у гібриду

Акустика до 10,8 т/га. Максимальні показники врожайності зерна отримано за варіанту КАС + Авангард Кукурудза, де у гібриду Фернандо урожайність становила 10,3 т/га, Лауро – 10,4 т/га, а найвищий показник сформував гібрид Акустика – 10,9 т/га. Отримані результати підтверджують високу ефективність комплексного застосування азотних добрив і мікродобрив у технології вирощування кукурудзи.

У цілому встановлено, що покращення умов мінерального живлення, особливо за поєднання азотних добрив із мікроелементами, сприяє більш інтенсивному формуванню генеративних органів кукурудзи та підвищенню основних елементів структури врожаю. При цьому більш пізньостиглі гібриди характеризуються вищими значеннями досліджуваних показників.

Значення $НІР_{0,5}$ підтверджують достовірність отриманих результатів. Для кількості качанів на рослині $НІР_{0,5}$ становила 0,11–0,12 шт., для кількості рядів зерен – 0,3–0,4 шт., для кількості зерен у ряді – 1,14 шт., а для врожайності зерна – 0,2 т/га. Оскільки різниця між варіантами перевищувала ці значення, вплив гібридів і систем підживлення на продуктивність кукурудзи є статистично достовірним.

Обговорення

Отримані результати свідчать, що формування структурних елементів урожайності кукурудза значною мірою залежить від рівня забезпечення рослин елементами живлення, особливо азотом та мікроелементами. Подібні висновки наводять В.В. Глива та ін. (2022) відзначають, що оптимізація живлення сприяє підвищенню продуктивності зернових культур за рахунок покращення елементів структури врожаю (Глива та ін., 2022).

Збільшення кількості рядів зерен у качані та кількості зерен у ряду за внесення КАС-30 у поєднанні з мікродобривами можна пояснити покращенням забезпечення рослин поживними речовинами у критичні періоди розвитку. За даними М.І. Дудки та ін. (2020), саме на ранніх етапах органогенезу формується потенціал продуктивності кукурудзи, тому достатнє забезпечення елементами живлення у цей період є визначальним (Дудка та ін., 2020; Jiang Y. et al., 2023).

Зростання маси 1000 зерен за покращення умов живлення обумовлене інтенсифікацією процесів наливу зерна та накопичення сухої речовини. Як зазначає, застосування мікроелементів, зокрема цинку, сприяє підвищенню ферментативної активності та покращенню обміну речовин у рослинах, що позитивно впливає на формування виповненого зерна (Єременко та ін., 2025).

Встановлено також, що реакція гібридів на умови живлення була різною, що пояснюється їх біологічними особливостями та генетичним потенціалом (Каленська та ін., 2025).

Отримані результати узгоджуються з даними вітчизняних і зарубіжних досліджень, у яких відзначено позитивний вплив поєднаного застосування азотних добрив і мікроелементів на формування елементів структури врожаю кукурудзи (Лень та ін., 2021).

Висновки

Дослідження показали, що застосування інокулянтів, мікоризного препарату та мікродобрив істотно впливає на формування структурних елементів урожаю та якість зерна кукурудзи. Найвищі показники маси 1000 зерен, кількості рядів та зерен у ряді досягалися за комплексного використання азотного живлення у поєднанні з мікродобривами. Результати свідчать про доцільність застосування комплексної агротехнології для підвищення продуктивності та якості зерна.

Список використаної літератури

Гаврюшенко О.О., Рудас В.О. Вплив деяких елементів технології вирощування на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах північного Степу України. *Таврійський науковий вісник.* 2025. № 142*(1).* С. 30–35. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.5

Глива В. В., Гадзало А. Я., Герешко Г. С., Случак О. М., Пащак М. О. Якість зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від норм внесення мінеральних добрив. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2022. Т. 71. № 1. С. 66–79. https://doi.org.10.32636/01308521.2022-(71)-1-4

Григорів Я. Я., Турак Ю. О. Особливості вирощування кукурудзи в сучасних умовах (оглядова). *Таврійський науковий вісник.* 2024. Вип. 137. С. 70–76. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.9

Дудка М. І., Якунін О. П., Пустовій С. І. Вплив позакореневого підживлення на формування зернової продуктивності кукурудзи за вирощування її після соняшнику. *Таврійський науковий вісник.* 2020. № 115. С. 42–48. https://doi.org.10.32851/2226-0099.2020.115.6

Єремко Л., Кирлиця А. (2025). Вплив біо- та мінеральних добрив на врожайність зерна кукурудзи. *Науковий прогрес та інновації.* 2025. Т. 28. № 3. С. 19–24. https://doi.org/10.31210/spi2025.28.03.03

Каленська С., Свистунов Ю. Антал Т. Врожайність гібридів кукурудзи залежно від норм добрив та регуляторів росту рослин на типових чорноземах Лівобережного Лісостепу України. 2025. *Науковий прогрес та інновації.* Т. 28. № 1. С. 25–31. https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.05

Лень О. І., Тоцький В. М., Гангур В .В., Єремко Л. С. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2021. № 2-б. С. 52–58. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06

Павліченко К. В. Формування елементів структури врожаю гібридами кукурудзи під впливом макро- і мікродобрив. *Аграрні інновації.* 2022. № 12. С. 77–84. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.12

Тоцький В. М., Лень О. І. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від системи удобрення та основного обробітку ґрунту. *Селекція і насінництво.* 2020. № 117. С. 199–205. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.207173

Шпаар Д. Кукурудза: вирощування, збір, зберігання і використання : монографія. Київ : Зерно, 2012. 464 с.

Dawar K., Dawar A., Tariq M. et al. Enhancing nitrogen use efficiency and yield of maize *(Zea mays L.)* through ammonia volatilization mitigation and nitrogen management approaches. *BMC Plant Biology.* 2024. Vol. 24. P. 74. https://doi.org.10.1186/s12870-024-04749-7

Gilli B. R., Grassmann C. S., Mariano E., Rosolem C. A. Nitrogen fertilization boosts maize grain yield, forage quality, and estimated meat production in maize–forage intercropping. *Agriculture.* 2023. Vol. 13. No. 12. P. 2200. https://doi.org.10.3390/agriculture13122200

Jiang Y., Wei H., Hou S., Yin X., Wei S., Jiang D.Estimation of Maize Yield and Protein Content under Different Density and N Rate Conditions Based on UAV Multi-Spectral Images. *Agronomy.* 2023. Vol. 13. No 2. P. 421. https://doi.org/10.3390/agronomy13020421

Khomina V., Lapchynskyi V., Nebaba K., Pustova Z., Plahtiy D. Microbial inoculants as a means of improving soil and crop yields. *Scientific Horizons.* 2024. Vol. 27, No. 10. P. 79–90. https://doi.org.10.48077/scihor10.2024.79

Shahini E., Myalkovsky R., Nebaba K., Ivanyshyn O., Liubytska D. Economic and biological characteristics and productivity analysis of sunflower hybrids. *Scientific Horizons.* 2023. Vol. 26, No. 8. P. 83–95. https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.83

References

Havriushenko, O.O., & Rudas, V.O. (2025). Vplyv deiakykh elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na produktyvnist hibrydiv kukurudzy v umovakh pivnichnoho Stepu Ukrainy [Influence of some cultivation technology elements on maize hybrid productivity in the Northern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavrii scientific university]*, 142*(1),* 30–35. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.5 [in Ukrainian].

Hlyva, V. V., Hadzalo, A. Ya., Hereshko, H. S., Sluchak, O. M., & Pashchak, M. O. (2022). Yakist' zerna hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti zalezhno vid norm vnesennia mineral'nykh dobryv [Grain quality of maize hybrids of different maturity groups depending on the rates of mineral fertilizer application]. *Peredhirne ta hirs'ke zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry]*, 71(1), 66–79. https://doi.org/10.32636/01308521.2022-(71)-1-4 [in Ukrainian].

Hryhoriv, Ya. Ya., & Turak, Yu. O. (2024). Osoblyvosti vyroshchuvannia kukurudzy v suchasnykh umovakh (ohliadova) [Peculiarities of maize cultivation under modern conditions: a review]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavriya Scientific Bulletin]*, 137, 70–76. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.9 [in Ukrainian].

Dudka, M. I., Yakunin, O. P., & Pustovii, S. I. (2020). Vplyv pozakorenevoho pidzhyvlennia na formuvannia zernovoi produktyvnosti kukurudzy za vyroshchuvannia yii pislia soniashnyku [Influence of foliar feeding on the formation of maize grain productivity when grown after sunflower]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavriya Scientific Bulletin]*, 115, 42–48. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.6 [in Ukrainian].

Yeremko, L., & Kyrlytsia, A. (2025). Vplyv bio- ta mineralnykh dobryv na vrozhainist zerna kukurudzy [The effect of bio- and mineral fertilizers on maize grain yield]. *Naukovyi prohres ta innovatsii [Scientific Progress and Innovations]*, 28(3), 19–24. https://doi.org/10.31210/spi2025.28.03.03 [in Ukrainian].

Kalenska, S., Svystunov, Yu., & Antal, T. (2025). Vrozhainist hibrydiv kukurudzy zalezhno vid norm dobryv ta rehuliatoriv rostu roslyn na typovykh chornozemakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Yield of maize hybrids depending on fertilizer rates and plant growth regulators on typical chernozems of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. Naukovyi prohres ta innovatsii [Scientific Progress and Innovations], 28(1), 25–31. https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.05 [in Ukrainian].

Len, O.I., Totskyi, V.M., Hanhur, V.V., & Yeremko, L.S. (2021). Vplyv systemy udobrennia ta osnovnoho obrobitku ґruntu na produktyvnist hibridiv kukurudzy [Effect of fertilization and tillage systems on maize hybrid productivity]. *Visnyk PDAA [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy]*, 2-b, 52–58. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06 [in Ukrainian].

Pavlichenko, K. V. (2022). Formuvannya elementiv struktury vrozhayu hibridamy kukurudzy pid vplyvom makro i mikrodobryv [Formation of yield structure elements by maize hybrids under the influence of macro- and micronutrients]. *Ahrarni innovatsiyi [Agrarian Innovations]*, (12), 77–84. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.12 [in Ukrainian].

Totskyi, V.M., & Len, O.I. (2020). Produktyvnist hibridiv kukurudzy zalezhno vid systemy udobrennia ta osnovnoho obrobitku gruntu [Productivity of maize hybrids depending on fertilization and basic tillage systems]. *Selektsiia i nasinnytstvo [Breeding and Seed Production]*, 117, 199–205. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.207173 [in Ukrainian].

Shpaar, D. (2012). Kukurudza: vyroshchuvannia, zbir, zberihannia i vykorystannia: monohrafiia [Maize: cultivation, harvesting, storage and use: monograph]. Kyiv: Zerno, 464 p. [in Ukrainian].

Dawar, K., Dawar, A., Tariq, M., et al. (2024). Enhancing nitrogen use efficiency and yield of maize (Zea mays L.) through ammonia volatilization mitigation and nitrogen management approaches. *BMC Plant Biology*, 24, 74. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04749-7 [in English].

Gilli, B. R., Grassmann, C. S., Mariano, E., & Rosolem, C. A. (2023). Nitrogen fertilization boosts maize grain yield, forage quality, and estimated meat production in maize–forage intercropping. *Agriculture*, 13(12), 2200. https://doi.org/10.3390/agriculture13122200 [in English].

Jiang, Y., Wei, H., Hou, S., Yin, X., Wei, S., & Jiang, D. (2023). Estimation of Maize Yield and Protein Content under Different Density and N Rate Conditions Based on UAV Multi-Spectral Images. *Agronomy,* 13 (2), 421. https://doi.org/10.3390/agronomy13020421 [in English].

Khomina, V., Lapchynskyi, V., Nebaba, K., Pustova, Z., & Plahtiy, D. (2024). *Microbial inoculants as a means of improving soil and crop yields. Scientific Horizons*, 27(10), 79–90. https://doi.org/10.48077/scihor10.2024.79 [in English].

Shahini, E., Myalkovsky, R., Nebaba, K., Ivanyshyn, O., & Liubytska, D. (2023). Economic and biological characteristics and productivity analysis of sunflower hybrids. *Scientific Horizons*, 26(8), 83–95. https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.83 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 30.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.11:631.8:631.559
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.21

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ОНТОГЕНЕЗУ ЗА ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

В. В. Остапчук[1], Ю. М. Михайловин[2], Л. М. Кононенко[3]

У статті узагальнено результати трирічних польових досліджень 2024 –2026 рр., спрямованих на вивчення впливу різних варіантів мінерального живлення на формування морфометричних показників і збереженість рослин пшениці озимої на початкових етапах органогенезу. Дослідження проведено з урахуванням внесення мінеральних добрив у різних нормах 60, 90 та 100 кг/га, під час сівби, що дозволило оцінити їх вплив на розвиток кореневої системи, надземної маси та інтенсивність кущення рослин.

Встановлено, що застосування мінеральних добрив істотно впливало на формування кореневої системи пшениці озимої. За внесення суперфосфату довжина коренів у середньому становила 6,1 та 6,6 см, карбаміду 6,3 і 6,73 см, діамофоски 6,43 та 6,67 см, що перевищувало контрольний варіант без удобрення на 1,8 см. Простежувалася чітка тенденція до зростання показників із підвищенням норми добрив, де приріст довжини коренів складав у середньому від 0,2 до 0,5 см. Максимальні значення 7,3 см зафіксовано у 2025–2026 рр. за внесення карбаміду та діамофоски у нормі 100 кг/га, що свідчить про активізацію ростових процесів і покращення умов мінерального живлення.

Аналіз морфометричних показників надземної частини рослин показав, що довжина рослин також залежала від виду добрива та року дослідження. Найвищі значення у 2024 році відмічено за внесення діамофоски 18,7 см, у 2025 році за внесення суперфосфату 18,5 см, тоді як у 2026 році спостерігалося певне зниження показників, що зумовлено впливом гідротермічних умов. У контрольному варіанті довжина рослин залишалася нижчою або нестабільною, що підтверджує визначальну роль мінерального живлення у формуванні вегетативної маси.

Ключові слова: *карбамід, діамофоска, суперфосфат, збереженість рослин після перезимівлі, коефіцієнт кущення.*

[1] викладач-стажист кафедри рослинництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: vasyl0304@icloud.com
ORCID: 0009-0003-0522-533X
[2] доктор філософії,
викладач-стажист кафедри рослинництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: mihajlovinulia@gmail.com
ORCID: 0009-0001-3185-4741
[3] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри рослинництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: lidiyakononenko@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7037-2692

PECULIARITIES OF EARLY ONTOGENETIC DEVELOPMENT OF WINTER WHEAT UNDER MINERAL FERTILIZATION

V. V. Ostapchuk[1], Yu. M. Mykhailovyn[2], L. M. Kononenko[3]

The article summarizes the results of three-year field studies conducted in 2024–2026, aimed at investigating the influence of sunflower as a predecessor and various options of mineral nutrition on the formation of morphometric parameters and the survival of winter wheat plants at the early stages of organogenesis. The research was carried out taking into account the application of mineral fertilizers at different rates (60, 90 and 100 kg/ha) during sowing, which made it possible to assess their effect on the development of the root system, aboveground biomass and the intensity of plant tillering.
It was established that the application of mineral fertilizers significantly influenced the formation of the root system of winter wheat. Under the application of superphosphate, the root length averaged 6.1 and 6.6 cm; urea 6.3 and 6.73 cm; diammonium phosphate 6.43 and 6.67 cm, which exceeded the control variant without fertilization by 1.8 cm. A clear tendency towards an increase in indicators with rising fertilizer rates was observed, where the increment in root length averaged from 0.2 to 0.5 cm. The maximum values 7.3 cm were recorded in 2025–2026 under the application of urea and diammonium phosphate at a rate of 100 kg/ha, which indicates the intensification of growth processes and improvement of mineral nutrition conditions.
The analysis of morphometric indicators of the aboveground part of plants showed that plant height also depended on the type of fertilizer and the year of study. The highest values in 2024 were observed under the application of diammonium phosphate 18.7 cm, in 2025 under superphosphate application 18.5 cm, while in 2026 a certain decrease in indicators was noted, which was due to the influence of hydrothermal conditions. In the control variant, plant height remained lower or unstable, which confirms the decisive role of mineral nutrition in the formation of vegetative biomass.

Key words: *urea, diammonium phosphate, superphosphate, plant survival after overwintering, tillering coefficient.*

Вступ

Пшениця озима (*Triticum aestivum* L.) є однією з найважливіших культур у світі, оскільки вона забезпечує продовольчу безпеку людей і слугує як кормова одиниця для вирощування сільськогосподарських тварин (Shiferaw et al., 2013).

Тому культура завжди має актуальність для дослідження та покращення сільськогосподарських показників та вдосконалення технології вирощування (Yang et al., 2019; Jeyasri et al., 2021).

Формування високої продуктивності пшениці озимої значною мірою залежить від сільськогосподарського року, попередника, кількості забезпечення мінерального живлення та елементами живлення на початкових етапах органогенезу. Саме в осінній період пшениця озима кущиться та формує майбутній врожай (Лихочвор і Петриченко, 2010; Жатова, 2015; Каленська і Дергачов, 2016; Гангур та ін., 2020)

В дослідженні (Каленська та ін., 2024) із застосуванням добрив при посіві на пшениці озимі м'які Dura-SOP Actibion, Dura-SOP Phos, Dura-SOP Elite від 80 до 120 кг/га фізичної маси. У виробничому контролі проводили внесення нітроамофоски в нормі 200 кг/га при посіві, та був абсолютний контроль без внесення добрив. В контрольному варіанті та у виробничому врожайність була 3,17 т/га і виробничому 4,88 т/га. із застосуванням добрив Dura-SOP Actibion врожайність була найвищою 6,79 т/га із внесенням 120 кг/га фіз. маси, та за внесення Dura-SOP Phos врожайність зменшилась до 5,56 т/га при внесенні максимальних доз. У варіанті із застосуванням Dura-SOP Elite показники врожайності були середніми 6,58 т/га.

В роботі (Mazurenko et al., 2021) із застосуванням добрива амофоски при посіві на пшеницю озиму сорту Богдана української селекції в нормі 200 кг/га врожайність середня за роки дослідження була 7,2 т/га при цьому в контрольному варіанті врожайність впала на 2 т/га і склала 5,2 т/га. Це достовірно підкреслює значимість добрив при посіві озимих культур.

В дослідженнях (Астахова та ін., 2021) із удобренням пшениці озимої при посіві в нормі від $N_{30}P_{60}K_{30}$. Попередником був ячмінь ярий який дискували після збору врожаю. Врожайність пшениці озимої м'якої складала за роки трирічних досліджень від 4,8 до 6,5 т/га.

Дослідження, (Neupane et al.,2022) показало, що внаслідок змін клімату пшениця

озима як сільськогосподарська культура демонструє знижену врожайність, особливо в регіонах з недостатньою кількістю опадів.

У роботі (Qiao et al., 2023) доведено що дата сівби пшениці озимої насамперед визначається реакцією рослин на фотоперіодизм і верналізацію, що у свою чергу впливає на розвиток генеративних органів. Коли дата посіву пшениці озимої в більш пізні строки, це призводить до зменшення росту та розвитку в осінній період вегетації культури.

Доведено (Jarecki, 2024), що внесення мінеральних добрив в критичні фази розвитку пшениці озимої м'якої впливають на її врожайність. Так за внесення азотних добрив нормі 100, 150, 200 кг/га на початку вегетації в середньому врожайність за роки дослідження була від 6,75 до 7,99 т/га. При цьому досліджувався вплив внесення добрив із запізненням на 30 днів в якому відмічено зниження врожайності від 5,72 до 7,18 т/га.

У роботі (Liu et al., 2021) із дослідженням строків посіву пшениці озимої встановлено, що із затримкою посіву на один день порівняно з оптимальними датами призводить до зниження врожайності було зумовлене із повільнішим розвитком в осінній період вегетації та зниженням засвоювання азотних добрив на 10 % та зниженням врожайності пов'язаним: із низьким рівнем кущення культури в період осінньої вегетації.

При дослідженні впливу вмісту білка у більш ранніх та пізніх посівах озимої пшениці доведено, що вміст білка був вищим при посіві в більш пізні строки посіву порівняно з загальноприйнятими в Правобережному лісостепу України (Ferrise et al., 2010).

Матеріал і методи

Дослідження проводились у 2024–2026 рр. на дослідних ділянках Уманського національного університету. Дослідне поле характеризувалось рівнинним рельєфом із незначним схилом та майже без проявів ґрунтової ерозії. Схема досліду включала контроль без внесення добрив при посіві пшениці озимої. Внесення суперфосфату, карбаміду, діамофоски, при посіві в нормі 60 кг/га, 90 кг/га, 100 кг/га, повторність досліду триразова, розміщення варіантів послідовне. Попередником був соняшник, вирубування монолітів здійснювали в другій половині лютого розмір був 30 на 30 см. Обробку даних здійснювали за використання пакет стандартних програм Microsoft Excel 2022.

Результати

Довжина кореневої системи (табл. 1) пшениці озимої на початок відновлення вегетації в залежності від попередника на тлі внесення мінеральних добрив та попередника, у середньому в 2024–2026 роки дослідження, за внесення суперфосфату довжина коренів становила від 6,1 до 6,6 см**,** за карбаміду від 6,3 до 6,73 см**,** та діамофоски від 6,43 до 6,67 см, що на 1,8 см більше порівняно з контролем без добрив 4,97 см, при цьому простежувалась тенденція до зростання показників із підвищенням норми добрив від 60 до 100 кг/га**,** де приріст становив у середньому від 0,2 до 0,5 см**,** а найвищі значення довжини кореневої системи 7,3 см відмічено у 2025–2026 роки вегетації пшениці озимої за внесення карбаміду та діамофоски у нормі 100 кг/га**,** що перевищувало контрольні варіанти від 2,0 до 2,3 см**,** тоді як на неудобреному фоні розвиток кореневої системи залишався найнижчим у всі роки досліджень.

Дані, відображені у табл. 2, свідчать про варіабельність показників загальної довжини рослин пшениці озимої залежно від виду мінерального удобрення та його норми внесення при посіві, що вказує на суттєву роль елементів мінерального живлення у формуванні морфометричних параметрів рослин на початкових етапах органогенезу.

Встановлено, що у 2024 році за внесення суперфосфату довжина рослин становила до 17,5 см, за використання карбаміду до 18,1 см, тоді як за застосування діамофоски цей показник коливався в межах 18,7 см, водночас у контрольному варіанті без внесення добрив довжина рослин перебувала на рівні від 11,6 до 19,3 см.

У 2025 році спостерігалася тенденція до підвищення морфометричних показників, за внесення суперфосфату довжина рослин становила до 18,5 см, карбаміду до 18,4 см, при цьому внесення діамофоски до 18,3 см, тоді як у варіанті без удобрення показник знаходився в межах 18,2 см.

У 2026 році довжина рослин дещо зменшувалася порівняно з попереднім роком і становила у варіанті із внесенням суперфосфату до 18,5 см, карбаміду до 17,9 см, та діамофоски 17,3 см, тоді як у контрольному варіанті 16,7 см.

Коефіцієнт кущення пшениці озимої істотно варіював залежно від виду та норми внесення мінеральних добрив при посіві, що підтверджує важливу роль мінерального живлення у формуванні продуктивного кущення культури (табл. 3).

Таблиця 1

Довжина кореневої системи пшениці озимої на початок відновлення вегетації (ВВСН 21) в залежності від попередника на тлі внесення мінеральних добрив та попередника, см (2024 –2026 рр.)

Варіант удобрення	2024			2025			2026			Середнє		
	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га	60 к/га	90 кг/га	100 кг/га	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га
Суперфосфат	5,3	5,8	5,3	5,9	6,7	7,2	7,1	7,2	7,3	6,1	6,57	6,6
Карбамід	5,4	5,9	5,6	6,7	7,1	7,3	6,8	7	7,3	6,3	6,67	6,73
Діамофоска	5,4	5,4	5,6	6,7	7,1	7,3	7,2	7	7,1	6,43	6,5	6,67
Без добрив (контроль)	5	4,3	4,5	4,1	5,3	5	5,1	5,2	5,4	4,73	4,93	4,97
$НІР_{05}$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	–	–	–

Таблиця 2

Загальна довжина рослин пшениці озимої (ВВСН 21) в залежності від попередника та внесення мінеральних добрив при посіві, см (2024–2026 рр.)

Варіант удобрення	2024			2025			2026			Середнє		
	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га	60 к/га	90 кг/га	100 кг/га	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га
Суперфосфат	16	14	17,5	18,5	18,5	18	16	16,5	18,5	16,8	16,3	18
Карбамід	15,9	13,2	18,1	18,3	18,4	17,7	15,3	15,5	17,9	16,5	15,7	17,9
Діамофоска	15,8	12,4	18,7	18,1	18,3	17,4	14,6	14,5	17,3	16,2	15,1	17,8
Без добрив (контроль)	15,7	11,6	19,3	17,9	18,2	17,1	13,9	13,5	16,7	15,8	14,4	17,7
$НІР_{05}$	0,7	0,6	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	–	–	–

Зокрема, у 2024 році внесення суперфосфату коефіцієнт кущення становив від 3,3 до 4,3 %, при цьому на фоні використання карбаміду від 4,0 до 4,3 %, тоді як застосування діамофоски забезпечило найкращі показники від 4,8 до 4,9 %, що суттєво перевищувало контрольний варіант без удобрення, де значення перебували лише в межах від 2,9 до 3,1 %.

У 2025 році спостерігалася тенденція до зростання інтенсивності кущення. із внесенням суперфосфату та діамофоски показник становив до 5,1 %, при застосуванні карбаміду 5,0 %, тоді як на контролі він коливався в межах від 3,0 до 4,0 %, що свідчить про значний стимулюючий вплив мінерального удобрення на формування продуктивних пагонів.

У 2026 році процес кущення характеризувався ще вищими значеннями за внесення суперфосфату коефіцієнт кущення становив від 5,2 до 5,7 %, та за внесення карбаміду від 4,9 до 5,2 %, і на діамофоскі від 5,5 до 5,7 %, що було максимальним серед досліджуваних варіантів, тоді як у контрольному варіанті цей показник залишався значно нижчим 4,1 %.

Збереженість рослин пшениці озимої на початок весняної вегетації в залежності від попередників та добрив при внесенні під час посіву (табл. 4, рис. 1).

У варіанті із застосуванням суперфосфату відзначено стабільно високі показники збереженості рослин упродовж усього періоду досліджень. Так, у 2024 році цей показник варіював у межах 93–95 %, що свідчить про сприятливий вплив фосфорного живлення на процеси укорінення та формування первинної кореневої системи.

У 2025 році спостерігалося певне зниження рівня збереженості до 90–91 %, що, ймовірно, зумовлено менш сприятливими погодними умовами осінньо-зимового періоду. Водночас у 2026 році показники знову зросли до 96–97 %, що характеризує високу ефективність фосфорних добрив

Таблиця 3

Коефіцієнт кущення пшениці озимої (ВВСН 21) в залежності від норми внесення добрив при посіві та попередника, % (2024–2026 рр.)

Варіант удобрення	2024			2025			2026			Середнє		
	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га	60 к/га	90 кг/га	100 кг/га	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га
Суперфосфат	3,3	4	4,3	4,6	4,8	5,1	5,2	5,5	5,7	4,37	4,77	5,03
Карбамід	4	4,3	4,1	4,9	4,7	5	5,2	5,1	4,9	4,70	4,70	4,67
Діамофоска	4,8	4,8	4,9	4,9	4,9	5,1	5,5	5,6	5,7	5,07	5,10	5,23
Без добрив (контроль)	2,9	3	3,1	3,9	3	4	4,1	4,2	4,4	3,63	3,40	3,83
$НІР_{05}$	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	–	–	–

Таблиця 4

Збереженість рослин пшениці озимої на початок весняної вегетації (ВВСН 21) в залежності від попередників та добрив при внесенні під час посіву, % (2024–2026 рр.)

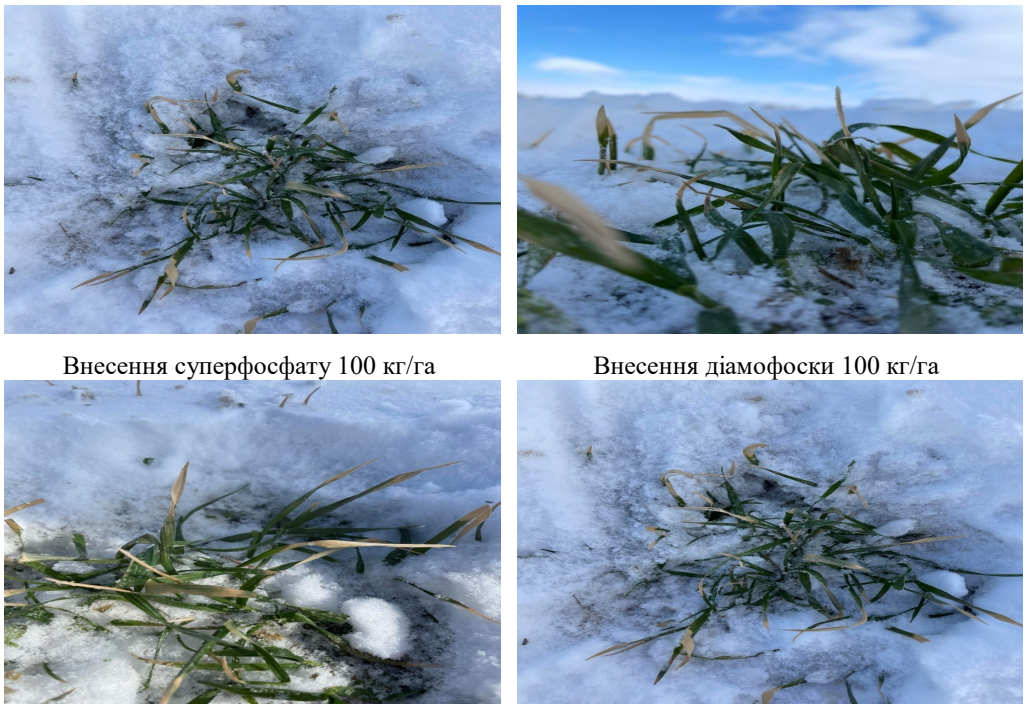
Варіант удобрення	2024			2025			2026			Середнє		
	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га	60 к/га	90 кг/га	100 кг/га	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га	60 кг/га	90 кг/га	100 кг/га
Суперфосфат	93	95	95	90	91	90	96	97	96	93	94	93
Карбамід	89	81	83	89	85,5	89	91	92	92	89	86	88
Діамофоска	92	91	90	92	93	94	95	93	97	93	92	93
Без добрив (контроль)	81	85	91	92	90	93	89	90	89	87	88	91
$НІР_{05}$	4,4	4,4	4,4	4,5	4,4	4,5	4,6	4,6	4,6	–	–	–

у забезпеченні адаптивної стійкості рослин. Середній показник за роки досліджень становив 93–94 %, що дозволяє констатувати високу агрономічну доцільність застосування суперфосфату при вирощуванні пшениці озимої.

Застосування карбаміду характеризувалося дещо нижчим рівнем збереженості рослин та більш вираженою мінливістю показників у розрізі років досліджень. У 2024 році значення показника коливалися від 81 до 89 %, що може бути пов'язано з інтенсифікацією ростових процесів під впливом азотного живлення, яке за певних умов здатне підвищувати чутливість рослин до стресових факторів. У 2025 році рівень збереженості становив 89 %, а у 2026 році спостерігалося підвищення цього показника до 92 %. Середні значення за три роки перебували в межах 89 %, що свідчить про відносно помірний позитивний вплив азотного удобрення на життєздатність рослин у початкові етапи органогенезу.

Варіант із внесенням діамофоски відзначався високим рівнем стабільності досліджуваного показника. У 2024 році збереженість рослин становила 92 %, у 2025 році 94 %, а у 2026 році 97 %. Середні значення за роками досліджень перебували в межах 93 %. Отримані результати свідчать, що комплексне забезпечення рослин основними макроелементами живлення (азотом, фосфором та калієм) створювало більш сприятливі умови для формування потужної кореневої системи, оптимізації фізіолого-біохімічних процесів та підвищення загальної резистентності рослин до несприятливих факторів навколишнього середовища.

У контрольному варіанті без внесення мінеральних добрив показники збереженості рослин характеризувалися порівняно нижчим рівнем та більшою залежністю від погодних умов років досліджень. У 2024 році



Внесення суперфосфату 100 кг/га | Внесення діамофоски 100 кг/га

Контроль (без добрив) | Внесення карбаміду 100 кг/га

Рис. 1. Збереженість рослин пшениці озимої на початок весняної вегетації в залежності від попередників та добрив при внесенні під час посіву, 2026 р. (ВВСН 21)

вони становили 91 %, у 2025 році 93 %, а у 2026 році 90 %. Середні значення коливалися в межах 91 %.

Обговорення

Отримані результати узгоджуються з даними сучасних досліджень, зокрема встановлено, що застосування мінеральних добрив сприяє активізації фізіолого-біохімічних процесів у рослинах пшениці озимої, покращує засвоєння елементів живлення та забезпечує підвищення продуктивності культури. За даними дослідження (Korotkova & Karasenko, 2023), внесення мінеральних добрив у поєднанні з біостимуляторами забезпечувало приріст урожайності до 15–21 % порівняно з контролем, що підтверджує високу ефективність оптимізації мінерального живлення на ранніх етапах розвитку рослин

Висновки

За результатами проведених трирічних досліджень встановлено, що формування морфометричних показників та збереженість рослин пшениці озимої на початкових етапах органогенезу суттєво залежали від рівня та збалансованості мінерального живлення за вирощування культури. Виявлено чітку закономірність інтенсифікації ростових процесів за умов внесення мінеральних добрив, що проявлялося у покращенні розвитку кореневої системи, підвищенні довжини надземної частини рослин та зростанні коефіцієнта кущення.

Доведено, що застосування фосфорних та комплексних добрив сприяло формуванню більш розвиненої кореневої системи, що забезпечувало ефективніше використання ґрунтової вологи та елементів живлення. Максимальні показники довжини коренів зафіксовано у варіантах із внесенням карбаміду та діамофоски у підвищених нормах, що свідчить про активізацію фізіолого-біохімічних процесів у рослинах та підвищення їх адаптивного потенціалу. Водночас на неудобреному фоні розвиток кореневої системи обмежувався, що негативно впливало на подальший ріст і розвиток рослин.

Аналіз морфометричних показників надземної маси показав, що застосування мінеральних добрив забезпечувало формування більшої довжини рослин, хоча варіабельність показників значною мірою визначалася гідротермічними умовами років досліджень. Незважаючи на це, у більшості варіантів удобрення простежувалася тенденція до переваги над контролем, що підтверджує визначальну роль мінерального

живлення у формуванні вегетативної маси на ранніх етапах розвитку.

Встановлено, що інтенсивність кущення пшениці озимої істотно зростала за внесення мінеральних добрив, особливо комплексних форм, що забезпечують рослини необхідними макроелементами у збалансованому співвідношенні. Найвищі значення коефіцієнта кущення відмічено у варіантах із застосуванням діамофоски, що свідчить про її високу ефективність у стимулюванні формування продуктивних пагонів. На контролі цей показник залишався суттєво нижчим, що вказує на обмежені можливості рослин щодо реалізації потенціалу кущення без додаткового живлення.

Збереженість рослин на початок весняної вегетації також значною мірою залежала від варіанту удобрення. Найбільш стабільні та високі показники відзначено за внесення суперфосфату та діамофоски, що обумовлено підвищенням стійкості рослин до несприятливих умов перезимівлі. Застосування карбаміду забезпечувало дещо нижчий рівень збереженості, що, ймовірно, пов'язано з особливостями азотного живлення та його впливом на фізіологічний стан рослин.

Список використаної літератури

Астахова Я.В., Гасанова І.І., Кулик А.О. Ефективність вирощування пшениці озимої залежно від строків сівби та удобрення в північному степу. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2021. № 4. С. 91–97 https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.11.

Гангур В. В., Кочерга А. А., Пипко О. С., Кабак Ю. І., Лень О. І. Вплив мінеральних добрив на водоспоживання та продуктивність пшениці озимої. Вісник ПДАА (Полтавська державна аграрна академія). 2020. № 3. С. 54–60. https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.06

Жатова Г. О. Рослинництво з основами програмування врожаю : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2015. 384 с.

Каленська С. М., Шутий О. І., Антал Т. В., Сонько Р. В., Кривов С. І. Ефективність припосівного внесення комплексних добрив в технології вирощування пшениці м'якої озимої. *Наукові доповіді НУБіП України.* 2024. № 2/108. С. 1–33. https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.007.

Каленська С. М., Дергачов О. Л. Технологія вирощування пшениці озимої в умовах Лісостепу України : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2016. 300 с.

Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур : навч. посіб. Львів : Українські технології, 2010. 1088 с.

Ferrise R., Triossi A., Stratonovitch P., Bindi M., Martre P., Sowing date and nitrogen fertilisation effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: An experimental and simulation study. *Field Crops Res.* 2010. №. 117. P. 245–257. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.03.010.

Jarecki W. Response of Winter Wheat to Delayed Sowing and Varied Nitrogen Fertilization. *Agriculture.* 2024. №.1. (4). 121. P. 2–12 https://doi.org/10.3390/agriculture14010121

Jeyasri R., Muthuramalingam P., Satish. L., Pandian S., Chen J. Ahmar S., Wang X., Mora-Poblete F., Ramesh M. An overview of abiotic stress in cereal crops: Negative impacts, regulation, biotechnology and integrated omics. *Plants.* 2021. № 10. P. 1472.

Korotkova, I., & Karasenko, V. Effect of fertilizer systems with humic preparation on yield and profitability of winter wheat cultivation. *Scientific Progress & Innovations.* 2023. 26 (3), 17–21 https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.03

Liu K., Zhang C., Guan B., Yang R., Liu K., Wang Z., Li X., Xue K., Yin L., Wang X. The effect of different sowing dates on dry matter and nitrogen dynamics for winter wheat. *An experimental simulation study. PeerJ.* 2021. №. 9. e11700. https://doi.org/10.7717/peerj.11700.

Mazurenko B.O., Kalenska S.M., Honchar L.M., Hrygirevski M.Ya. Formation of productive elements in winter wheat by seed dressing application with slow-release complex fertilisers. *Plant and Soil Science.* 2021. 12(4). P. 7–16. https://doi.org/10.31548/agr2021.04.0007

Neupane D., Adhikari P., Bhattarai D., Rana B., Ahmed Z., Sharma U., Adhikari D., Does climate change affect the yield of the top three cereals and food security in the World?. *Earth.* 2022. № 3. P. 45–71. https://doi.org/10.3390/earth3010004.

Qiao S., Harrison S. P., Prentice I. C., Wang H., Optimality-based modelling of wheat sowing dates globally. *Agric. Syst.* 2023. № 206. P. 103608. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103608.

Shiferaw B., Smale M., Braun H., Duveiller E., Reynolds M., Muricho G. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Secur.* 2013. №. 5. P. 291–317. https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y.

Yang C., Fraga H., Van Ieperen W., Trindade H., Santos J. Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal. *Clim. Chang.* 2019. №. 154. P. 159–178. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02419-4.

References

Astakhova, Ya.V., Hasanova, I.I., & Kulyk, A.O. (2021). Efektyvnist vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi zalezhno vid strokiv sivby ta udobrennia v pivnichnomu stepu [Efficiency of winter wheat cultivation depending on sowing dates and fertilization in the Northern Steppe]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*], 4, 91–97. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.11. [in Ukrainian].

Hanhur, V.V., Kocherha, A.A., Pypko, O.S., Kabak, Yu.I., & Len, O.I. (2020). Vplyv mineralnykh dobryv na vodospozhyvannia ta produktyvnist pshenytsi ozymoi [Influence of mineral fertilizers on water consumption and productivity of winter wheat]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii* [*Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*], 3, 54–60. https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.06 [in Ukrainian].

Zhatova, H.O. (2015). Roslynnytstvo z osnovamy prohramuvannia vrozhaiu [Crop production with basics of yield programming]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].

Kalenska, S.M., Shutyi, O.I., Antal, T.V., Sonko, R.V., & Kryvov, S.I. (2024). Efektyvnist pryposivnoho vnesennia kompleksnykh dobryv v tekhnolohii vyroshchuvannia pshenytsi miakoi ozymoi [Efficiency of pre-sowing application of complex fertilizers in winter wheat cultivation technology]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy [Scientific Reports of NULES of Ukraine]*, 2(108), 1–33. https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.007 [in Ukrainian].

Kalenska, S.M., & Derhachov, O.L. (2016). Tekhnolohiia vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi v umovakh Lisostepu Ukrainy [*Technology of winter wheat cultivation in the Forest-Steppe of Ukraine].* Kyiv: NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].

Lykhochvor, V.V., & Petrychenko, V.F. (2010). Roslynnytstvo. Tekhnolohii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur [Crop production. Technologies of growing agricultural crops]. Lviv: Ukrainski tekhnolohii [in Ukrainian].

Ferrise, R., Triossi, A., Stratonovitch, P., Bindi, M., & Martre, P. (2010). Sowing date and nitrogen fertilisation effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: An experimental and simulation study. *Field Crops Research*, 117, 245–257. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.03.010. [in English].

Jarecki, W. (2024). Response of winter wheat to delayed sowing and varied nitrogen fertilization. *Agriculture*, 14(1), 121, 2–12. https://doi.org/10.3390/agriculture14010121 [in English].

Jeyasri, R., Muthuramalingam, P., Satish, L., Pandian, S., Chen, J., Ahmar, S., Wang, X., Mora-Poblete, F., & Ramesh, M. (2021). An overview of abiotic stress in cereal crops: Negative impacts, regulation, biotechnology and integrated omics. *Plants*, 10, 1472 [in English].

Korotkova, I., & Karasenko, V. (2023). Effect of fertilizer systems with humic preparation on yield and profitability of winter wheat cultivation. *Scientific Progress & Innovations*, 26(3), 17–21. https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.03 [in English].

Mazurenko, B.O., Kalenska, S.M., Honchar, L.M., & Hrygirevski, M.Ya. (2021). Formation of productive elements in winter wheat by seed dressing application with slow-release complex fertilisers. *Plant and Soil Science*, 12(4), 7–16. https://doi.org/10.31548/agr2021.04.0007 [in English].

Neupane, D., Adhikari, P., Bhattarai, D., Rana, B., Ahmed, Z., Sharma, U., & Adhikari, D. (2022). Does climate change affect the yield of the top three cereals and food security in the world? *Earth*, 3, 45–71. https://doi.org/10.3390/earth3010004. [in English].

Qiao, S., Harrison, S.P., Prentice, I.C., & Wang, H. (2023). Optimality-based modelling of wheat sowing dates globally. *Agricultural Systems*, 206, 103608. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103608 [in English].

Liu, K., Zhang, C., Guan, B., Yang, R., Liu, K., Wang, Z., Li, X., Xue, K., Yin, L., & Wang, X. (2021). The effect of different sowing dates on dry matter and nitrogen dynamics for winter wheat: An experimental simulation study. *PeerJ*, 9, e11700. https://doi.org/10.7717/peerj.11700 [in English].

Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H., Duveiller, E., Reynolds, M., & Muricho, G. (2013). Crops that feed the world 10: Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5, 291–317. https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y. [in English].

Yang, C., Fraga, H., Van Ieperen, W., Trindade, H., & Santos, J. (2019). Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal. *Climatic Change*, 154, 159–178. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02419-4. [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 30.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 06.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 635.17:631.8:631.559
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.22

УРОЖАЙНІСТЬ РЕДИСУ (*RAPHANUS SATIVUS L.*) ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ ТА СОРТУ В ҐРУНТОВИХ ТЕПЛИЦЯХ В УМОВАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

В. З. Панчишин[1], Ю. С. Шелюк[2], Б. В. Матвійчук[3], Н. Г. Матвійчук[4], О. В. Гурєєв[5]

Метою досліджень було вивчити вплив органічного та мінерального удобрення на рослини редису різних сортів.

Наведено результати дослідів впливу різних систем удобрення на урожайність та товарні показники редиски в умовах сезонних ґрунтових теплиць. Дослідження проводилися протягом 2023–2025 рр. на агробіологічній станції Житомирського державного університету за двофакторною схемою, де одним з факторів був сорт редису Ранній врожай, Селеста F1, Еспрессо F1, а іншим – удобрення (без добрив, мінеральні, органічні та їх поєднання з підживленням).

Встановлено, що удобрення є визначальним фактором формування врожайності редиски, частка впливу якого становить 62%, тоді як вплив сорту – 18%. На контролі врожайність становила 1,75–1,94 кг/м² залежно від сорту. Внесення мінеральних добрив забезпечувало приріст урожайності на 23–33%, органічних – на 35–43%, тоді як поєднання основного удобрення з підживленням

[1] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: panch22@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5256-5052

[2] доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Shelyuk_Yulya@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6429-1028

[3] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: bogdanmatviychuk@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-7872-2420

[4] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: natamatviychuk400@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2226-814X

[5] здобувач вищої освіти спеціальності
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: sasha198309@meta.ua
ORCID: 0009-0000-1324-9081

підвищувало врожайність на 58–69%. Максимальні показники отримано у варіанті органічного удобрення з додатковим підживленням. Серед досліджуваних сортів найвищу продуктивність забезпечив Селеста F1, який перевищував інші сорти як за врожайністю (до +1,29 кг/м² або 66% до контролю), так і за масою коренеплоду (до 32,3 г).

Сорт Еспрессо F1 займав проміжне положення, демонструючи високу реакцію на покращення умов живлення (приріст до 69%), тоді як сорт Ранній врожай характеризувався нижчими абсолютними показниками, але також позитивно реагував на удобрення.

Встановлено, що інтенсивність живлення впливає не лише на загальний рівень урожайності, а й на реалізацію генетичного потенціалу сортів. Зі зростанням рівня удобрення різниця між сортами збільшується, що свідчить про ефективніше використання поживних речовин більш продуктивними гібридами. Найбільшу масу коренеплоду (27,7–32,3 г) забезпечувало комбіноване застосування органічних і мінеральних добрив.

Ключові слова: *редис, сорт, удобрення, урожайність, теплиця.*

YIELD OF RADISH (RAPHANUS SATIVUS L) DEPENDING ON FERTILIZATION AND VARIETY IN SOIL GREENHOUSES IN THE CONDITIONS OF THE FOREST OF UKRAINE

V. Z. Panchyshyn, Yu. S. Shelyuk, B. V. Matviychuk, N. G. Matviychuk, O. B. Gureev

The purpose of the research was to study the effect of organic and mineral fertilization on radish plants of various varieties.

The results of experiments on the influence of various fertilization systems on productivity and commodity indicators of radishes in the conditions of seasonal soil greenhouses are presented. Research was conducted during 2023–2025 at the agrobiological station of Zhytomyr State University according to a two-factor scheme, where one of the factors was the radish variety Early harvest, Celeste F1, Espresso F1 and the other – fertilization (without fertilizers, mineral, organic and their combination with fertilization).

Fertilization has been found to be a determining factor in the formation of radish yield, the share of exposure to which is 62%, while the impact of the – variety is 18%. On the control, the yield was 1.75–1.94 kg/m² depending on the variety. The application of mineral fertilizers provided a yield increase of 23–33%, organic – of 35–43%, while the combination of basic fertilization with fertilization increased the yield by 58–69%. The maximum indicators were obtained in the version of organic fertilization with additional feeding.

Among the varieties studied, the highest productivity was provided by Celeste F1, which exceeded other varieties both in yield (up to +1.29 kg/m² or 66% before control) and in root crop weight (up to 32.3 g). The Espresso F1 variety occupied an intermediate position, showing a high response to the improvement of feeding conditions (increase up to 69%), while the Early harvest variety was characterized by lower absolute indicators, but also responded positively to fertilization.

It was established that the intensity of nutrition affects not only the general level of productivity, but also the realization of the genetic potential of varieties. As fertilization levels increase, variance between varieties increases, suggesting more efficient nutrient use by more productive hybrids. The greatest mass of root crop (27.7–32.3 g) was provided by the combined application of organic and mineral fertilizers.

Key words: *radish, variety, fertilization, productivity, greenhouse.*

Вступ

Одним із ключових завдань овочівництва є диверсифікація асортименту овочевих культур, що вирощуються як у відкритому, так і в захищеному ґрунті, з метою забезпечення безперервного та рівномірного постачання свіжої продукції споживачам упродовж року. Вагоме значення у вирішенні цього завдання належить зеленним овочевим культурам, зокрема редису (Дидів та ін., 2014).

Редис (редиска) (Raphanus sativus L.) є культурною рослиною, селекція якої здійснюється протягом багатьох століть. Ще до становлення наукової агрономії в Європі та Азії відбувався тривалий емпіричний відбір: аграрії відбирали найбільш розвинені, стійкі та великі коренеплоди з метою отримання високоякісного насіннєвого матеріалу. Він належить до коренеплідних, перехреснозапильних, холодостійких і світлолюбних культур. Його вирощують у всіх ґрунтово-кліматичних зонах України як у відкритому, так і в захищеному ґрунті. Характерною біологічною особливістю культури є короткий вегета-

ційний період: формування товарних коренеплодів відбувається протягом 20–40 діб після сівби залежно від сорту (Михайлова і Ковальов, 2022; Сіренко і Юрченко, 2023).

Редис є однією з найраніших овочевих культур, що забезпечує надходження свіжої продукції у весняний період. Завдяки відносно простій агротехніці вирощування він широко використовується як у промисловому овочівництві, так і в присадибному господарстві. Її коренеплоди містять клітковину, пектинові речовини, мінеральні солі, ефірні олії, а також вітаміни групи В (B_1, B_2), С і РР, що визначає її значення як джерела біологічно активних сполук у весняний період.

Споживання редиски позитивно впливає на функціональний стан організму людини: сприяє нормалізації роботи серцево-судинної системи, зниженню рівня холестерину та стабілізації глікемії. Мікроелементи, що містяться в коренеплодах, беруть участь у процесах кровотворення, зокрема у синтезі гемоглобіну. Ефірні олії покращують апетит і стимулюють травлення, формуючи характерні смакові властивості культури.

Таким чином, редиска є не лише цінним харчовим продуктом, але й важливим джерелом ранніх вітамінів, що сприяє відновленню мінерально-вітамінного балансу організму після зимового періоду. Середня рекомендована норма її споживання становить близько 1 кг на людину на рік.

На сучасному етапі створено значну кількість сортів редису. Вид належить до родини капустяних (Brassicaceae) і є близьким родичем як культурних, так і дикорослих форм редьки. Формування сучасних сортів відбувалося в різних географічних регіонах, унаслідок чого їх класифікують на основні групи: європейську, китайську та менш чисельну японську (Найкращі …, 2026).

Виробництво ранньої редиски в особистих підсобних господарствах здійснюється переважно у весняних плівкових теплицях невеликої площі (1–5 соток), тоді як більші за розмірами споруди трапляються рідше. Важливою особливістю таких господарств є мінімальні енергетичні витрати, оскільки основним джерелом тепла зазвичай виступає сонячна радіація.

За цих умов редиска відіграє провідну роль серед культур раннього вирощування. Вона забезпечує швидке отримання товарної продукції та її реалізацію в період обмеженої конкуренції з боку великих тепличних підприємств.

Крім того, редис займає значну частку посівних площ у приватних теплицях, що зумовлено низькими виробничими витратами та високою економічною ефективністю. За дотримання належного рівня агротехніки врожай культури здатний у короткі строки компенсувати витрати, пов'язані з організацією виробництва, де рівень рентабельності перевищує 50 % (Доброзорова, 2026;).

При вирощуванні редиски необхідно враховувати систему захисту рослин з врахуванням допустимого рівня залишків пестицидів (Ahmed et al., 2011; Dahal et al., 2021). Фітосанітарний моніторинг агроценозів редиски показав високу різноманітність шкідливих організмів. Виявлено 59 видів комах-фітофагів, 2 види нематод і 1 вид слимаків, що належать до 8 рядів і 20 родин. У структурі ентомокомплексу переважали представники рядів Coleoptera, Lepidoptera та Homoptera, які разом становили близько 71% усіх виявлених видів.

Серед зареєстрованих шкідників виділено 16 постійних видів, які стабільно завдавали основної шкоди редисці протягом вегетаційного періоду. Найбільш поширеними були хрестоцвіті блішки, капустяна міль, попелиці та совки, що характеризувалися високою чисельністю та частотою трапляння, іноді із заселенням посівів до 60–100% (Щетина, 2023).

При вирощуванні редису необхідно обмежити внесення великої кількості азотних добрив, адже редис відноситься до групи «азотофілів», тому на початкових етапах свого розвитку накопичує з коренеплоді велику кількість нітратів. Тому вирощування у закритому ґрунті дозволяє кращу оптимізувати і контролювати концентрацію макро- та мікроелементів (Писаренко та ін.., 2017).

Дослідження, проведені у некліматизованій теплиці з поліетиленовим покриттям на базі Федерального університету Кампіна-Гранде із використанням сорту Crimson Gigante засвідчили позитивну роль біодобрив на біометричні показники редиски, де внесення 10 % біодобрив у системі удобрення забезпечило приріст урожай більш ніж на 30 % (Gondim et al., 2023).

Ряд дослідників (Jin et al., 2024) виявили ефективність поєднання органічних і мінеральних добрив при вирощуванні редису, зокрема за варіанту 20% мінеральних добрив + 4500 кг/га органічних. У цьому варіанті врожайність зросла на 12,92%

порівняно з контролем, а якісні показники коренеплодів покращилися: вміст вітаміну С – на 10,62%, розчинних цукрів – на 2,15%, сульфорафану – на 50,00%, розчинних сухих речовин – на 26,90%, титрованої кислотності – на 43,90%. В агрохімічному аспекті відзначено підвищення вмісту загального азоту на 7,69% і фосфору на 14,29%.

Важливим фактором вирощування редиски в теплицях є те, що накопичується менша кількість важких металів. Результати дослідження показали, що умови вирощування суттєво впливали на рівень накопичення важких металів (Pb, Cd, Zn, Cu) у редисці сорту Саксонія. Було встановлено, що при вирощуванні в умовах закритого ґрунту (теплиці) концентрація всіх досліджених елементів була нижчою порівняно з відкритим ґрунтом, що пояснювалося обмеженням надходження токсикантів із навколишнього середовища. Зокрема, вміст свинцю (Pb) зменшувався приблизно у 1,5 раза, цинку (Zn) – у 1,23 раза, міді (Cu) – у 1,2 раза, а кадмію (Cd) – незначно (близько 1,05 раза). Водночас встановлено, що рівень кадмію в обох варіантах вирощування перевищував гранично допустимі концентрації (Піддубна, 2023) .

Ще одним фактором, який забезпечує високу рентабельність вирощування є не тільки урожайність а й товарність коренеплоду. Дослідженнями, проведеними в Центральноукраїнському національному технічному університеті виявлено, що товарність істотно варіювала залежно від гібриду та умов росту і коливалася в межах від 10 до 95%. Основними причинами зниження цього показника визначено фізіологічні та морфологічні відхилення, зокрема нерівномірне формування коренеплодів, раннє стеблування, розтріскування, утворення порожнин та деформації.

Найнижчий рівень товарності відзначався у гібриду Крижана бурулька F1, що пов'язано з його схильністю до неодночасного формування коренеплодів і швидкого переходу до стеблування. У гібриду Хелена F1 з білим кінчиком основною проблемою було швидке утворення порожнин у м'якоті після досягнення технічної стиглості, що також знижувало якість продукції. Натомість гібрид Злата F1 характеризувався стабільно високими товарними показниками завдяки щільній м'якоті та стійкості до стеблування (Ковальов, 2023)

Матеріал і методи

Дослідження проводилися в сезонних грунтових скляних теплицях агробіологічної станції Житомирського державного університету протягом 2023–2025 років. Схема досліду: фактор А (сорт): 1. Ранній врожай (контроль), Селеста F1, Еспрессо F1. Фактор Б (удобрення): 1. без добрив (контроль), 2. $N_{20}P_{20}K_{20}$ 3. Органічне живлення (перегній 3 кг/м^2), 4. $N_{20}P_{20}K_{20}$ + $N_5P_{10}K_{15}$ (підживлення після сходів) 5. Органічне живлення (перегній 3 кг/м^2) + $N_5P_{10}K_{15}$ (підживлення після сходів).

$N_{20}P_{20}K_{20}$ вносили у вигляді нітроамофоски як передпосівне удобрення. Органічне живлення складалося в внеженніперед посівом перепрілого (2 роки) гною у нормі 3 кг м^2. $N_5P_{10}K_{15}$ вносилося у рядки у фазі повних сходів сумішю добрив аміачної селітри (33-0-0), монокалієм фосфату (0-52-34) та сульфатом калію (0-0-50 + S_{18}) на 6–7 день після сходів.

У фазі виходу сім'ядоль вносили препарат Фітоверм (1,5 л/га).

Площа облікової ділянки – 10 м^2, кількість повторень – 4 (Методика …, 2000).

Вивчали показники урожайності редису та масу 1 коренеплоду (Єщенко, 2005).

Дисперсійний аналіз та статистичну обробку даних проводили згідно загальноприйнятих методик (Ермантраут і Присяжнюк, 2007; Ушкаренко та ін., 2009).

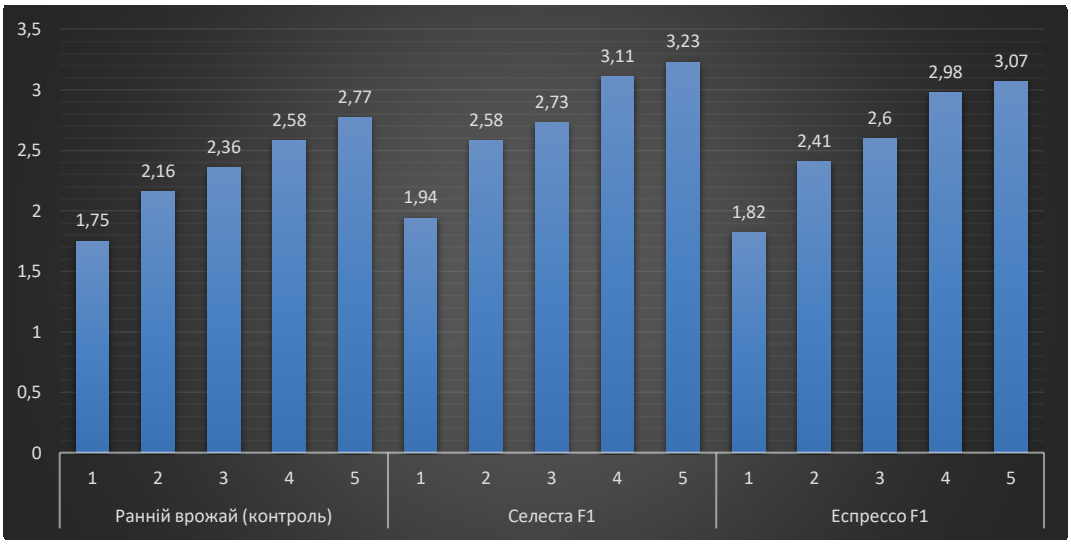
Результати та їх обговорення

Нами встановлені показники врожайності редиски залежно від досліджуваних факторів. На контролі (без добрив) вихід коренеплодів склав 1,75–1,94 кг/м^2 незалежно від сорту (рис. 1).

Застосування добрив істотно впливає на врожайність редиски незалежно від сорту. У всіх варіантах простежується чітка тенденція до зростання врожайності за внесення різних систем удобрення. Так, у сорту Ранній врожай приріст становить від +0,41 кг/м^2 (23%) при внесенні $N_{20}P_{20}K_{20}$ до +1,02 кг/м^2 (58%) при використанні органічних добрив із підживленням.

Аналогічна закономірність спостерігається і в інших сортів, що підтверджує високу ефективність поєднання основного удобрення з підживленням.

Серед досліджуваних сортів найвищі показники врожайності забезпечив Селеста F1. Його перевага над контролем становила від +0,64 кг/м^2 (33%) при внесенні NPK до +1,29 кг/м^2 (66 %) у варіанті органічні добрива + підживлення. Сорт Еспрессо F1 займав проміжне положення, де приріст урожайності складав від +0,59 кг/м^2 (32%) до +1,25 кг/м^2 (69%). Найменш продуктив-



$НІР_{05}$: сорт – 0,06; удобрення – 0,08; сорт + удобрення – 0,13
Рис. 1. Урожайність редису залежно від сорту та удобрення, середнє за 2023–2025 рр., кг/м²

Примітка: 1. без добрив (контроль), 2 $N_{20}P_{20}K_{20}$ 3. Органічні добрива, 4. $N_{20}P_{20}K_{20}$ + $N_5P_{10}K_{15}$ 5. Органічні добрива + $N_5P_{10}K_{15}$

ним був сорт Ранній врожай, хоча він також позитивно реагував на всі види удобрення.

Порівняння сортів у межах одного варіанта удобрення показує, що різниця між ними зростає зі збільшенням рівня живлення. Так, на контролі різниця між найкращим (Селеста F1) і найгіршим (Ранній врожай) сортом становила лише 0,19 кг/м² (11%), тоді як при застосуванні $N_{20}P_{20}K_{20}$ + підживлення вона зростала до 0,53 кг/м² (21%). У варіанті органічні добрива + підживлення різниця складала 0,46 кг/м² (17%). Це свідчить про те, що більш інтенсивне живлення дозволяє повніше реалізувати потенціал продуктивніших сортів.

Загалом встановлено, що найбільший ефект забезпечує комбіноване використання органічних і мінеральних добрив із підживленням, де приріст врожайності становить 58–69% залежно від сорту.

Результати статистичного аналізу свідчать, що визначальним фактором формування врожайності редиски є удобрення, частка впливу якого становить 62 % (рис. 2).

Вплив сорту становить 18 %, що свідчить про важливу, але другорядну роль генетичних особливостей рослин. При цьому встановлена взаємодія факторів (12 %) підтверджує, що різні сорти по-різному реагують на умови живлення, тобто ефективність удобрення залежить від біологічних характеристик конкретного сорту. Частка помилки досліду є низькою (8 %), що вказує на високу статистичну достовірність отриманих даних.

Важливим показником ефективності вирощування редису є не тільки урожайність рослини, а й її товарна маса. Тому нами була пораховані показники маси 1 коренеплоду в залежності від досліджуваних факторів (табл. 1).

Застосування добрив суттєво впливає на масу одного коренеплоду редису всіх досліджуваних сортів – Ранній врожай, Селеста F1 та Еспрессо F1. У варіантах без удобрення (контроль) найвищу масу сформував сорт Селеста F1 – 19,4 г, що на 1,2 г (6,2%) більше, ніж у Еспрессо F1 (18,2 г), і на 1,9 г (9,8%) більше, ніж у сорту Ранній врожай (17,5 г). Це свідчить про вищий початковий потенціал продуктивності Селеста F1 навіть за обмеженого живлення.

Внесення мінеральних добрив ($N_{20}P_{20}K_{20}$) сприяло зростанню маси коренеплодів у всіх сортів: у сорту Ранній врожай – до 21,6 г (+4,1 г; +23,4%), у Селеста F1 – до 25,8 г (+6,4 г; +33,0%), у Еспрессо F1 – до 24,1 г (+5,9 г; +32,4%). Застосування органічних добрив виявилося більш ефективним: приріст становив відповідно +6,1 г (34,9%), +7,9 г (40,7%) та +7,8 г (42,9%), що вказує на важливу роль органічної складової у формуванні врожаю.

Найвищі показники отримано за комбінованого застосування добрив. У варіанті $N_{20}P_{20}K_{20}$ + $N_5P_{10}K_{15}$ маса коренеплодів

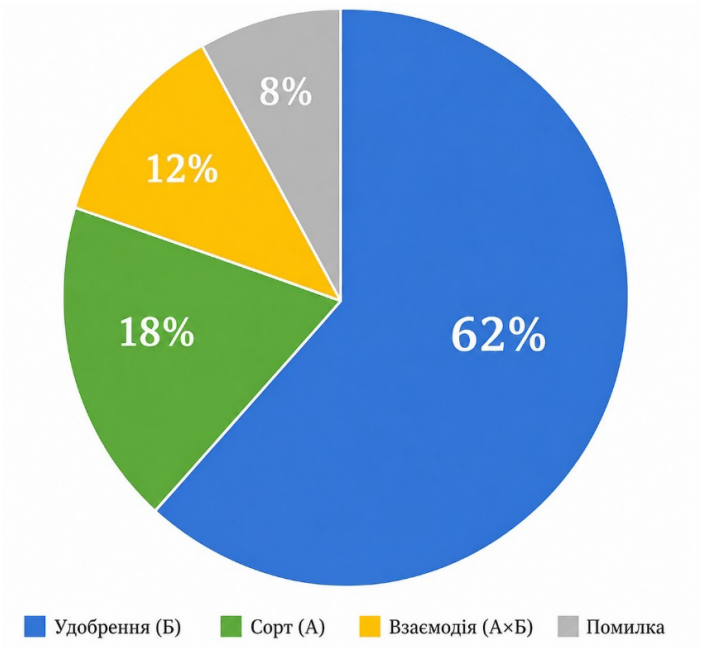


Рис. 2. Частка впливу удобрення та сорту на урожайність редиски, середнє за 2023–2025 рр., %

Таблиця 1

Маса коренеплоду редиски залежно від досліджуваних факторів, середнє за 2023–2025 рр., г

Сорт	**Удобрення**	**Маса 1 коренеплоду, г**
Ранній врожай (контроль)	без добрив (контроль)	17,5 ± 0,51
	$N_{20}P_{20}K_{20}$	21,6 ± 0,63
	Органічні добрива	23,6 ± 0,58
	$N_{20}P_{20}K_{20}$ + $N_5P_{10}K_{15}$	25,8 ± 0,72
	Органічні добрива + $N_5P_{10}K_{15}$	27,7 ± 0,66
Селеста F1	без добрив (контроль)	19,4 ± 0,49
	$N_{20}P_{20}K_{20}$	25,8 ± 0,61
	Органічні добрива	27,3 ± 0,55
	$N_{20}P_{20}K_{20}$ + $N_5P_{10}K_{15}$	31,1 ± 0,74
	Органічні добрива + $N_5P_{10}K_{15}$	32,3 ± 0,69
Еспрессо F1	без добрив (контроль)	18,2 ± 0,47
	$N_{20}P_{20}K_{20}$	24,1 ± 0,57
	Органічні добрива	26,0 ± 0,64
	$N_{20}P_{20}K_{20}$ + $N_5P_{10}K_{15}$	29,8 ± 0,71
	Органічні добрива + $N_5P_{10}K_{15}$	30,7 ± 0,68

досягла 25,8 г у сорту Ранній врожай (+8,3 г; +47,4%), 31,1 г у Селеста F1 (+11,7 г; +60,3%) та 29,8 г у Еспрессо F1 (+11,6 г; +63,7%). Додавання органічних добрив до цієї схеми забезпечило максимальний ефект: 27,7 г (+10,2 г; +58,3%), 32,3 г (+12,9 г; +66,5%) і 30,7 г (+12,5 г; +68,7%) відповідно.

Порівняння сортів за найефективнішого варіанту удобрення (органічні + NPK) підтверджує перевагу Селеста F1: він перевищував Еспрессо F1 на 1,6 г (5,0%) і сорт Ранній врожай на 4,6 г (14,2%). Водночас Еспрессо F1 мав стабільно вищі показники, ніж сорт Ранній врожай, з різницею 3,0 г (10,8%) у цьому варіанті. Слід відзначити, що найбільший абсолютний приріст маси від контролю спостерігався у Селеста F1 (+12,9 г), тоді як найбільший відносний приріст – у Еспрессо F1 (+68,7%).

Висновки

Рівень удобрення був визначальним чинником формування врожайності та

маси коренеплодів редиски, забезпечивши до 62% впливу на продуктивність. Найвищі показники отримано за комбінованого застосування органічних і мінеральних добрив із підживленням, що забезпечило приріст урожайності на 58–69% та збільшення маси коренеплоду до 27,7–32,3 г залежно від сорту. Серед досліджуваних генотипів найпродуктивнішим виявився сорт Селеста F1, тоді як Еспрессо F1 характеризувався найвищою відносною реакцією на покращення умов живлення, а сорт Ранній врожай поступався за абсолютними показниками, але позитивно реагував на всі системи удобрення. Подальші дослідження полягають у розкритті потенціалу сучасних сортів редиски разом з застосування інтегрованої системи удобрення з поєднанням органічних і мінеральних добрив.

Список використаної літератури

Дидів І., Дидів О., Дидів А. Редиска у закритому ґрунті. [Електронний ресурс]. URL: https://agrotimes.ua/article/rediska_u_zakritomu_grunti/ (дата звернення 10.03.2026)

Доброзорова О. В. Підвищення ефективності виробництва овочів закритого ґрунту Херсонської області. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 14. 105–109 [Електронний ресурс]. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/visnik/2000-14/TNV-2000-14-25.pdf (дата звернення 10.03.2026)

Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І. , Шевченко І.Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistika – 6 : метод. вказівки. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.

Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Дія, 2005. 288 с.

Ковальов М. М. Формування врожайності редису при вирощуванні в системах біологічної гідропоніки. *Водні біоресурси та аквакультура.* 2023. 1(13). 41–51. https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.3

Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур / ред. В. В. Волкодав ; Державна комісія України по випробуванню та охороні сортів рослин. Київ, 2000. 144 с.

Михайлова Д., Ковальов М. Вирощування редису в умовах захищеного ґрунту. Матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології агропромислового виробництва». Кропивницький: ЦНТУ, 2023. 40–42.

Найкращі сорти редиски для вирощування в Україні Фермерство в Україні. [Електронний ресурс]. URL: https://www.fermerstvo.org.ua/naikrashchi-sorty-redysky.html (дата звернення 10.03.2026)

Писаренко В.М., Писаренко П. В., Пономаренко С. В., Шаповал В. Ф. Органічне землеробство для приватного сектора / за ред. В.М. Писаренка. Полтава, 2007. 140 с.

Піддубна А. М. Інтенсивність накопичення важких металів овочами вирощеними в умовах закритих ґрунтів. Матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції "*VinSmartEco*", 2023. 243–245.

Сіренко Д. Т., Юрченко С. О. Особливості вирощування редиски в умовах закритого ґрунту. Матеріали студентської наукової конференції. Полтава, 2023. С. 82–84.

Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз результатів польових дослідів : монографія. Херсон : Айлант, 2009. 372 с.

Щетина С. В. Домінуючі види шкідників редиски (Raphanus sativus (L.) convar. radicula (Pers.) Sazon.) у Правобережному Лісостепу України. *Агроекологічний журнал.* 2023. 4. 149–157. https://journalagroeco.org.ua/article/view/293786

Ahmed N., Ahman I., Englund J.-E., Johansson E. Effect on radish pests by application of insecticides in a nearby spring oilseed rape field. *Journal of Applied Entomology*. 2011. 135 (3). 168–176. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01559.x.

Dahal K.M., Bhattarai D.R., Sharma M.D. Poude B. Evaluation of Radish (Raphanus sativus L.) Varieties under Shade-net Condition for Yield and Quality. *Nepalese Horticulture*. 2021. 15. 16–23. https://doi.org/10.3126/nh.v15i0.36641.

Gondim A., Lira R., Pereira F., Oliveira Neto H., Silva F., Lima Neto J. Greenhouse crops of radish under organomineral fertilization sources in the Brazilian semiarid region. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável.* 2023. 18(4). 122–126 https://doi.org/10.18378/rvads.v18i4.9740

Jin D., Lu Z., Song X., Ahammed G., Yan Y., Chen S. Improvement of Yield and Quality Properties of Radish by the Organic Fertilizer Application Combined with the Reduction of Chemical Fertilizer. *Agronomy*. 2024. 14(8). 1847 https://doi.org/10.3390/agronomy14081847

References

Didiv, I., Didiv, O., & Didiv, A. (2026). Redyska u zakrytomu grunti [Radish in protected ground]. [Electronic resource] URL: https://agrotimes.ua/article/rediska_u_zakritomu_grunti/ (access date 10.03.2026) [in Ukrainian]

Dobrozorova, O. V. (n.d.). Pidvyshchennia efektyvnosti vyrobnytstva ovochiv zakrytoho gruntu Khersonskoi oblasti [Increasing the efficiency of vegetable production in protected ground of Kherson region]. *Tavriys'kyy naukovyy visnyk* [*Tavria Scientific Bulletin*], 14, 105–109 [Electronic resource] URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/visnik/2000-14/TNV-2000-14-25.pdf (access date 10.03.2026) [in Ukrainian]

Ermantraut, E.R., Prysiazhniuk, O.I., & Shevchenko I.L. (2007). Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh v paketi Statistika–6: Metodychni vkazivky [Statistical analysis of agronomic experimental data in Statistica–6]. Kyiv : PoligrafKonsalting. 55 s. [in Ukrainian]

Yeshchenko, V. O. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. *Diia*. [in Ukrainian]

Kovalov, M. M. (2023). Formuvannya vrozhaynosti redysu pry vyroshchuvanni v systemakh biolohichnoyi hidroponiky. [Formation of radish yield under biological hydroponic systems]. *Vodni bioresursy ta akvakultura* [*Aquatic bioresources and aquaculture*], 1(13), 41–51. https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.3 [in Ukrainian]

Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. (2000). Kyiv. [in Ukrainian]

Mykhailova, D., & Kovalov, M. (2023). Vyroshchuvannia redysu v umovakh zakhyshchenoho gruntu [Radish cultivation in protected ground]. Materialy II Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Suchasni tekhnolohiyi ahropromyslovoho vyrobnytstva». [II International Scientific and Practical Conference «Modern technologies of agro-industrial production»]. Kropyvnytskyi: Central National Technical University. 40–42. [in Ukrainian]

Najkrashchi sorty redysky dlia vyroshchuvannia v Ukraini [The best radish varieties for cultivation in Ukraine]. Fermerstvo v Ukraini [Farming in Ukraine]. [Electronic resource] URL: https://www.fermerstvo.org.ua/naikrashchi-sorty-redysky.html (access date 10.03.2026) [in Ukrainian]

Pysarenko, V. M. (Ed.), Pysarenko, P. V., Ponomarenko, S. V., & Shapoval, V. F. (2017). Orhanichne zemlerobstvo dlia pryvatnoho sektora [Organic farming for the private sector]. / ed. V. M. Pysarenko. Poltava. [in Ukrainian]

Piddubna, A. M. (2023). Intensyvnist nakopychennia vazhkykh metaliv ovochamy vyroshchenymy v umovakh zakrytykh gruntiv [Intensity of heavy metal accumulation in vegetables grown in protected ground]. Materialy III Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "VinSmartEco" [Materials of the III International Scientific and Practical Conference "VinSmartEco"] 243–245. [in Ukrainian]

Sirenko, D. T., & Yurchenko, S. O. (2023). Osoblyvosti vyroshchuvannia redysky v umovakh zakrytoho gruntu [Features of radish cultivation in protected ground]. In Student scientific conference proceedings. 82–84. [in Ukrainian]

Ushkarenko, V. O., Nikishenko, V. L., Holoborodko, S. P., & Kokovikhin, S. V. (2009). Dyspersiinyi i koreliatsiinyi analiz rezultativ polovykh doslidiv [Dispersion and correlation analysis of field experiment results]. Kherson : Ailant. [in Ukrainian]

Shchetyna, S. V. (2023). Dominuiuchi vydy shkidnykiv redysky (Raphanus sativus L.) u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Dominant pest species of radish in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal* [*Agroecological journal*], 4, 149–157. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293786 [in Ukrainian]

Ahmed, N., Ahman, I., Englund, J.-E., & Johansson, E. (2011). Effect on radish pests by application of insecticides in a nearby spring oilseed rape field. *Journal of Applied Entomology*, 135(3), 168–176. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01559.x [in English]

Dahal, K. M., Bhattarai, D. R., Sharma, M. D., & Poudel, B. (2021). Evaluation of radish (Raphanus sativus L.) varieties under shade-net condition for yield

and quality. *Nepalese Horticulture*, 15, 16–23. https://doi.org/10.3126/nh.v15i0.36641 [in English]

Gondim, A., Lira, R., Pereira, F., Oliveira Neto, H., Silva, F., & Lima Neto, J. (2023). Greenhouse crops of radish under organomineral fertilization sources in the Brazilian semiarid region. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 18(4), 122–126. https://doi.org/10.18378/rvads.v18i4.9740 [in English]

Jin, D., Lu, Z., Song, X., Ahammed, G., Yan, Y., & Chen, S. (2024). Improvement of yield and quality properties of radish by the organic fertilizer application combined with the reduction of chemical fertilizer. *Agronomy*, 14(8), 1847. https://doi.org/10.3390/agronomy14081847 [in English]

Дата першого надходження статті до видання: 03.04.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.34:635.655:631.89
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.23

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КРЕМНІЄВМІСНИХ МІКРОДОБРИВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТРЕСОСТІЙКОСТІ СОЇ

Я. Г. Цицюра[1], Б. О. Кирилюк[2]

Представлено результати двохрічного циклу вивчення застосування кремнієвмісних мікродобрив у формі листкового підживлення на показники загальної стресостійкості рослин сої шляхом індикації цього процесу через показники індукції флуоресценції хлорофілу, динаміки вологовіддачі, тепловізаційного градієнту температури та результуючого показника урожайності. Застосовано інноваційні підходи із залученням мобільного флуорометра, теплові зорної камери та динамічних лабораторних методів щодо оцінки посухостійкості рослин на основі визначення вологовіддачі їх листків у інтервалі до 5 доби обліку у співставленні до контролю. Як варіанти було застосовано 3 види кремнієвмісних мікродобрив різного виробництва поширених на ринку України та рекомендованих до застосування на сої Chelatin Silicon – KORMIN Silicon Humate – Quantum AquaSil відповідно у три варіанти феностадійного застосування – у фазу гілкування, фазу бутонізації та за поєднання даних строків внесення. Відмічено за використання кремнієвих мікродобрив зростання водного потенціалу листя в інтервалі 16,1–20,2%, зниження загальної стресовості росту в інтервалі 9,3–13,2%, зростання загального індексу життєздатності рослин в інтервалі 19,8–26,2%. Визначено максимальні прирости урожайності сої за використання в підживлення Квантум АкваСил: у фенологічну фазу галуження 4,9%, фазу бутонізації 10,1% та в обидві фази 17,9%. Сформовано ранжированый ряд застосованих кремнієвмісних мікродобрив за порядком зростання позитивного їх впливу на стресостійкість у такому вигляді: Хелатин Кремній – КОРМІН Кремнієвий (Гумат) – Квантум АкваСил.

Ключові слова: *соя, біофортифікація, стресостійкість, індукція флуоресценції хлорофілу, вологовіддача, тепловізорна оцінка, урожайність.*

[1] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9167-833X
[2] студент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: bohdankiriliuk12@gmail.com
ORCID: 0009-0003-0110-3992

EFFICIENCY OF SILICON-BASED MICRONUTRIENT FERTILIZERS FOR IMPROVING SOYBEAN STRESS TOLERANCE

Y. G. Tsytsiura, B. O. Kyryliuk

The results of a two-year study on the application of silicon-containing micronutrient fertilizers as foliar feeding to improve the overall stress resistance of plants are presented. Innovative approaches were applied using a portable fluorometer, a thermal imaging camera, and dynamic laboratory methods for evaluating plant drought resistance based on leaf moisture loss over a period of up to five days of observation, compared with the control. Three types of silicon-containing micronutrient fertilizers from different manufacturers, widely available on the Ukrainian market and recommended for soybean cultivation – Chelatin Silicon, KORMIN Silicon (Humate), and Quantum AquaSil – were tested under three application regimes: at the branching stage, the budding stage, and a combination of both application timings. The use of silicon-containing micronutrient fertilizers resulted in an increase in leaf water potential by 16.1–20.2%, a reduction in overall growth stress by 9.3–13.2%, and an increase in the overall plant vitality index by 19.8–26.2%. The highest soybean yield increments were obtained with the application of Quantum AquaSil as a foliar treatment: 4.9% at the branching stage, 10.1% at the budding stage, and 17.9% when applied at both stages.
A ranking of the applied silicon-containing micronutrient fertilizers, in order of increasing positive effect on stress resistance, was established as follows: Chelatin Silicon – KORMIN Silicon (Humate) – Quantum AquaSil.

Key words: *soybean, biofortification, stress resistance, chlorophyll fluorescence induction, moisture loss, thermal imaging assessment, yield.*

Вступ

Сучасні світові тенденції у формуванні продовольчої безпеки світу ставлять виклики до обсягів виробництва певного виду продукції, що зумовлює необхідність постійному нарощуванні обсягів виробництва. Така динаміка з врахуванням кліматичних змін, тенденції до глобального потепління зумовлюють необхідність у забезпеченні адаптивності рослин, тобто їх стресостійкості (Deepak et al., 2023). Соя відноситься до культур з широким спектром генотипової адаптивності відселектованої відповідно до груп стиглості сортів. Проте кліматичні ризики, які складаються в останні періоди за рахунок тривалих періодів дефіциту зволоження, особливо в весняний та ранньолітній періоди елімінує продуктивність сучасних генотипів та рівень їх урожайності (Jianing et al., 2022). Окреслені агротехнологічні ризики зумовлюють необхідність і застосуванні ефективних важелів регулювання стресостійкості рослин сої (Chennakesavulu et al., 2021).

Одним із таких важелів за висновками багатьох досліджень є використання халатних форм мікроелементів у формі біофортифікації (Cohen et al., 2021). При цьому актуальним залишаються питання строків такого застосування з огляду на відповідні феностадійні критичні періоди сої (Hatfield & Dold, 2019).

Разом із тим, з огляду на загальне зростання абіотичних і біотичних ризиків, що впливають на реалізацію біопродуктивного потенціалу рослин, система біофортифікації забезпечує сталу врожайність за збереження високої адаптивності та стресостійкості сортів та гібридів (Agyenim-Boateng et al., 2023; Zapletalová et al., 2025). Розроблені регуляторні рішення щодо оптимізації регіональних систем удобрення культур на основі біофортифікації суттєво поглиблять розуміння фізіолого-біохімічних механізмів стійкості рослин до стресових чинників (Genc et al., 2005; Thavarajah et al., 2008; Ducsay et al., 2021; Korobko et al., 2024).

При цьому термін «біофортифікація» розглядається у контексті двох підходів: селективного з генетичною системою рекомбінацій та агротехнологічний за рахунок використання системи удобрення (Dai et al., 2020; Agyenim-Boateng et al., 2023; Mrština et al., 2024). Завдання біофортифікації з огляду на сучасне бачення (Makdoh et al., 2025): формування передумов до підвищення стресостійкості рослин за рахунок формування якісної структури мікроелементного балансу, який визначає основи стресової адаптивності клітин та рослинного організму в цілому. У цьому плані агрономічна біофортифікація передбачає можливість застосування відповідних агрохімікатів за вирощування сої за їх ґрунтового внесення,

передпосівної обробки насіння та позакореневих підживлень (Zapletalová et al., 2025). Загальний позитивізм антистресової біофортифікації базується на: формуванні передумов збалансованого живлення та у підсумку передумов до оптимізованої фізіологічної реакції на стресові фактори (Agyenim-Boateng et al., 2023); доцільній інтеграції ґрунтового та листкового живлення рослин у критичні феностадії росту рослин з позиції чутливої реакції на індуковані стреси (Abd El-Aal et al., 2018; Han et al., 2024).

У плані найбільш поширених практик біофортифікації за вирощування сої є система позакореневих підживлень, що дозволяє істотно підвищити процеси депонування необхідних мікроелементів у відповідних частинах рослини (Bouis & Welch, 2010; Choudhary et al., 2014; Agyenim-Boateng et al., 2023; Cuesta et al., 2023; Zapletalová et al., 2025). Наголошується також, що у технології вирощування сої, біофортифікація окремими мікроелементами як бор, селен, кремній, магній сприяють не лише істотному поліпшенню продовольчої цінності врожаю, але й забезпечують підвищення посухостійкості, жаростійкості, стійкості до низьких температур (Hansch & Mendel., 2010; Agyenim-Boateng et al., 2023).

Дослідження, проведені в європейських країнах, свідчать про те, що кремній у зернобобових посилює стійкість стеблостою до вилягання, підвищує резистентність рослин до посухи та їхню біологічну продуктивність (Jumrani & Bhatia, 2019; Agyenim-Boateng et al., 2023; Kumar et al., 2025; Manimaran et al., 2025; Wadas & Kondraciuk, 2025). Відмічається, що кремній у формі активного хелатного компонента формує передумови для гармонізації функціонування дихальних і транспіраційних систем з позиції економного використання вологи, зниження інтенсивності її балансу за тривалого стану посушливості (Zargar et al., 2019; Katam et al., 2020; Verma et al., 2024; Wang et al., 2025).

З огляду на висвітлені вище аргументи та узагальнення – дослідження ефективності застосування комплексу хелатних мікродобрив, які декларуються як можливі біофортифікатори у технологіях вирощування сої є актуальною метою з кінцевою ціллю не лише істотної стабілізації та зростання урожайності культури, але й розробки адаптивних технологій її вирощування, які мають стійкі риси адаптивності та гнучкої стресостійкості.

Матеріал і методи

Дослідження охоплювали період 2024–2025 рр. та проводились на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11′31″, E 28°22′16″.) на сірих лісових ґрунтах. За агрохімічним складом ґрунтовий покрив мав середній потенціал ґрунтової родючості з такими показниками: вміст гумусу: 2,68%, легкогідролізованого азоту 84, рухомого фосфору 149, обмінного калію 107 мг/кг ґрунту при pH_{kcl} 5,8.

У дослідженнях було використано сорт сої Титан. *Титан.* Сорт внесений в державний реєстр в 2020 році. Триваліть періоду вегетації складає 112–123 діб. Висота рослини 66,7–80,6см. Стійкість до вилягання 8–9 балів. Стійкість до обсипання 7–9 балів. Стійкість до посухи 7–8 балів. Стійкість проти основних хвороб 7–9 балів. Вміст білка 37,7–42,3%. Вміст олії 20,9–23,5%. Урожайність в зональному сортовипробуванні 2,95–3,37 т/га.

Сою висівали у першій декаді травня, кількісною нормою 550–600 тис схожих насінин на га з міжряддям 45 см. Схема польового блоку представлена в табл. 1. Загальна площа дослідної ділянки 36 $м^2$, облікової 27 $м^2$ за 4-х разової повторності.

Квантум АкваСил – комплексне хелатне кремнієве мікродобриво для листового підживлення. Містить спеціальну формуляцію кремнію та калію та гумінові сполуки для кращого засвоєння. Склад: SiO_2 20% (200 г/л) та K_2O 10% (100 г/л), гумінові речовини. Густина 1,20–1,25 кг/л.

Хелатин Кремній – мікродобриво з халатним кремнієм. Склад: SiO_2 10% (100 г/л) та K_2O 11,5% (115 г/л), гумінові сполуки (до 2,0%). Густина 1,14–1,18 кг/л, pH 11,5.

КОРМІН Кремнієвий (Гумат) – органо-мінеральне кремнієвовмісне добриво. Склад: калій (K_2O) 8,9%, кремній (SiO_2) 14,0%, гумінові та фульвові кислоти 5,5%, pH 12,0–12,5, густина 1,14–1,18 г/$см^3$.

Всі елементи вирощування сої були однотиповими в усіх варіантах досліду за виключенням факторів поставлених на вивчення. Облік урожайності сої було проведено відповідно до загальноприйнятої методики для зернобобових (Кобизєва та ін., 2016).

Фізіологічну антистресову ефективність застосованих кремнієвих мікродобрив досліджували застосовуючи широкоапробовану методику аналізу кривої індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) за використання вітчизняного портативного флуро-

Таблиця 1

Загальна схема дослідження ефективності антистресової біофортифікації сої сорту Титан за рахунок використання лінійки мікродобрив, 2024–2025 рр. (за фонового мінерального живлення $N_{30}P_{45}K_{45}$)

Фаза внесення (чинник А)	**Мікродобрива застосовані у системі біофортифікації (чинник В)**
A_1 Початок галуження (ВВСН 21–23) A_2 Бутонізація (ВВСН 50–52) A_3 Початок галуження (ВВСН 21–23) + Бутонізація (ВВСН 50–52)	B_1 Контроль (обробка водою)
	B_2 Квантум АкваСил (1 л/га)
	B_3 Хелатин Кремній (1 л/га)
	B_4 КОРМІН Кремнієвий (Гумат) (1 л/га)

метра Флоратест (Romanov et al., 2011) (рис. 1) відповідно до євопейських стандартизованих протоколів визначення (Brestic & Zivcak, 2013; Kalaji et al., 2017) та адаптовану методику (Цицюра & Томчук, 2023) застосовуючи індикативні формули калькуляції похідних показників (табл. 2).

Оцінку стресостійкості було проведено також за показником швидкості вологовіддачі листя активного фізіологічного ярусу рослин (Григорчук та ін., 2017), а також у дослідженнях було використано тепловізорне дослідження посівів на 10 добу після застосування мікродобрив за використання тепловізора HT-A2.

Статистична обробка результатів передбачала використання дисперсійного багатофакторного аналізу, відповідно до факторної системи досліду (Wong, 2018).

Результати

Враховуючи антистресову оцінку біофортифікації слід коротко оцінити власне рівень стресовості вегетаційного періоду сої за вказаний інтервал досліджень та оцінок. Результати такої оцінки представлено на рис. 2.

За результатами оцінки гідротермічного режиму періоду вегетації сортів сої рік 2024 оцінено як помірно стресовий з коефіцієнтом варіації (C_v) для кількості опадів 29,7%, а для середньодобової температури 32,8%. Умови 2025 року оцінено як стресові де аналогічні показники були на рівні 52,3% та 40,8% відповідно. В цілому за період вегетації вивчаємих сортів сої у 2024 році сума опадів склала за період вегетації 445,6 мм за середньодобової температури за період 19,48 °С.

У 2025 році дані показники були на рівні 337,4 мм та 14,24 °С. У підсумку гідротермічні умови були в цілому відносно сприятливими для росту і розвитку рослин сої за вираженого рівня стресовості у період другої декади липня – другої декади серпня в обидва роки оцінки. Критичним був також режим аномально високих температур у другій декаді серпня у 2024 році та аномально прохолодного періоду квітня–другої декади травня у 2025 році.

Результати індикативної оцінки застосованих кремнієвих мікродобрив (як заявлений згідно робочої гіпотези досліджень

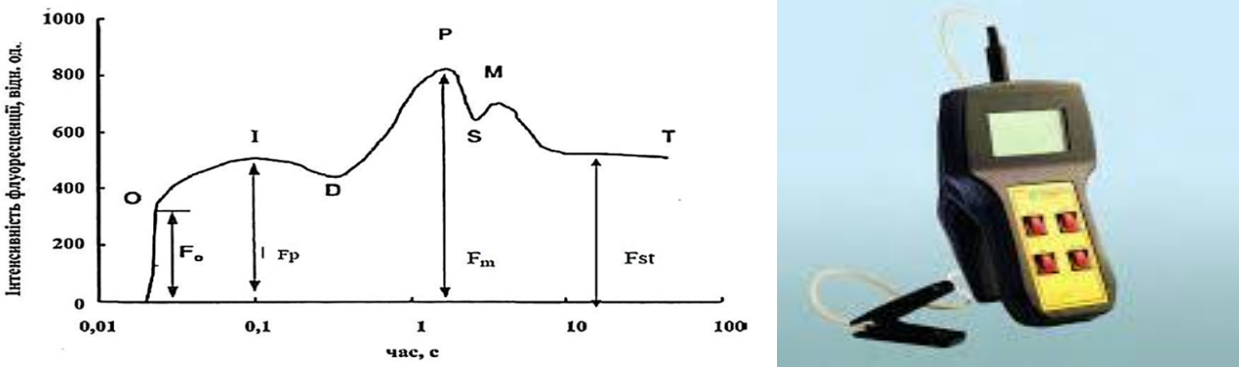


Рис. 1. Типологічна крива індукції флуоресценції хлорофілу та її базові параметри: F_0 – початкове значення індукції флуоресценції; F_p (або F_{pl}) – зона «плато»; F_m – максимальний рівень індукції; F_{st} – стаціонарне значення індукції. Позиція справа – прилад Флоратест (Kalaji et al., 2017; Цицюра & Томчук, 2023)

Таблиця 2

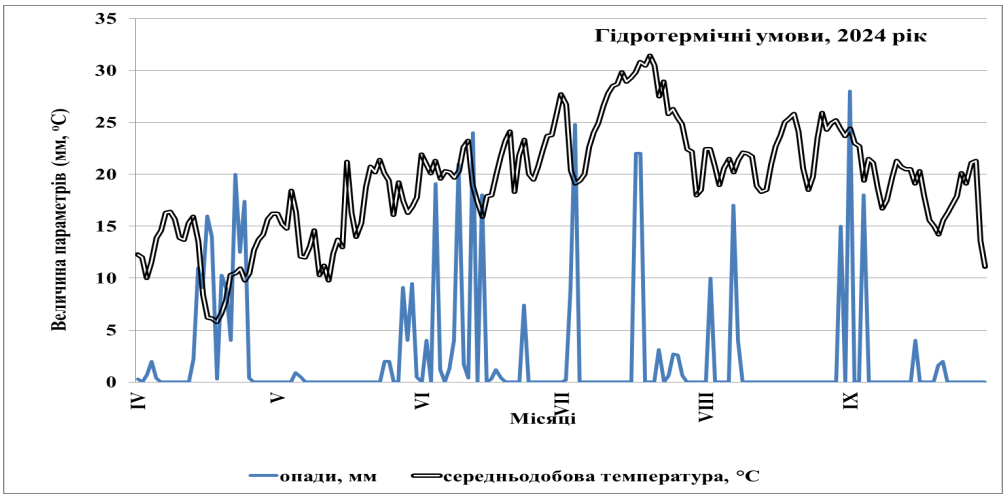
Основні показники аналізу кривої індукції флуоресценції хлорофілу (Цицюра & Томчук, 2023)

Прямі та похідні індекси на основі ключових параметрів кривої ІФХ	**Спосіб калькуляції***
Зростання флуоресценції	$dF_{pl} = F_{pl} - F_0$
Максимальна змінна флуоресценції	$F_v = F_m - F_0$
Індекс впливу екзогенних та ендогенних факторів	$\frac{dF_{pl}}{F_v}$
Фотохімічна (квантова) ефективність (EP)	$EP = \frac{F_v}{F_m}$
Фотохімічне гасіння (Q_{ue})	$Q_{ue} = \frac{F_0}{F_v}$
Водний потенціал листка (L_{wp})	$L_{wp} = \frac{F_m}{F_0}$
Індекс життєздатності рослин (RF_d)	$RF_d = \frac{F_m - F_{st}}{F_{st}}$
Індикатор ендогенних (стресових) факторів (K_{ef})	$K_{ef} = \frac{F_{st}}{F_m}$
Величина фотохімічного гасіння флуоресценції (QP)	$QP = \frac{F_m - F_{st}}{F_m - F_0}$
Індекс ефективності первинних реакцій фотосинтезу (K_{prp})	$K_{prp} = \frac{F_v}{F_0}$
Коефіцієнт згасання флуоресценції (K_{fd})	$K_{fd} = \frac{F_m}{F_{st}}$
Відносна зміна флуоресценції в момент часу t (V_t)	$V_t = \frac{F_{st} - F_0}{F_m - F_0}$

**У формулах відповідні параметри кривої ІФХ (F_0, F_{pl}, F_m, F_{st} (рис. 1))*

мікроелемент, який виступає як біофортифікатор підвищення стресостійкості рослин сої) підтвердили припущення про його вплив на діяльність фотосистеми рослин сої обох сортів (табл. 2, рис. 3). За результатами застосування індикативного інструменту індукції флуоресценції хлорофілу визначено що використання кремнієвмісних мікродобрив за вирощування сої у формі листкового живлення у всіх застосованих варіантах досліду змінює ефективність функціонування фотосистеми рослин. При цьому вплив різних добрив мав істотні відмінності. У випадку застосування Квантум АкваСил усереднено по фенологічній періодизації його застосування у співставленні до контролю відмічено зростання показника початкової флуоресценції F_0 на 10,7 відносних одиниць еталона флуоресценції хлорофілу, флуоресценції зони плато F_{pl} на 37,3 одиниці, максимальної флуоресценції (F_m) на 265,3 одиниці а стаціонарної флуоресценції (F_{st}) на 17,3 одиниці. Для варіанту застосування Хелатин Кремній зростання відмічено для параметрів F_0, F_{pl} та F_m у значенні 5,3, 42,7 та 85,3 одиниць відповідно за зниження параметру F_{st} на 16 одиниць.

При застосуванні мікродобрива КОРМІН Кремнієвий (Гумат) відмічено специфічно відмінну реакцію фото системи рослин за зменшення параметрів F_0, F_{pl} та F_{st} відповідно 10,7, 16 та 5,3 одиниці на фоні істотно збільшення параметру максимальної флуоресценції (F_m) на 138,7 одиниці. Такий характер позитивно співвідноситься з графіками індукції флуоресценції хлорофілу (рис. 3) та формує різну площу графіка над віссю абсцис, що, відповідно, формує різну інтенсивність та адаптивну пристосованість фотосистеми рослин у формі реакції на біофортифікацією кремнієм за листкового живлення за різних варіантів його застосування.



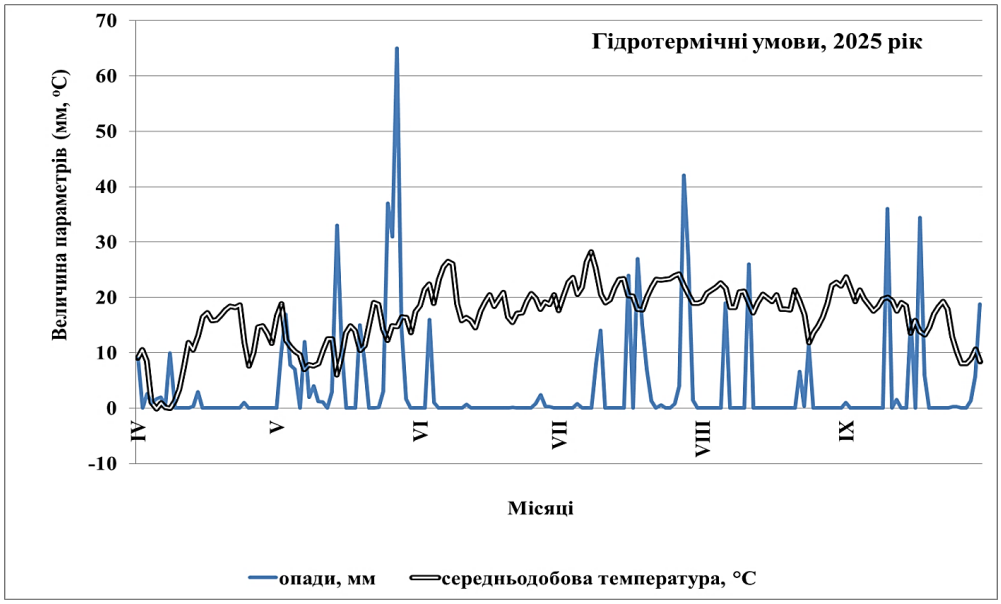


Рис. 2. Гідротермічні умови періоду вегетації сортів сої, 2024–2025 рр. (за даними датчико-логерної метеостанції (WMO_ID=33562) (49°14'60" пн. ш. 28°31'60" сх. д. на висоті 295 метрів над рівнем моря)

Таблиця 2

Індикативний аналіз кривої індукції флуоресценції хлорофілу у сої сорту Титан залежно від варіантів підживлення, відносних одиниць еталона флуоресценції хлорофілу (середнє за 2024–2025 рр.) *

Фаза внесення (B)	**Варіант під-живлення (C)**	**F_0**	**F_{pl}**	**F_m**	**F_{st}**	**dF_{pl}**	**F_v**	**dF_{pl}/F_v**	**EP**
B_1	C_1	208	400	1040	432	192	832	0,231	0,800
	C_2	176	352	1296	512	176	1120	0,157	0,864
	C_3	224	448	1152	384	224	928	0,241	0,806
	C_4	208	400	1216	448	192	1008	0,190	0,829

Продовження таблиці 2

B_2	C_1	272	512	1440	480	240	1168	0,205	0,811
	C_2	320	608	1584	480	288	1264	0,228	0,798
	C_3	240	448	1456	512	208	1216	0,171	0,835
	C_4	240	432	1584	512	192	1344	0,143	0,848
B_3	C_1	256	464	1440	528	208	1184	0,176	0,822
	C_2	272	528	1836	500	256	1564	0,164	0,852
	C_3	288	608	1568	496	320	1280	0,250	0,816
	C_4	256	496	1536	464	240	1280	0,188	0,833
B	C	L_{wp}	Q_{ue}	RF_d	K_{ef}	QP	K_{prp}	K_{fd}	V_t
B_1	C_1	5,00	0,250	1,407	0,415	0,731	4,000	2,407	0,269
	C_2	7,36	0,157	1,531	0,395	0,700	6,364	2,531	0,300
	C_3	5,14	0,241	2,000	0,333	0,828	4,143	3,000	0,172
	C_4	5,85	0,206	1,714	0,368	0,762	4,846	2,714	0,238
B_2	C_1	5,29	0,233	2,000	0,333	0,822	4,294	3,000	0,178
	C_2	4,95	0,253	2,300	0,303	0,873	3,950	3,300	0,127
	C_3	6,07	0,197	1,844	0,352	0,776	5,067	2,844	0,224
	C_4	6,60	0,179	2,094	0,323	0,798	5,600	3,094	0,202
B_3	C_1	5,63	0,216	1,727	0,367	0,770	4,625	2,727	0,230
	C_2	6,75	0,174	2,672	0,272	0,854	5,750	3,672	0,146
	C_3	5,44	0,225	2,161	0,316	0,838	4,444	3,161	0,163
	C_4	6,00	0,200	2,310	0,302	0,838	5,000	3,310	0,163
$HIP_{05}{}^{**}F_0$	A 5,21; B 4,24; C 4,24; AB 7,32; AC 7,32; BC 6,15; ABC 10,55								
F_{pl}	A 5,12; B 4,12; C 4,12; AB 7,15; AC 7,15; BC 5,81; ABC 10,12								
F_m	A 9,68; B 7,91; C 7,91; AB 13,75; AC 13,75; BC 11,23; ABC 14,52								
F_{st}	*A 3,52; B 2,88; C 2,88; AB 4,98; AC 4,98; BC 4,07; ABC 7,15*								

**Примітка. А – чинник умов року. Розшифровка індексів варіантів у таблиці 1.*

Це підтверджується поступовим та сталим зростанням показника максимальної змінної флуоресценції (F_v) та показника фотохімічної ефективності (ЕР) фотоситеми рослин за варіанту внесення мікродобрив у дві фенофази з приростом на рівні 3,5–4,8% у абсолютному значенні даних параметрів у співставленні до одинарного застосування мікродобрив у фазу галуження та бутонізації. У підсумку визначена динаміка вплинула позитивно і на характер адаптивних реакцій асиміляційної фотосистеми рослин.

Так встановлено, що водний потенціал листків рослин (L_{wp}), який визначає в цілому рівень посухостійкості рослин у середньому приростному виразі по застосованих феностадіях зріс на 20,2% при застосуванні Квантум АкваСил, на 16,1% при застосуванні КОРМІН Кремнієвий (Гумат) та на 4,7% у варіанті внесення Хелатин Кремній. Такі результати позитивно корелюють з концентрацією кремнію у застосованому добриві.

Слід відмітити з позиції біофортифікаційної ефективності кремнієм і приріст показника індексу життєздатності рослин сої (RF_d) з максимальною позитивною приростною динамікою у середньому по застосованих мікродобривах за внесення у фазу галуження та поєднаного внесення у фазу галуження та бутонізації у значенні 24,3% та 37,9% до контролю. Це узгоджується з рівнем зниження стресовості функціонування рослин за показником індикатора ендогенних (стресових) факторів (K_{ef}) який у результуючому усередненні по всіх застосованих строках внесення вивчаємих мікродобрив мав понижуючі коефіцієнтні значення у співставленні до контролю у значенні 0,868 при застосуванні Квантум АкваСил, 0,907 при застосуванні Хелатин Кремній та 0,893 у варіанті внесення КОРМІН Кремнієвий (Гумат). За рахунок такої динаміки індекс ефективності первинних реакцій фотосинтезу (K_{prp}) за тієї ж системи співставлення мав відносні показники приросту у значенні 25,1% за внесення Квантум АкваСил, 5,9% за внесення Хелатин Кремній та 19,9% за внесення КОРМІН Кремнієвий (Гумат).

Відмічене зростання стресостійкості рослин також підтверджено у дослідженнях

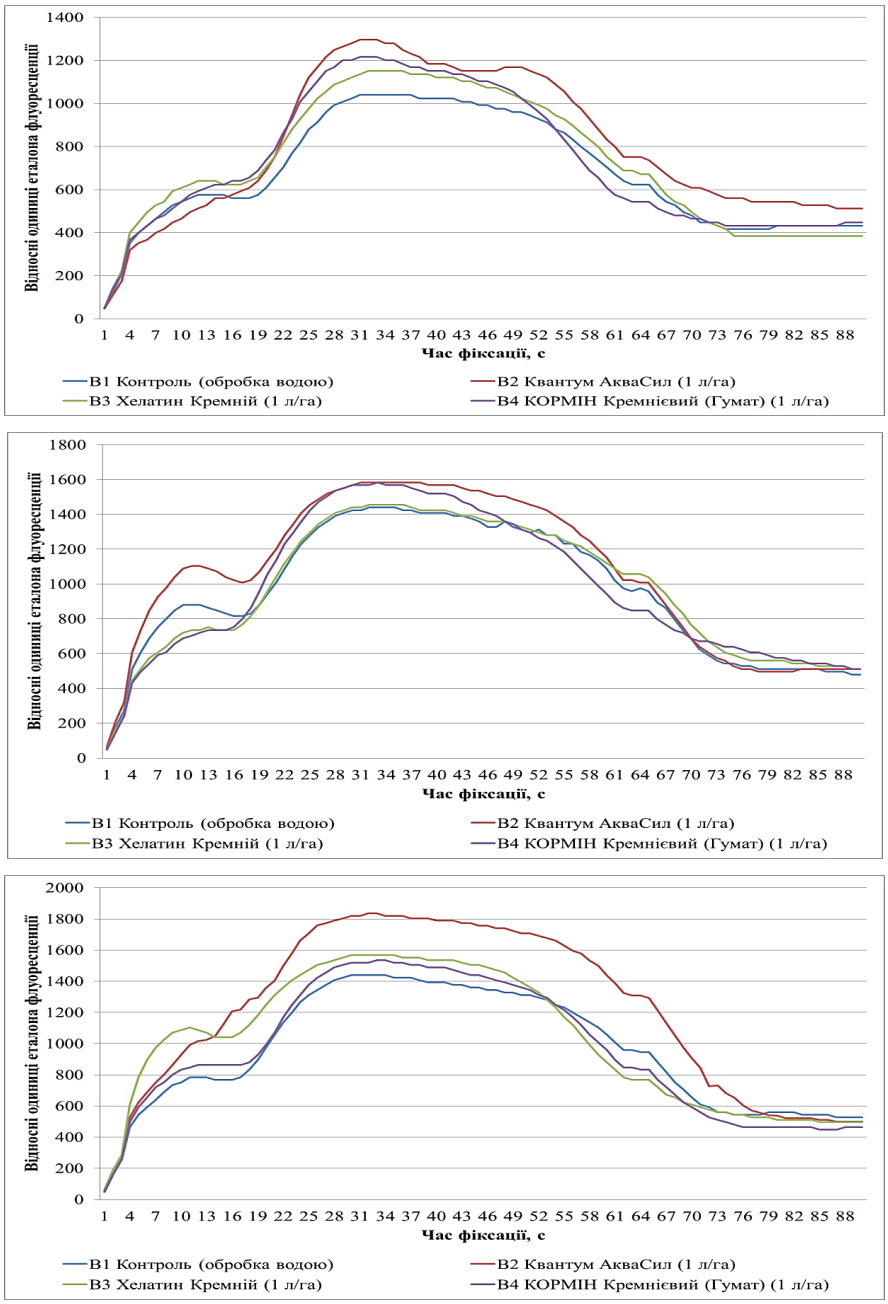


Рис. 3. Крива індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) у сорту сої Титан залежно від застосованих варіантів досліду (крива на основі середньобагаторічних показників за 2024–2025 рр. у відносних одиницях еталона флуоресценції).
Верхня позиція – початок галуження (ВВСН 21–23), середня – бутонізація (ВВСН 50–52), нижня – поєднання двох фаз внесення

параметрами коефіцієнт згасання флуоресценції (K_{fd}) та відносною зміною флуоресценції в момент часу t (V_t). Усереднене по варіантах застосування мікродобрив зростання першого показника в інтервалі 11,8–16,6% за зменшення другого в інтервалі 9,1–17,9% формує позитивні передумови для інтенсифікації первинних реакцій фотосинтезу в часі та створення адаптивного пристосування до інтенсифікації хронометражного гасіння вторинних фотохімічних реакцій фотосистеми рослин.

Слід зауважити, що на підставі представлених оцінок варіант застосування Квантум АкваСил був для всіх строків листкового підживлення істотно більш ефективним, а самі вивчаємі мікродобрива можна розмістити у такий ранжований ряд по зрос-

танню ефективності біофортифікації стресостійкості з позиції функціонування та адаптації фотоситеми рослин сої: Хелатин Кремній – КОРМІН Кремнієвий (Гумат) – Квантум АкваСил. Вказані висновки було підтверджено застосуванням методу оцінки посухостійкості рослин за динамікою вологовіддачі листя (табл. 3).

Отримані результати такої оцінки засвідчили вплив застосованих мікродобрив на динаміку вологовіддачі листків сої, що підтверджує попередньо зроблені висновки щодо оптимізацію параметрів посухостійкості рослин за варіантів біофортифікації кремнієвмісними мікродобривами. Так, при застосуванні мікродобрив на фазу галуження відмічено зниження вологовтрат листя на 1 та 2 добу оцінки на 11,1–14,3% відповідно за внесення Квантум АкваСил, 2,7–4,4% за внесення Хелатин Кремній та 6,7–10,8% за внесення КОРМІН Кремнієвий (Гумат). За внесення мікродобрив у фазу бутонізації аналогічні цифри становили інтервали зниження 5,9%–9,3%, 0,6–3,0% та 5–7%, відповідно. Максимальна редукція відмічена за бінарного внесення мікродобрив у значенні 5,7–12,0% для варіанту добрива Квантум АкваСил, 2,8–4,5% за внесення Хелатин кремній, 5,1–9,0% за внесення КОРМІН Кремнієвий (Гумат). При цьому, динаміка вологовіддачі була зміщена на 4–5 добу аналізу з приростами відносного показника втрат вологи на рівні 6,7–10,4% залежно від мікродобрива. Такий характер зміщення вказує на позитивний вплив застосованих мікродобрив на індикацію посухостійкості рослин, оскільки листковий апарат рослин є першим рубежем ефективності стрес-реакцій та адаптивних механізмів пристосування рослин до екстремальних умов посушливості та тривалості дії такого стресу. Враховуючи, що максимальне зміщення було відмічено у варіанті внесення саме Квантум АкваСил за бінарного застосування у дві визначені феностадії росту і розвитку сої, саме даний варіант мав найбільш істотний вплив на зміну темпів водорегуляції і водного балансу листкового апарату.

Позитивний вплив застосованих мікродобрив було підтверджено і тепловізійним дослідженням агроценозів відповідних варіантів сої (рис. 4) у поліспектрі зйомки.

Зокрема, інтенсивність температурного балансу рослин сої на дату максимальної сонячної активності у період максимальних середньодобових температур індукованих за їх наростанням та тривалості експліка-

Таблиця 3

Динаміка інтенсивності вологовіддачі листків сої сорту Титан зібраних через 10 діб після варіантів біофортифікації кремнієвмісними мікродобривами, середнє за 2024–2025 рр., %

Фаза внесення (чинник А)	**Мікродобрива застосовані у системі біофортифікації (чинник В)**	**Втрати вологи листям на відповідну добу після відбору, %**				
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
A_1 Початок галуження (ВВСН 21–23)	B_1 Контроль	35,9 ± 2,9	40,2 ± 2,6	15,8 ± 1,9	6,3 ± 2,1	1,8 ± 0,9
	B_2 Квантум АкваСил	24,8 ± 2,1	25,9 ± 3,2	28,5 ± 2,1	11,9 ± 1,5	8,9 ± 1,1
	B_3 Хелатин Кремній	33,2 ± 3,8	35,8 ± 3,5	17,9 ± 2,3	8,2 ± 2,1	4,9 ± 2,0
	B_4 КОРМІН Кремнієвий (Гумат)	29,2 ± 4,1	29,4 ± 2,1	30,1 ± 2,5	7,5 ± 2,4	3,8 ± 1,9
A_2 Бутонізація (ВВСН 50–52)	B_1 Контроль	37,5 ± 3,7	33,4 ± 2,9	20,2 ± 2,8	7,1 ± 2,8	1,8 ± 1,5
	B_2 Квантум АкваСил	28,2 ± 4,1	27,5 ± 3,8	21,4 ± 3,7	16,8 ± 2,2	6,1 ± 1,8
	B_3 Хелатин Кремній	34,5 ± 3,5	32,8 ± 3,4	21,9 ± 2,5	7,3 ± 2,5	3,5 ± 1,1
	B_4 КОРМІН Кремнієвий (Гумат)	30,5 ± 2,8	28,4 ± 3,2	21,2 ± 2,1	14,2 ± 1,5	5,7 ± 0,9
A_3 Початок галуження (ВВСН 21–23) + Бутонізація (ВВСН 50–52)	B_1 Контроль	36,3 ± 2,7	32,5 ± 2,3	21,7 ± 2,4	7,5 ± 1,2	2,0 ± 1,5
	B_2 Квантум АкваСил	24,3 ± 3,1	26,8 ± 2,9	22,7 ± 2,5	17,9 ± 2,2	8,3 ± 1,9
	B_3 Хелатин Кремній	31,8 ± 3,7	29,7 ± 2,4	20,6 ± 3,1	10,9 ± 2,5	7,0 ± 1,4
	B_4 КОРМІН Кремнієвий (Гумат)	27,3 ± 2,3	27,4 ± 2,7	23,3 ± 2,1	15,8 ± 1,9	6,2 ± 1,5

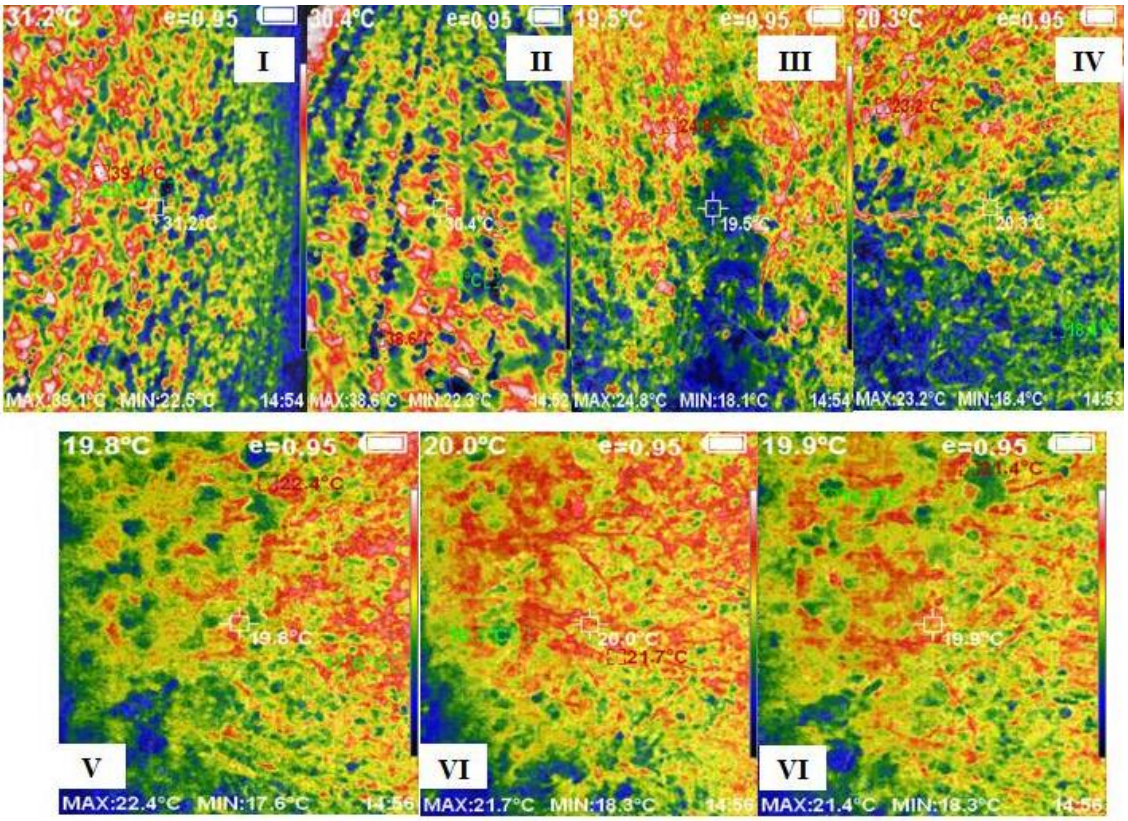


Рис. 4. Тепловізійна індикація посіву сої сорту Титан за різних варіантів застосування кремнієвмісних добрив за бінарного їх внесення (початок галуження (ВВСН 21–23) + бутонізація (ВВСН 50–52)) у пік денної температури повітря (I – Контроль; II – Квантум АкваСил; III – Хелатин Кремній; IV – КОРМІН Кремнієвий (Гумат); VI –VII – деталізація варіанту внесення Квантум АкваСил)), 2024 рік

ції. На підставі такого обстеження підтверджено істотні відмінності у середньому градієнті температурного прогрівання асиміляційної поверхні, враховуючи одно типовий час фіксації згідно індикативних даних теплові зорного обстеження.

У підсумку, оцінка такого підходу дозволила встановити, що усереднений градієнт температури асиміляційної поверхні сої у співставленні до контролю у середньому за період дослідження становив за внесення Квантум АкваСил становив зниження -5,7 °С, за внесення Хелатин Кремній – -2,5 °С та за внесення КОРМІН Кремнієвий (Гумат) – -4,2 °С.

Такі результати підтвердили наші попередні узагальнення щодо позитивної дії застосованих кремнієвмісних мікродобрив на оптимізацію теплового балансу рослин на фоні пікових денних температур та тривалої їх дії. В цьому плані особливо слід відмітити мікродобриво Квантум АкваСил. В цілому слід відмітити, що біофортифікація розглядається як надійний інноваційний важель не лише формування кінцевого продукту відповідної якості, але й через призму надання рослині набутих позитивних адаптивних рис, з позиції пристосуванні до змінних чинників довкілля – зумовлює загальне зростання біопродуктивності рослин та реалізації їх урожайності (табл. 4).

Встановлено, що використання мікродобрив в усі фенологічні фази було ефективним. При цьому ефективність різних мікродобрив була істотно різною. Максимальні прирости у відносному виразі було відмічено за використання в підживлення Квантум АкваСил відповідно за внесення у фенологічну фазу галуження 4,9%, за внесення у фазу бутонізації 10,1% та за внесення в обидві фази 17,9%. Другим по ефективності, як і у випадку показників оцінки стресостійкості було застосування мікродобрива КОРМІН Кремнієвий (Гумат) з аналогічними показниками приростів за застосування у ті ж фенофази 5,3%, 8,8% та 16,4% відповідно. Відповідно третю градаційну позицію займало мікродобриво

Таблиця 4

Урожайність сої сорту Титан залежно від варіантів біофортифікації кремнієвмісними мікродобривами, 2024–2025 рр., т/га

Фаза внесення (чинник А)	**Мікродобрива застосовані у системі біофортифікації (чинник В)**	**2024**	**2025**	**Середнє**	**+/- до контролю**
A_1 Початок галуження (ВВСН 21–23)	B_1 Контроль	2,58	2,44	2,51	–
	B_2 Квантум АкваСил	2,72	2,56	2,64	0,13
	B_3 Хелатин Кремній	2,63	2,52	2,58	0,07
	B_4 КОРМІН Кремнієвий (Гумат)	2,69	2,61	2,65	0,14
A_2 Бутонізація (ВВСН 50–52)	B_1 Контроль	2,60	2,41	2,51	–
	B_2 Квантум АкваСил	2,85	2,72	2,79	0,28
	B_3 Хелатин Кремній	2,72	2,58	2,65	0,15
	B_4 КОРМІН Кремнієвий (Гумат)	2,80	2,68	2,74	0,24
A_3 Початок галуження (ВВСН 21–23) + Бутонізація (ВВСН 50–52)	B_1 Контроль	2,60	2,49	2,55	–
	B_2 Квантум АкваСил	3,17	3,03	3,10	0,56
	B_3 Хелатин Кремній	3,02	2,85	2,94	0,39
	B_4 КОРМІН Кремнієвий (Гумат)	3,12	2,97	3,05	0,50
$НІР_{05}$, т/га (Додаток 6)		0,12	0,10	–	–

Хелатин Кремній де прирістний ряд за внесення у згадувані фенофази склало ряд 2,7%, 5,7% та 13,3% відповідно. Отримані результати позитивно узгоджуються із отриманими оцінками функціонування фотосистеми рослин, водоутримуючої здатності листкового апарату та результатами тепловізійної індикації посівів у досліді.

Обговорення

Відмічені особливості біофортифікаційної реакції рослин сої на хелатну форму кремнію, відповідає визначеним особливостям його ролі в формування адаптивних та захисних реакцій, зокрема на дефіцит вологи, інтенсивне наростання середньодобових температу, або ж навпаки холодовий стрес (Agyenim-Boateng et al., 2023). У цьому плані, відмічається також, що фотосистема рослин першою реагує на такі стреси, а тому негативні зміни у первинних та вторинних реакціях фотосинтезу зумовлюють фізіологічні зміни у рослинному організмі, які у підсумку ведуть до зниження як адаптації, так і урожайності рослин (Chennakesavulu et al., 2021; Cohen et al., 2021). Це підтверджується встановленими змінами у базових показниках кривої індукції флуоресценції (ІФХ) у варіантах досліду у співставленні до контролю. Зокрема, визначено зростання у відносному виразі всіх ключових чинників кривої у варіантах застосування кремнієвмісних мікродобрив: початкового значення індукції флуоресценції (F_0) на 12,5–18,9%; F_p (або F_{pl}) – флуоресценції зона «плато» на 15,6–20,9%, максимального рівня індукції флуоресценції (F_m) на фоні зниження стаціонарне значення індукції флуоресценції хлорофілу (F_{st}) на 8,7–12,9%. Це формує більшу ординатну площу графіка та вказує на загальну інтенсифікацію первинних фотохімічних перетворень, що забезпечує за загальними оцінками (Brestic & Zivcak, 2013) гнучку систему віддалених реакцій на стресове подразнення організму. У продовження цих висновків, спираючись на критерій максимальної індукції флуоресценції (F_m), який розглядається як головний індикатор впливу компонента технології на ефективність та інтенсивність асиміляції (Цицюра & Томчук, 2023) – комбіноване внесення мікродобрив у дві фенофази було найбільш ефективним та доцільним.

Відмічено, що такі зміни у базових критеріях кривої ІФХ забезпечують якісні зміни у важливих індикативних параметрах стану організму, зокрема таких як водний потенціал листка (L_{wp}, визначає стан тургору листкового апарату та потенційну стійкість до інтенсивної вологовіддачі при дефіциті зволоження (Kalaji et al., 2017)), індекс життєздатності рослин (RF_d, визначає потенційний рівень збереження активних фізіологічних функцій рослини за відповідної дії одинарних чикомбінованих стресів (Цицюра & Томчук, 2023)), індикатор ендогенних (стресових) факторів (K_{ef},

формує стійку індикацію рівня стресовості асиміляційної поверхні рослин (Brestic & Zivcak, 2013)),індекс ефективності первинних реакцій фотосинтезу ($K_{pгр}$, сигналізує зміни у динаміці перебігу основних фотохімічних перетворень у процесі фотосинтезу з огляду на стан стресовості рослини в цілому (Romanov et al., 2011; Kalaji et al., 2017)). Визначені якісні зміни цих показників у напрямку оптимізації стану фотосистеми рослин у всіх варіантах досліду, а особливо у варіанті застосування добрива Квантум АкваСил свідчить про доцільність використання кремнієвмісних мікродобрив у варіанті листкового підживлення для біофортифікаційної корекції стресостійкості рослин сої. Це позитивно узгоджується з аналогічними оцінками реакції асиміляційної поверхні рослин інших видів за внесення різних варіантів як макро і мікродобрив, так і регуляторів росту, рістстимулюючих біологічних компонентів, пестицидів тощо (Mrština et al., 2024; Makdoh et al., 2025; Manimaran et al., 2025).

Відмічено, що кремній у халатній формі забезпечує позитивну регуляцію процесів транспірації та складових водного балансу листкового апарату рослин (Verma et al., 2024). Такий характер формує позитивний вплив як на зростання загальної оводненості тканин листка у формі тургорного показника та у формі вільної вологи (Wadas & Kondraciuk, 2025). Разом із зростанням оводненості тканин знижуються і зворотні процеси вологовіддачі листка, сповільнюються темпи його висихання (Wang et al., 2025). Вказані результати узгоджуються із оцінкою динаміки вологовіддачі листків сої зі зміщенням інтенсивності темпів висихання на 2–3 доби у порівнянні з варіантом без застосування кремнієвмісних мікродобрив. За рахунок окреслених процесів середньодобові втрати вологи на варіантах застосування мікродобрив було істотно нижчими ніж на контролі, зокрема на контролі даний показник становив у усередненно по строках застосування мікродобрив на контролі 6,94% /добу, при застосуванні Квантум АкваСил 3,60 %/добу, Хелатин Кремній 5,61 %/добу та КОРМІН Кремнієвий (Гумат) 4,75%/добу.

Результати тепловізійного обстеження посівів сої після певного періоду застосування досліджуваних мікродобрив, також підтверджено і в інших оцінках (Hatfield & Dold, 2019) де радіаційний баланс агроценозу певної культури виступає загальним індикатором фізіологічного стану рослини через призму вмісту вологи, тургорного та осмотичного тиску, активних процесів водного транспорту та динаміки транспірації. При цьому, рослини з кращою адаптивністю у пікові літні температури демонструють меншу амплітуду теплового балансу тканин та, відповідно, більш «холодний» спект у тепловізорному знімку (Григорчук та ін., 2017; Cohen et al., 2021; Deepak et al., 2023). З огляду на ці дослідження і було проведено ідентифікацію кращого варіанту застосування кремнієвмісного мікродобрива та проведено оцінку градації впливу варіантів вивчаємих добрив на оптимальність стану агроценозу на одну й туж дату фіксації.

Багатьма дослідженнями підтверджено також загальний результуючий позитивний вплив мікродобрив з кремнієм на формування урожайності ряду культур в тому числі і сої (Choudhary et al., 2014; Abd El-Aal et al., 2018; Chennakesavulu et al., 2021). Такий результат було пояснено з позиції впливу такого виду добрив саме на оптимізації фізіологічних систем рослинного організму на фоні різких та мінливих чинників довкілля як фонового стрес-середовища (Dai et al., 2020). При цьому, прирістна система урожайності від таких варіантів листкового живлення мала досить широкий інтервал значень від 5,5% до 30,9% (Ducsay et al., 2021; Deepak et al., 2023), що цілком узгоджується з позитивними результатами у наших кращих варіантах досліду, що в свою чергу доводить ефективність застосування як кращого варіанту підживлення рослин кремнієвмісним добривом Квантум АкваСил нормою 1 л/га у дві фенологічні фази початок галуження (ВВСН 21–23) та бутонізації (ВВСН 50–52).

Висновки

Оцінка впливу кремнієвміних мікродобрив у різні критичні феностадії росту та розвитку сої засвідчила як їх загальний так і виражений специфічний позитивний вплив на оптимізацію функціонування фотосистеми рослин у виразі зростання водного потенціалу листя в інтервалі 16,1–20,2%, зниження загальної стресовості росту в інтервалі 9,3–13,2%, зростання загального індексу життєздатності рослин в інтервалі 19,8–26,2%, що у підсумку гармонізує та оптимізує адаптивний потенціал та стресостійкість рослинного організму за рахунок позитивних змін у інтенсивності первинних реакцій фотосинтезу та значень

фотохімічного їх гасіння. Встановлено позитивний вплив застосованих кремнієвмісних добрив на водоутримуючу здатність листя зі зміщенням піку вологовтрат з 1–2 доби на 4–5 добу порівняно з контролем. Визначено загальний позитивний вплив застосованих мікродобрив на показники урожайності сої з максимальним приростом за використання в підживлення Квантум АкваСил: за внесення у фенологічну фазу галуження 4,9%, фазу бутонізації 10,1% та в обидві фази 17,9%.

У підсумку, ранжированый ряд у порядку зростання позитивного впливу на стресостійкість рослин було розміщено у наступному порядку застосованих мікродобрив: Хелатин Кремній – КОРМІН Кремнієвий (Гумат) – Квантум АкваСил.

Список використаної літератури

Кобизєва Л. Н., Безугла О. М., Силенко С. І., Колотилов В. В., Сокол Т. В., Докукіна К. І., Василенко А. О., Безуглий І. М., Вус Н. О. Методичні рекомендації з вивчення генетичних ресурсів зернобобових культур. НААН, Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. Харків, 2016. 84 с.

Григорчук Н.Ф., Донцова Ю.І., Якубенко О.В. Оцінка сортів сої на посухостійкість. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2017. № 24. С. 59–67.

Цицюра Я.Г., Томчук О.М. Індикація системи живлення ріпаку озимого за показниками індукції флуоресценції хлорофілу. *Аграрні інновації*. 2023. № 21. С. 110–118. http://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.17

Abd El-Aal, M. M. M., Eid R. S. M. Effect of foliar spray with lithovit and amino acids on growth, bioconstituents, anatomical and yield features of soybean plant. *Plant Biotechnology*. 2018. Vol. 56. P. 187–202. https://doi.org/10.21608/assjm.2018.65137

Agyenim-Boateng K.G., Zhang S., Shohag M.J.I., Shaibu A.S., Li J., Li B., Sun J. Folate biofortification in soybean: Challenges and prospects. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. 241. https://doi.org/10.3390/agronomy13010241

Brestic M, Zivcak M. PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in plants: protocols and applications. In: Rout GR, Das AB (eds.) Molecular stress physiology of plants. Springer Dordrecht 2013. P. 87–131. http://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5_4

Chennakesavulu K., Singh H., Trivedi P. K., Jain M., Yadav S. R. State-of-the-art in CRISPR technology and engineering drought, salinity, and thermo-tolerant crop plants. *Plant Cell Reports*. 2021. Vol. 41. P. 815–831. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02681-w

Choudhary P., Jhajharia A., Kumar R. Influence of sulphur and zinc fertilization on yield, yield components and quality traits of soybean (*Glycine max* L.). *Bioscan*. 2014. Vol. 9. P. 137–142.

Cohen I., Zandalinas S. I., Huck C., Fritschi F. B., Mittler R. Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiologia Plantarum*. 2021. Vol. 171. P. 66–76. https://doi.org/10.1111/ppl.1 3203

Cuesta N. N., Carciochi W., Wyngaard N., Rozas H. S., Silva S., Salvagiotti F. Zinc fertilization strategies in soybean: plant uptake, yield, and seed concentration. *Plant Nutrition*. 2023. Vol. 46. P. 1134–1144. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067059

Dai H., Wei S., Twardowska I. Biofortification of soybean (*Glycine max* L.) with Se and Zn, and enhancing its physiological functions by spiking these elements to soil during flowering phase. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 740. 139648. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139648

Deepak S.B., Mahadev C.R., Ganesh N.C., Nikam, T. D. Improvement of Soybean Crop for Yield, Stress Tolerance, and Value-Added Products Using a Transgenic Approach. *Advances in Agriculture*. 2023. 8166928. https://doi.org/10.1155/2023/8166928

Ducsay L.,Zapletalová A., Slepčan M., Vicianová M., Hozlár P., Bušo R. Selenium effect on wheat grain yield and quality applied in different growth stages. *Plant, soil and environment*. 2021. Vol. 67. Iss. 3. P. 147–153. https://doi.org/0.17221/589/2020-PSE

Genc Y., Humphries J. M., Lyons G. H., Graham R. D. Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2005. Vol. 18. № 4. P. 319–24. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.005

Han Ş., Sönmez İ., Qureshi M., Güden B., Gangurde S.S., Yol E. The effects of foliar amino acid and Zn applications on agronomic traits and Zn biofortification in soybean (*Glycine max* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. 1382397. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1382397

Hansch R., Mendel R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*. 2009. Vol. 12. P. 259–266. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006

Hatfield J. L., Dold C. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. 103. https://doi.org/10.3389/fpls.2019. 00103

Jianing G., Yuhong G., Yijun G., Rasheed A., Qian Z., Zhiming X., Mahmood A., Shuheng Z., Zhuo Z., Zhuo Z., Xiaoxue W., Jian W. Improvement of heat stress tolerance in soybean (Glycine max L), by using conventional and molecular tools. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol.13. 993189. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.993189

Jumrani K., Bhatia V. S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2019. Vol. 25. P. 667–681. https://doi.org/10.1007/s12298-019-00657-5

Kalaji H.M., Goltsev V.N., Żuk–Golaszewska K., Zivcak M., Brestic M. Chlorophyll Fluorescence. Understanding Crop Performance: Basics and Applications. CRC Press, Boca Raton. 2017. 222 p.

Katam R., Shokri S., Murthy N., Singh S. K., Suravajhala P., Khan M. N. Proteomics, physiological, and biochemical analysis of cross tolerance mechanisms in response to heat and water stresses in soybean. *PLoS One*. 2020. Vol. 15. e0233905. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233905

Korobko A., Kravets R., Mazur O., Mazur O., Shevchenko N. Nitrogen-fixing capacity of soybean varieties depending on seed inoculation and foliar fertilization with biopreparations. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25, Issue 4. P. 23–37. https://doi.org/10.12911/22998993/183497

Kumar A., Choudhary A., Kaur H. Exploring the role of silicon in enhancing sustainable plant growth, defense system, environmental stress mitigation and management. *Discover Applied Sciences*. 2025. Vol. 7. 406. https://doi.org/10.1007/s42452-025-06866-w

Makdoh B., Singh A.P., Zhiipao R.R. Zinc-based agronomic bio-fortification strategies for soybean in the North Eastern Himalayas of India. Scientific *Reports*. 2025. Vol. 15. 36152. https://doi.org/10.1038/s41598-025-17007-z

Manimaran G., Duraisamy S., Subramanium S., Rangasamy A., Alagarsamy S., James P., Selvamani P., Perumal D., Veerappan M., Arunan Y.E. Silicon-driven approaches to salinity stress tolerance: Mechanisms, uptake dynamics, and microbial transformations. *Plant Stress*. 2025. Vol. 16. 100825. https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100825

Mrština T., Praus L., Száková J., Kaplan L., Tlustoš P. Foliar selenium biofortification of soybean: the potential for transformation of mineral selenium into organic forms. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. 1379877. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1379877

Romanov V.O., Artemenko D.M., Braiko Y.O. Family of portable devices 'Floratest': preparation for serial production. *Computer tools, networks and systems*. 2011. № 10. P. 85–93.

Thavarajah D., Ruszkowski J., Vandenberg A. High potential for selenium biofortification of lentils (*Lens culinaris* L.). *Agricultural & Food Chemistry*. 2008. Vol. 56. № 22. P. 10747–10753. https://doi.org/10.1021/jf802307h

Verma K.K., Song X.P., Liang Q., Huang H.-R., Bhatt R., Xu L., Chen G.L., Li Y.R. Unlocking the role of silicon against biotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science.* 2024. Vol. 15.1430804. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430804

Wadas W., Kondraciuk T. The Role of Foliar-Applied Silicon in Improving the Growth and Productivity of Early Potatoes. *Agriculture*. 2025. Vol. 15. №5. 556. https://doi.org/10.3390/agriculture15050556

Wang Z., Hussain B., Wang X., Hamid Y., Zhang J., Khan M.B., He Z., Yang X. Synergistic Effects of Selenium and Silicon Nanoparticles on Peach Quality Enhancement and Se Biofortification Through Foliar Application. *Plants*. 2025. Vol. 14. 3669. https://doi.org/10.3390/plants14233669

Wong J. Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications (Second Edition). Academic Press, 2018. 589 p. http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4

Zapletalová A., Kolenčík M., Ducsay L., Vicianová M., Vician T., Černý I., Bušo R. Approach to Selenium Application in Different Soil Concentrations for Encouraged Yield, Distribution, and Biofortification of Common Buckwheat Seeds (Fagopyrum esculentum Moench). *Agriculture-Basel*. 2025. Vol. 15. Iss. 8. 891 https://doi.org/10.3390/agriculture15080891

Zargar S.M., Mahajan R., Bhat J.A., Nazir M., Deshmukh R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech*. 2019. Vol. 9. № 3. 73. https://doi.org/10.1007/s13205-019-1613-z

References

Kobyzieva, L. N., Bezuhla, O. M., Sylenko, S. I., Kolotylov, V. V., Sokol, T. V., Dokukina, K. I., Vasylenko, A. O., Bezuhlyi, I. M., & Vus, N. O. (2016). Metodychni rekomendatsii z vyvchennia henetychnykh resursiv zernobobovykh kultur [Guidelines for the study of genetic resources of grain legume crops]. NAAN, Instytut roslynnytstva im. V. Ya. Yurieva. Kharkiv [in Ukrainian].

Hryhorchuk, N.F., Dontsova, Yu.I., & Yakubenko, O.V. (2017). Otsinka sortiv soi na posukhostiikist [Evaluation of soybean varieties for drought resistance]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu oliinykh kultur NAAN* [*Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops of NAAS*]. 24, 59–67 [in Ukrainian].

Tsytsiura, Ya.H., & Tomchuk, O.M. (2023). Indykatsiia systemy zhyvlennia ripaku ozymoho za pokaznykamy induktsii fluorestsentsii khlorofilu [Indication of the life system of winter rapeseed by chlorophyll fluorescence induction indicators]. *Ahrarni innovatsii* [*Agrarian Innovations*]. 21, 110–118. http://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.17 [in Ukrainian].

Abd, El-Aal, M. M. M., & Eid, R. S. M. (2018). Effect of foliar spray with lithovit and amino acids on growth, bioconstituents, anatomical and yield features of soybean plant. *Plant Biotechnology*. 56, 187–202. https://doi.org/10.21608/assjm.2018.65137 [in English].

Agyenim-Boateng, K.G., Zhang, S., Shohag, M.J.I., Shaibu, A.S., Li J., Li, B., & Sun, J. (2023). Folate biofortification in soybean: Challenges and prospects. *Agronomy*. 13, 241. https://doi.org/10.3390/agronomy13010241 [in English].

Brestic, M, & Zivcak, M. (2013). PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in plants: protocols and applications. In: Rout GR, Das AB (eds.) Molecular stress physiology of plants. Springer Dordrecht, 87–131. http://doi.org/10.1007/978-81-322-0807-5_4 [in English].

Chennakesavulu, K., Singh, H., Trivedi, P. K., Jain, M., & Yadav, S. R. (2021). State-of-the-art in CRISPR technology and engineering drought, salinity, and thermo-tolerant crop plants. *Plant Cell Reports*. 41, 815–831. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02681-w [in English].

Choudhary, P., Jhajharia, A., & Kumar, R. (2014). Influence of sulphur and zinc fertilization on yield, yield components and quality traits of soybean (*Glycine max* L.). *Bioscan*. 9, 137–142 [in English].

Cohen, I., Zandalinas, S. I., Huck, C., Fritschi, F. B., & Mittler, R. (2021). Meta-analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components. *Physiologia Plantarum*. 171, 66–76. https://doi.org/10.1111/ppl.13203 [in English].

Cuesta, N. N., Carciochi, W., Wyngaard, N., Rozas, H. S., Silva, S., & Salvagiotti, F. (2023). Zinc fertilization strategies in soybean: plant uptake, yield, and seed concentration. *Plant Nutrition*. 46, 1134–1144. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067059 [in English].

Dai, H., Wei, S., & Twardowska, I. (2020). Biofortification of soybean (*Glycine max* L.) with Se and Zn, and enhancing its physiological functions by spiking these elements to soil during flowering phase. *Science of the Total Environment*. 740, 139648. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139648 [in English].

Deepak S.B., Mahadev C.R., Ganesh N.C., & Nikam, T. D. (2023). Improvement of Soybean Crop for Yield, Stress Tolerance, and Value-Added Products Using a Transgenic Approach. *Advances in Agriculture*. 8166928. https://doi.org/10.1155/2023/8166928 [in English].

Ducsay, L.,Zapletalová, A., Slepčan, M., Vicianová, M., Hozlár, P., & Bušo, R. (2021). Selenium effect on wheat grain yield and quality applied in different growth stages. *Plant, soil and environment*. 2021. 67(3), 147–153. https://doi.org/0.17221/589/2020-PSE [in English]

Genc, Y., Humphries, J. M., Lyons, G. H., & Graham, R. D. (2005). Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 18(4), 319–324. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.005 [in English].

Han, Ş., Sönmez, İ., Qureshi, M., Güden, B., Gangurde, S.S., & Yol, E. (2024). The effects of foliar amino acid and Zn applications on agronomic traits and Zn biofortification in soybean (*Glycine max* L.). *Frontiers in Plant Science*. 15, 1382397. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1382397 [in English].

Hansch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*. 12, 259–266. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006 [in English].

Hatfield, J. L., & Dold, C. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*. 2019. 10, 103. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103 [in English].

Jianing, G., Yuhong, G., Yijun, G., Rasheed, A., Qian, Z., Zhiming, X., Mahmood, A., Shuheng, Z., Zhuo, Z., Zhuo, Z., Xiaoxue, W., & Jian, W. (2022). Improvement of heat stress tolerance in soybean (Glycine max L), by using conventional and molecular tools. *Frontiers in Plant Science*. 13, 993189. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.993189 [in English].

Jumrani, K., & Bhatia, V. S. (2019). Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 25, 667–681. https://doi.org/10.1007/s12298-019-00657-5 [in English].

Kalaji, H.M., Goltsev, V.N., Żuk–Golaszewska, K., Zivcak, M., Brestic, M. (2017). Chlorophyll Fluorescence. Understanding Crop Performance: Basics and Applications. CRC Press, Boca Raton [in English].

Katam, R., Shokri, S., Murthy, N., Singh, S. K., Suravajhala, P., Khan, M. N. (2020). Proteomics, physiological, and biochemical analysis of cross tolerance mechanisms in response to heat and water stresses in soybean. *PLoS One*. 15, e0233905. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233905 [in English].

Korobko, A., Kravets, R., Mazur, O., Mazur, O., & Shevchenko, N. (2024). Nitrogen-fixing capacity of soybean varieties depending on seed inoculation and foliar fertilization with biopreparations. *Journal of Ecological Engineering*. 25(4), 23–37. https://doi.org/10.12911/22998993/183497 [in English].

Kumar, A., Choudhary, A., & Kaur, H. (2025). Exploring the role of silicon in enhancing sustainable plant growth, defense system, environmental stress mitigation and management. *Discover Applied Sciences*. 7, 406. https://doi.org/10.1007/s42452-025-06866-w [in English].

Makdoh, B., Singh, A.P., & Zhiipao, R.R. (2025). Zinc-based agronomic bio-fortification strategies for soybean in the North Eastern Himalayas of India. Scientific *Reports*. 15, 36152. https://doi.org/10.1038/s41598-025-17007-z [in English].

Manimaran, G., Duraisamy, S., Subramanium, S., Rangasamy, A., Alagarsamy, S., James, P., Selvamani, P., Perumal, D., Veerappan, M., & Arunan, Y.E. (2025). Silicon-driven approaches to salinity stress tolerance: Mechanisms, uptake dynamics, and microbial transformations. *Plant Stress*. 16, 100825. https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100825 [in English].

Mrština, T., Praus, L., Száková, J., Kaplan, L., Tlustoš, P. (2024). Foliar selenium biofortification of soybean: the potential for transformation of mineral selenium into organic forms. *Frontiers in Plant Science*. 15, 1379877. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1379877 [in English].

Romanov, V.O., Artemenko, D.M., & Braiko, Y.O. (2011). Family of portable devices 'Floratest': preparation for serial production. *Computer tools, networks and systems*. 10, 85–93 [in English].

Thavarajah, D., Ruszkowski, J., & Vandenberg, A. (2008). High potential for selenium biofortification of lentils (*Lens culinaris* L.). *Agricultural & Food Chemistry*. 56(22), 10747–10753. https://doi.org/10.1021/jf802307h [in English].

Verma, K.K., Song, X.P., Liang, Q., Huang, H.-R., Bhatt, R., Xu, L., Chen, G.L., & Li, Y.R. (2024). Unlocking the role of silicon against biotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*. 15,1430804. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430804 [in English].

Wadas, W., & Kondraciuk, T. (2025). The Role of Foliar-Applied Silicon in Improving the Growth and Productivity of Early Potatoes. *Agriculture*. 15(5), 556. https://doi.org/10.3390/agriculture15050556 [in English].

Wang, Z., Hussain, B., Wang, X., Hamid, Y., Zhang, J., Khan, M.B., He, Z., & Yang, X. (2025). Synergistic Effects of Selenium and Silicon Nanoparticles on Peach Quality Enhancement and Se Biofortification Through Foliar Application. *Plants*. 14, 3669. https://doi.org/10.3390/plants14233669 [in English].

Wong, J. (2018). Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications (Second Edition). Academic Press. http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4 [in English].

Zapletalová, A., Kolenčík, M., Ducsay, L., Vicianová, M., Vician, T., Černý, I., & Bušo, R. (2025). Approach to Selenium Application in Different Soil Concentrations for Encouraged Yield, Distribution, and Biofortification of Common Buckwheat Seeds (Fagopyrum esculentum Moench). *Agriculture-Basel*. 15(8), 891 https://doi.org/10.3390/agriculture15080891 [in English].

Zargar, S.M., Mahajan, R., Bhat, J.A., Nazir, M., & Deshmukh, R. (2019). Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech*. 9(3), 73. https://doi.org/10.1007/s13205-019-1613-z [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 631.524.2:631.527.2(477.61) :631.58
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.24

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В. В. Яценко[1], В. С. Горбенко[2]

У статті наведено результати досліджень впливу різних систем обробітку ґрунту на формування індивідуальної продуктивності рослин, фракційного складу насіння та біохімічних показників зерна сої в умовах Правобережного Лісостепу України. Метою дослідження було оцінити ефективність традиційної, мінімізованої (mini-till) та смугової (strip-till) систем обробітку ґрунту під час вирощування середньостиглих сортів сої ЕС Ментор і Паллада в умовах сучасних кліматичних змін. Польові досліди проводили у 2024–2025 роках на ясно-сірому лісовому ґрунті важкосуглинкового гранулометричного складу за схемою розщеплених ділянок у чотирикратній повторності. У дослідженні оцінювали показники індивідуальної продуктивності рослин, масу 1000 насінин, натуру насіння, фракційний склад насіння, вміст білка та олії, а також умовний вихід основних біохімічних компонентів. Встановлено, що формування продуктивності сої та якості зерна визначалося комплексною взаємодією сортових особливостей і систем обробітку ґрунту. Сорт Паллада характеризувався більшою кількістю бобів і насінин на рослині, тоді як сорт ЕС Ментор формував крупніше й щільніше насіння з підвищеним вмістом білка. Традиційна система обробітку забезпечила найвищі значення загальної кількості насіння, натури зерна та умовного збору білка й олії. Водночас застосування mini-till і strip-till не спричинило істотного зниження індивідуальної продуктивності рослин і дозволило зберегти основні показники якості в межах середньої статистичної варіабельності. Аналіз фракційного складу насіння показав, що за традиційного обробітку ґрунту формувалася найбільша частка товарного, повноцінного насіння, тоді як мінімізовані технології супроводжувалися збільшенням частки дрібних фракцій, особливо за системи strip-till. Вміст білка й олії у насінні переважно визначався генотипом, тоді як їх умовний вихід залежав від загального рівня продуктивності. Отримані результати свідчать про доцільність поєднання адаптованих сортів сої з ресурсозберігаючими системами обробітку ґрунту для підвищення стабільності виробництва, збереження родючості ґрунтів і забезпечення високої якості продукції в умовах змін клімату.

***Ключові слова**: mini-till, strip-till, традиційна система обробітку, маса 1000 зерен, білок, олія.*

[1] доктор сільськогосподарських наук,
доцент кафедри рослинництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: slavikskavin16@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2989-0564
[2] здобувач освітньо-наукового ступеня доктор філософії кафедри рослинництва
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: viachyats@gmail.com
ORCID: 0009-0006-2434-7094

FORMATION OF YIELD STRUCTURE AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

V. V. Yatsenko, V. S. Horbenko

The article presents the results of research on the impact of different tillage systems on the formation of individual plant productivity, seed fraction composition, and biochemical parameters of soybean grains under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of conventional, minimized (mini-till), and strip-till soil management systems in cultivating medium-maturing soybean varieties ES Mentor and Палладаа under contemporary climate change conditions. Field experiments were conducted in 2024–2025 on an Albeluvisol (loamy heavy soil) using a split-plot design with four replications. The study evaluated indicators of individual plant productivity, thousand-seed weight, seed bulk density, seed fraction composition, protein and oil content, as well as the conditional yield of major biochemical components. It was found that the formation of soybean productivity and grain quality was determined by the complex interaction between varietal traits and tillage systems. The Палладаа variety was characterized by a higher number of pods and seeds per plant, while the ES Mentor variety produced larger and denser seeds with increased protein content. The conventional tillage system provided the highest values of total seed number, seed bulk density, and conditional protein and oil yield. At the same time, the use of mini-till and strip-till did not cause a significant decrease in individual plant productivity and allowed the main quality indicators to be maintained within the range of average statistical variability. Analysis of seed fraction composition showed that the conventional tillage system resulted in the highest proportion of marketable, fully developed seeds, whereas minimized technologies were associated with an increase in the share of small fractions, especially under strip-till. Protein and oil content in seeds was primarily determined by genotype, while their conditional yield depended on overall productivity levels. The results indicate the feasibility of combining adapted soybean varieties with resource-saving tillage systems to enhance production stability, preserve soil fertility, and ensure high product quality under changing climatic conditions.

***Key words**: mini-till, strip-till, conventional tillage system, weight 1000 seed, protein, oil.*

Вступ

В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та посилення впливу глобальних кліматичних змін особливої актуальності набуває проблема оптимізації систем обробітку ґрунту з метою забезпечення стабільної продуктивності культур і збереження ґрунтової родючості. Традиційні технології, що базуються на інтенсивному механічному впливі, з одного боку, сприяють формуванню сприятливих умов для росту рослин, проте з іншого – супроводжуються деградацією ґрунтової структури, підвищенням ризиків ерозії, втратами органічної речовини та зростанням енергетичних витрат. У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають ресурсозберігаючі системи землеробства, зокрема mini-till і strip-till, ефективність яких потребує наукового обґрунтування з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов.

Незважаючи на наявність численних досліджень з питань мінімізованого обробітку ґрунту, для умов Правобережного Лісостепу України залишається недостатньо вивченим його вплив на формування індивідуальної продуктивності, фракційного складу та біохімічної якості зерна сої з урахуванням сортових особливостей. Відсутність комплексних даних у цьому напрямі ускладнює розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для виробництва.

За надмірної інтенсивності обробітку сільськогосподарських угідь шляхом оранки з обертанням скиби ґрунту (Bechmann & Bøe, 2021) частково контролюються окремі хвороби та шкідники (Poggi et al., 2021; Kuka et al., 2022), однак водночас виникають і негативні наслідки, пов'язані з посиленими втратами вологи (Telak, 2020), уповільненням мінералізації рослинних решток, які загортаються на значну глибину (Azimi-Nejadian et al, 2022), формуванням плужної підошви, порушенням безперервності капілярів ґрунту (дренажу) (Korczyk-Szabó et al., 2024), а також із посиленням ерозійних процесів у разі проведення оранки уздовж лінії схилу (Singh et al., 2023). Застарілі, енергоємні технології обробітку ґрунту є одним із чинників деградації ґрунтів; у світовому масштабі близько 35 % деградаційних процесів зумовлено антропогенною діяльністю та ще 28 % – іншими формами нераціонального землекористування (Cheng et al., 2024).

Підвищення температури повітря та нерівномірний розподіл опадів, зафіксовані протягом вегетаційного періоду сої в останні роки (Elyasi et al., 2023), зумовлюють необхідність упровадження альтернативних систем обробітку ґрунту (Chetan et al., 2021; Peng et al., 2023; Hunag et al., 2024). Система мінімального обробітку передбачає основний обробіток без обертання скиби із застосуванням дискових борін, чизелів, ротаційних борін, фрез, параплуга та інших знарядь (da Silva et al., 2022; Cheţan at al, 2022), а також збереження рослинних решток на поверхні ґрунту або їх неглибоке загортання, що забезпечує ефект мульчування. За умов нульового обробітку ґрунту наявність рослинних решток або покривних культур є визначальною передумовою успішного вирощування культури (Faligowska at al., 2025).

Важливість сої як сільськогосподарської культури зумовлена її багатофункціональним використанням (Elyasi at al., 2023; Faligowska at al., 2025): у харчуванні людини та тварин, у промисловості, а також у поліпшенні фізичних властивостей ґрунту та збагаченні його азотом завдяки симбіозу кореневої системи з бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* (Egamberdieva et al., 2020; Szpunar-Krok et al., 2021).

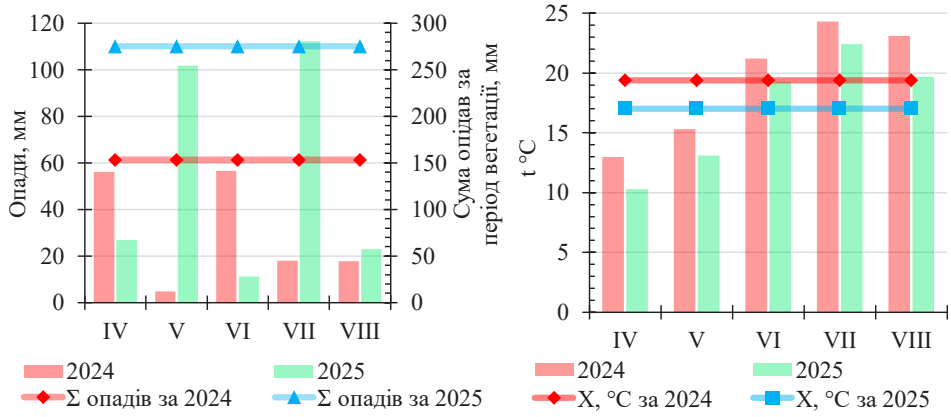
Незважаючи на наявність численних досліджень з питань мінімізованого обробітку ґрунту, для умов Правобережного Лісостепу України залишається недостатньо вивченим його вплив на формування індивідуальної продуктивності, фракційного складу та біохімічної якості зерна сої з урахуванням сортових особливостей, що і покладено в основу *мети досліджень.* Відсутність комплексних даних у цьому напрямі ускладнює розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для виробництва. У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на встановлення закономірностей взаємодії систем обробітку ґрунту та сортових факторів у формуванні врожайності й якості зерна сої, мають важливе наукове й практичне значення. Отримані результати є підґрунтям для вдосконалення адаптивних технологій вирощування культури, підвищення ресурсоефективності агровиробництва та забезпечення сталого розвитку землеробства в умовах кліматичних змін.

Матеріал і методи

Польовий експеримент було проведено у 2024–2025 роках на базі навчально-виробничого відділу Уманського національного університету (Умань, Україна). Дослідна ділянка розташована в зоні помірно-континентального клімату (рис. 1).

Польові дослідження було закладено за схемою split-plot на чорноземі опідзоленому важкосуглинкового гранулометричного складу з чотирикратною повторністю. Першим фактором досліду слугували системи обробітку ґрунту: А – традиційна; В – мінімізована (поверхнева, mini-till); С – стрічкова (strip-till). Другим фактором були середньостиглі сорти сої ЕС Ментор і Паллада.

Попередником культури у 2024–2025 роках було тритікале озиме. Сівбу проводили у період з 28 квітня по 5 травня за густоти стояння 450 тис. схожих насінин на гек-



Температура повітря, °C Опади, мм

Рис. 1. Кліматичні умови періоду вегетації рослин сої (за даними метеостанцій «Умань»)

тар. Технологія вирощування відповідала загальноприйнятим рекомендаціям для умов Лісостепу. Площа облікової ділянки становила 20 м², облікова площа збирання – 15 м².

Сівбу за системами А і В проводили сівалкою Kockerling Ultima (Deutz Fahr), тоді як за технології strip-till висів здійснювали безпосередньо в необроблену стерню за допомогою сівалки MZURI (VALTRA).

Збирання врожаю проводили у фазі повної стиглості зерна з використанням комбайна Wintersteiger. Натуру зерна визначали відповідно до державних стандартів (ДСТУ, 2003) а фракційний склад – згідно з International Rules for Seed Testing (2026). Вміст протеїну та жиру визначали за допомогою інфрачервоного аналізатора SpectraStar XT Unity Scientific (США) серії SpectraStar™ XT-R.

Статистичну обробку результатів здійснювали шляхом розрахунку середнього арифметичного та стандартного відхилення з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel 2019 StatPlus.

Результати

Аналіз експериментальних даних засвідчив, що індивідуальна продуктивність рослин сої, яка характеризується кількістю бобів на одну рослину, числом насінин у бобі та загальною кількістю насінин з рослини, а також показники якості зерна (маса 1000 насінин і натура), формувалися під комплексним впливом системи обробітку ґрунту та сортових особливостей, причому ступінь прояву цих факторів був неоднаковим для окремих ознак.

Кількість бобів на одну рослину змінювалася в широких межах – від 21,50–21,65 шт. у сорту ЕС Ментор до 42,54–45,00 шт. у сорту Паллада, що підтверджується високим коефіцієнтом варіації (CV = 34 %), який свідчить про значну мінливість ознаки. Водночас вплив систем обробітку ґрунту на формування цього показника був відносно обмеженим, оскільки в межах кожного сорту різниця між традиційною, mini-till і strip-till системами не перевищувала 1–5 %, що знаходиться в межах середньої статистичної мінливості.

Кількість насінин у бобі характеризувалася значно меншою варіабельністю (CV = 20 %) і практично не залежала від системи обробітку ґрунту. У сорту ЕС Ментор цей показник стабільно перебував на рівні 3,00–3,03 шт., тоді як у сорту Паллада – 2,00–2,01 шт., що свідчить про генетично детермінований характер ознаки та її слабку чутливість до агротехнічних чинників.

Загальна кількість насінин з однієї рослини, як інтегральний показник індивідуальної продуктивності, демонструвала чітку залежність як від сорту, так і від системи обробітку ґрунту. Максимальні значення зафіксовано у сорту Паллада за традиційної системи обробітку (90,0 шт.), тоді як застосування mini-till і strip-till супроводжувалося зниженням цього показника до 86,0–85,5 шт., що відповідає зменшенню на 4,4–5,0 %. У сорту ЕС Ментор аналогічна тенденція проявлялася менш виражено, а різниця між системами обробітку не перевищувала 1,6 %, що свідчить про вищу адаптивність сорту до умов мінімізованого обробітку ґрунту (табл. 1).

Маса 1000 насінин змінювалася в межах 136–192 г, при середньому значенні 164 г і коефіцієнті варіації 16 %, що вказує на середню мінливість ознаки. Найвищі значення маси 1000 насінин формувалися у сорту ЕС Ментор за всіх систем обробітку (190–192 г), причому застосування mini-till і strip-till не призводило до її зниження порівняно з традиційним обробітком, а навпаки, забезпечувало стабільність показника. У сорту Паллада маса 1000 насінин була істотно нижчою (136–139 г) і виявляла слабку, але стабільну тенденцію до зменшення за мінімізованих систем обробітку.

Натура зерна характеризувалася найменшою варіабельністю серед усіх досліджуваних показників (CV = 13 %), що свідчить про її відносну стабільність. Найвищі значення натури зерна зафіксовано у сорту ЕС Ментор за традиційної системи обробітку (710 г/л), тоді як перехід до mini-till і strip-till супроводжувався поступовим зниженням цього показника до 701–696 г/л. У сорту Паллада натура зерна була істотно нижчою (553–540 г/л) і зменшувалася зі скороченням інтенсивності обробітку ґрунту, що може свідчити про гірше виповнення зерна за умов обмеженого механічного впливу на ґрунт.

Порівняльний аналіз сортів показав, що сорт Паллада істотно переважав ЕС Ментор за кількістю бобів і загальною кількістю насінин з рослини, однак поступався за показниками якості зерна, зокрема масою 1000 насінин і натурою. Сорт ES Mentor, навпаки, характеризувався меншою індивідуальною насіннєвою продуктивністю, але формував крупніше та щільніше зерно,

Таблиця 1

Індивідуальна продуктивність рослин та якість зерна сортів сої за різних систем обробітку ґрунту, 2024–2025 рр.

Система обробітку	**Сорт**	**Кількість бобів/росл, шт.**	**Кількість насінин, шт**		**Маса 1000 насінин, г**	**Натура, г/л**
			біб	**рослину**		
Традиційна	ES Mentor	21,50	3,00	64,50	190	710
	Паллада	45,00	2,00	90,00	136	553
Mini-till	ES Mentor	21,65	3,03	65,50	192	701
	Паллада	42,79	2,01	86,00	139	541
Strip-till	ES Mentor	21,59	3,01	65,00	192	696
	Паллада	42,54	2,01	85,50	138	540
	$\overline{X}$	32,51	2,51	76,08	164	623,
	SD	10,96	0,50	11,18	26,94	79,14
	CV, %	34	20	15	16	13

що підтверджує різноспрямованість прояву елементів продуктивності та якості між досліджуваними сортами.

Таким чином, встановлено, що системи обробітку ґрунту мають помірний вплив на індивідуальну продуктивність і якість зерна сої, тоді як сортовий фактор відіграє провідну роль у формуванні більшості досліджуваних показників. Традиційна система обробітку забезпечує дещо вищі значення кількості насінин з рослини та натури зерна, однак застосування mini-till і strip-till не призводить до різкого погіршення індивідуальної продуктивності й дозволяє зберегти якісні показники зерна в межах середньої статистичної мінливості. Поєднання адаптованих сортів сої з мінімізованими системами обробітку ґрунту є науково обґрунтованим напрямом оптимізації технологій вирощування культури в умовах ресурсозберігаючого землеробства.

Фракційний склад зерна є важливою якісною характеристикою продукції сої, оскільки відображає умови наливу насіння, рівень реалізації генетичного потенціалу сорту та адаптивність агротехнічних чинників, зокрема систем обробітку ґрунту. За результатами досліджень 2024–2025 рр. встановлено, що основну частку врожаю зерна сої незалежно від досліджуваних факторів формували фракції з масою 4,1–5,0 г та понад 5,0 г, сумарна частка яких у середньому становила 61,9 %, що свідчить про загалом високий рівень виповненості насіння (табл. 2).

Традиційна система обробітку ґрунту забезпечувала найбільш збалансований фракційний склад зерна, за якого частка середньої (4,1–5,0 г) та крупної фракції (>5,0 г) у сорту ЕС Ментор становила відповідно 31,7 і 31,2 %, а у сорту Паллада – 33,0 і 31,7 %, що вказує на сприятливі умови водно-повітряного режиму ґрунту та оптимальне забезпечення рослин елементами живлення у період формування насіння.

За умов застосування mini-till спостерігалося певне зростання частки середньої фракції зерна (до 33,3–35,5 %), однак одночасно відмічено тенденцію до зменшення частки крупного зерна (>5,0 г) до 28,2–28,9 %, що може бути наслідком помірного обмеження кореневого живлення та дещо меншої інтенсивності наливу насіння. Водночас істотного збільшення дрібних фракцій (≤3,0 г) за цієї системи не зафіксовано, що свідчить про відносну стабільність технології. Найбільш виражені зміни фракційного складу зерна виявлено за умов strip-till, де частка дрібної та дрібно-середньої фракцій (≤3,0 та 3,1–4,0 г) істотно зростала, особливо у сорту ЕС Ментор (до 8,6 % сумарно), тоді як частка крупного зерна знижувалася до 27,3–29,5 %. Це узгоджується з вищою варіабельністю умов мінерального живлення та вологості ґрунту у міжряддях, що обмежувало повноцінну реалізацію потенціалу наливу зерна.

Сортові відмінності проявлялися стабільно за всіх систем обробітку ґрунту. Сорт Паллада характеризувався вищою част-

Таблиця 2

Фракційний склад зерна сортів сої за різних систем обробітку ґрунту, 2024–2025 рр.

Система обробітку	**Сорт**	**≤3**	**3,1–4,0**	**4,1–5,0**	**>5**
Традиційна	ES Mentor	1,4	2,4	31,7	31,2
	Паллада	0,7	1,2	33,0	31,7
Mini-till	ES Mentor	2,8	1,6	33,3	28,9
	Паллада	0,7	2,2	35,5	28,2
Strip-till	ES Mentor	1,7	6,9	30,7	27,3
	Паллада	0,9	5,5	30,8	29,5
	$\overline{X}$	1,38	3,31	32,49	29,48
	SD	0,74	2,12	1,68	1,57
	CV, %	54	64	5	5

кою середньої фракції зерна (4,1–5,0 г), яка коливалася в межах 30,8–35,5 %, що свідчить про більш вирівняний фракційний склад та кращу пластичність сорту до варіацій агротехнічних умов. Натомість сорт ЕС Ментор формував дещо вищу частку крупного зерна за традиційної системи обробітку, але виявляв підвищену чутливість до мінімізованих технологій, особливо strip-till.

Результати статистичної обробки підтверджують різну стабільність показників фракційного складу. Коефіцієнт варіації для дрібних фракцій (≤3,0 та 3,1–4,0 г) становив 54–64 %, що вказує на їхню високу залежність від технологічних умов вирощування. Натомість для основних товарних фракцій (4,1–5,0 та >5,0 г) CV не перевищував 5 %, що свідчить про високу стабільність цих показників та домінантну роль генотипу у формуванні виповненого зерна.

Таким чином, встановлено, що система обробітку ґрунту істотно впливає на фракційний склад зерна сої, змінюючи співвідношення дрібних, середніх і крупних фракцій, при цьому традиційний обробіток забезпечує найвищу частку товарно цінного, виповненого зерна. Мінімізовані системи mini-till і strip-till характеризуються зростанням частки дрібніших фракцій, особливо за смугового обробітку, однак отримані зміни перебувають у межах середньої агрономічної мінливості. Сорт Паллада виявив вищу стабільність фракційного складу порівняно з сортом ЕС Ментор, що свідчить про провідну роль сортового фактора у формуванні якості зерна та доцільність його врахування при впровадженні ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту.

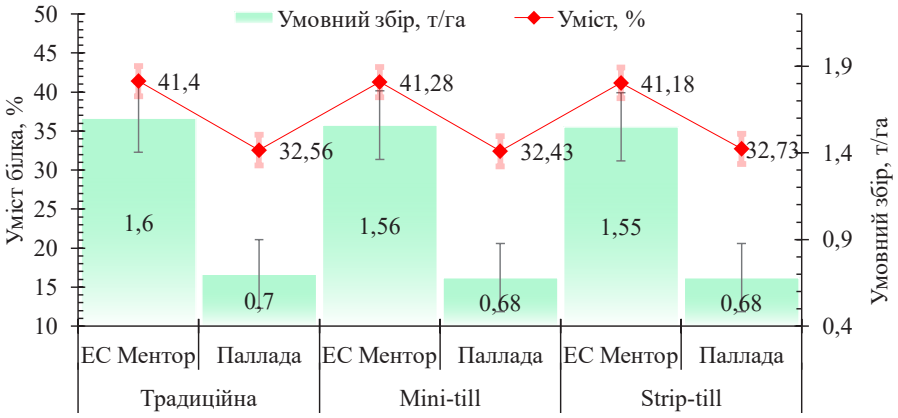
Показники біохімічного складу зерна сої та умовного збору основних біохімічних компонентів є інтегральними критеріями оцінки не лише продуктивності культури, а й ефективності реалізації генетичного потенціалу сортів за різних систем обробітку ґрунту. За результатами досліджень встановлено, що уміст протеїну в зерні сої варіював у межах 32,43–41,40 %, тоді як уміст олії – від 20,64 до 24,93 %, що відповідає типовим значенням для середньостиглих сортів у ґрунтово-кліматичних умовах Правобережного Лісостепу України.

Аналізуючи вплив систем обробітку ґрунту окремо, слід зазначити, що уміст протеїну характеризувався високою стабільністю незалежно від технології. Так, у сорту ЕС Ментор за переходу від традиційної системи до mini-till і strip-till уміст білка знижувався незначно – з 41,40 до 41,18 %, що перебуває в межах статистичної похибки (рис. 2).

Аналогічну тенденцію відмічено і у сорту Паллада, де коливання умісту протеїну становили лише 0,30 процентних пункти. Низький коефіцієнт варіації (CV = 12 %) підтверджує домінантну роль генотипу у формуванні білковості зерна та слабкий вплив систем обробітку ґрунту на цей показник.

На відміну від умісту, умовний збір протеїну істотно реагував на зміну системи обробітку ґрунту, що зумовлено безпосередньою залежністю цього показника від рівня врожайності. Найвищі значення умовного збору білка зафіксовано за традиційної системи обробітку – до 1,6 т/га у сорту ЕС Ментор, тоді як за mini-till і strip-till він знижувався до 1,55–1,56 т/га. Високий коефіцієнт варіації (CV = 39 %) свідчить про значну чутливість цього показника до агротехнічних умов вирощування

Подібні закономірності простежувалися і щодо умісту та умовного збору олії. Уміст олії демонстрував слабку, але стабільну тенденцію до підвищення за мінімізованих сис-



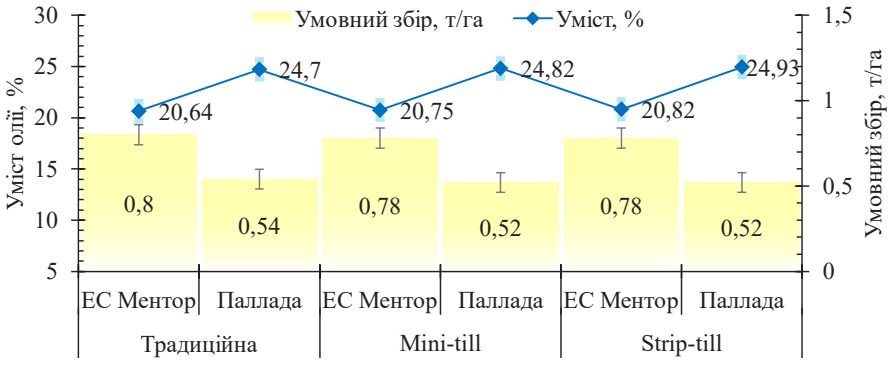
	Умовний збір, т/га	Уміст, %
$\bar{X}$	1,13	36,93
SD	0,44	4,36
CV, %	39%	12%

Рис. 2. Показники умісту та умовного збору білка зерна сортів сої за різних систем обробітку ґрунту, 2024–2025 рр.

тем обробітку ґрунту, особливо strip-till, де він досягав 20,82 % у сорту ЕС Ментор та 24,93 % у сорту Паллада. При цьому коефіцієнт варіації для умісту олії не перевищував 9 %, що свідчить про відносну стабільність ознаки (рис. 3).

Водночас умовний збір олії був більш мінливим (CV = 20 %) і максимальних значень досягав за традиційної системи обробітку (0,80 т/га у сорту ЕС Ментор), зменшуючись за mini-till і strip-till до 0,78 т/га, що узгоджується зі зниженням урожайності за мінімізованих технологій.

Сортові відмінності виявилися чітко вираженими та статистично стабільними за всіх систем обробітку ґрунту. Сорт ЕС Ментор суттєво переважав сорт Паллада за умістом протеїну (в середньому 41,29 проти 32,57 %), а також за умовним збором білка й олії, що пояснюється поєднанням вищої врожайності та білкової спрямованості сорту. Натомість сорт Паллада стабільно характеризувався вищим умістом олії (24,70–24,93 %), що свідчить про його олійний тип і зумовлює доцільність використання цього сорту у напрямах пере-



	Умовний збір, т/га	Уміст, %
$\bar{X}$	0,66	22,78
SD	0,13	2,04
CV, %	20%	9%

Рис. 3. Показники умісту та умовного збору олії зерна сортів сої за різних систем обробітку ґрунту, 2024–2025 рр.

робки, орієнтованих на отримання рослинної олії.

Відсутність різких коливань показників у межах сортів за різних систем обробітку ґрунту вказує на слабку взаємодію факторів «сорт × система обробітку», що підтверджує універсальність сортової реакції на досліджувані агротехнічні умови.

Таким чином, встановлено, що системи обробітку ґрунту мають обмежений вплив на уміст протеїну та олії в зерні сої, тоді як умовний збір цих компонентів істотно залежить від рівня врожайності культури. Традиційна система обробітку ґрунту забезпечує максимальний умовний збір білка й олії, тоді як mini-till і strip-till супроводжуються незначним, але статистично стабільним його зниженням. Сортовий фактор відіграє провідну роль у формуванні якісного складу зерна: сорт ЕС Ментор є більш придатним для отримання високобілкової продукції, тоді як сорт Паллада доцільніше використовувати за олійною спеціалізацією. Отримані результати підтверджують можливість впровадження ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту без істотної втрати якості зерна за умови добору сортів із високим адаптивним потенціалом.

Обговорення

Отримані результати узгоджуються з даними сучасних досліджень щодо впливу систем обробітку ґрунту на продуктивність і якість зерна сої. Встановлено, що традиційна система обробітку в наших дослідженнях забезпечувала дещо вищу частку крупного та середнього зерна, а також максимальний умовний збір білка й олії. Подібні закономірності відзначені й у ряді міжнародних експериментів, де інтенсивніший обробіток сприяв формуванню більш вирівняного насіннєвого матеріалу та оптимальному забезпеченню рослин елементами живлення на ранніх етапах росту. Зокрема, у дослідженнях (Dong et al., 2025; Faligowska et al., 2025) показано, що традиційний обробіток ґрунту може забезпечувати більш збалансоване поєднання врожайності та якості зерна сої порівняно з деякими варіантами мінімізованого обробітку.

Разом з тим численні дослідження свідчать, що мінімізовані системи обробітку ґрунту (mini-till, strip-till, no-till) здатні забезпечувати близькі або навіть подекуди вищі показники врожайності за рахунок поліпшення збереження вологи, структури ґрунту та зменшення механічного руйнування ґрунтового профілю. Так, довготривалі польові спостереження показали, що врожайність сої за умов прямого висіву або зменшеного обробітку часто не поступається традиційним технологіям, а інколи перевищує їх у середньому на кілька відсотків (Cheţan et al., 2022; da Silva et al., 2022; Dong et al., 2025).

Водночас більшість авторів підкреслює, що показники хімічного складу зерна (вміст протеїну та олії) значною мірою визначаються генотипом сорту та погодними умовами, тоді як система обробітку ґрунту впливає на них меншою мірою. У ряді досліджень встановлено, що погодні умови та сортові особливості можуть мати суттєвіший вплив на білковість і олійність зерна сої, ніж агротехнічні фактори, включаючи систему обробітку ґрунту (Han et al., 2022, Hunag et al., 2024, Wang et al., 2025).

Таким чином, отримані нами результати підтверджують загальну тенденцію, описану в науковій літературі: традиційний обробіток ґрунту сприяє формуванню дещо вищих показників продуктивності та товарності зерна, тоді як ресурсозберігаючі системи mini-till і strip-till можуть застосовуватися без істотного погіршення якісних характеристик продукції за умови використання адаптованих сортів і оптимізації агротехнічних елементів технології вирощування.

Висновки

Системи обробітку ґрунту справляють помірний, переважно опосередкований вплив, насамперед через зміну умов росту і розвитку рослин та рівня реалізації врожайного потенціалу. Традиційна система обробітку забезпечує дещо вищі значення інтегральних показників індивідуальної продуктивності, натури зерна, а також максимальний умовний збір білка й олії, що пов'язано з кращими агрофізичними параметрами ґрунту та сприятливішими умовами наливу насіння. Водночас мінімізовані системи mini-till і strip-till зумовлюють певне зростання частки дрібних фракцій зерна та незначне зниження умовного збору біохімічних компонентів, однак ці зміни перебувають у межах середньої агрономічної та статистичної мінливості і не супроводжуються критичним погіршенням якісних показників зерна.

Диференціація сортів за напрямом господарського використання підтверджує доцільність цілеспрямованого сортового добору: сорт Паллада доцільніше використовувати за умов орієнтації на високу насіннєву продуктивність і вирівняний фракційний склад, тоді як сорт ЕС Ментор є більш придатним

для формування високоякісного зерна з підвищеною масою 1000 насінин, натурою та вмістом білка. Відсутність істотної взаємодії факторів «сорт × система обробітку ґрунту» свідчить про універсальність сортової реакції та стабільність генетичного контролю основних продуктивних і якісних ознак.

Отже, отримані результати науково обґрунтовують можливість впровадження ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту (mini-till і strip-till) у технологіях вирощування сої в умовах Правобережного Лісостепу України без істотної втрати індивідуальної продуктивності та якості зерна за умови використання високопродуктивних, адаптованих сортів, що є важливою складовою сталого та економічно ефективного землеробства.

Список використаної літератури

ДСТУ 4234:2003. Зернові культури. Визначення об'ємної щільності, так званої маси на гектолітр. Частина 2. Робочий метод (ISO 7971-2:1995, MOD).

Azimi-Nejadian H., Karparvarfard S. H., Naderi-Boldaji M. Weed seed burial as affected by mouldboard design parameters, ploughing depth and speed: DEM simulations and experimental validation. *Biosystems Engineering*. 2022. Vol. 216. P. 79–92. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.02.005.

Bechmann M. E., Bøe F. Soil tillage and crop growth effects on surface and subsurface runoff, loss of soil, phosphorus and nitrogen in a cold climate. *Land*. 2021. Vol. 10. 77. https://doi.org/10.3390/land10010077.

Cheng K., Peng S., Li C., Wen L., Liu L., Luo H., Liu J., Tang H. Effects of long-term soil tillage practices on soil organic C accumulation characteristics in double-cropped rice paddy. *Land*. 2024. Vol. 13. 2074. https://doi.org/10.3390/land13122074.

Cheţan F., Rusu T., Cheţan C., Urdă C., Rezi R., Şimon A., Bogdan I. Influence of soil tillage systems on the yield and weeds infestation in the soybean crop. *Land*. 2022. Vol. 11. № 10. 1708. https://doi.org/10.3390/land11101708.

da Silva G. F., Calonego J. C., Luperini B. C. O., Chamma L., Alves E. R., Rodrigues S. A., Putti F. F., da Silva V. M., de Almeida Silva M. Soil–plant relationships in soybean cultivated under conventional tillage and long-term no-tillage. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. № 3. 697. https://doi.org/10.3390/agronomy12030697.

Dong S., Huang M., Zhang J., Zhou Q., Hu C., Liu A., Wang H., Fu G., Wu J., Li Y. Long-term rotary tillage and straw mulching enhance dry matter production, yield, and water use efficiency of wheat in a rain-fed wheat-soybean double cropping system. *Plants*. 2025. Vol. 14. № 15. 2438. https://doi.org/10.3390/plants14152438.

Egamberdieva D., Ma H., Alimov J., Reckling M., Wirth S., Bellingrath-Kimura S. D. Response of soybean to hydrochar-based Rhizobium inoculation in loamy sandy soil. *Microorganisms*. 2020. Vol. 8. 1674. https://doi.org/10.3390/microorganisms8111674.

Elyasi S. S., Pirzad A., Jalilian J., Roohi E., Siosemardeh A. Effects of different tillage on morpho-physiological traits of dryland chickpea (Cicer arietinum L.). *Soil and Tillage Research*. 2023. Vol. 229. 105660. https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105660.

Faligowska A., Panasiewicz K., Szymańska G., Ratajczak K. Optimizing soybean productivity: A comparative analysis of tillage and sowing methods and their effects on yield and quality. *Agriculture*. 2025. Vol. 15. № 6. 626. https://doi.org/10.3390/agriculture15060626.

Han S.-S., Park H.-J., Shin T., Ko J., Choi W.-J., Lee Y.-H., Bae H.-S., Ahn S.-H., Youn J.-T., Kim H.-Y. Effects of tillage system, sowing date, and weather course on yield of double-crop soybeans cultivated in drained paddy fields. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. № 8. 1901. https://doi.org/10.3390/agronomy12081901.

International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association (ISTA). Bassersdorf, Switzerland. 2026. 14 p. https://doi.org/10.15258/istarules.2026.07

Korczyk-Szabó J., Macák M., Jarecki W., Sterczyńska M., Jug D., Pużyńska K., Hromadová L., Habán M. Influence of crop residue management on maize production potential. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. 2610. https://doi.org/10.3390/agronomy14112610.

Kuka A., Czyż K., Smoliński J., Cholewińska P., Wyrostek A. The interactions between some free-ranging animals and agriculture – A review. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. 628. https://doi.org/10.3390/agriculture12050628.

Peng Q., Liu B., Hu Y., Wang A., Guo Q., Yin B., Cao Q., He L. The role of conventional tillage in agricultural soil erosion. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2023. Vol. 348. 108407. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108407

Poggi S., Le Cointe R., Lehmhus J., Plantegenest M., Furlan L. Alternative strategies for controlling wireworms in field crops: A review. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. 436. https://doi.org/10.3390/agriculture11050436.

Singh V., Gupta R. K., Kahlon M. S., Toor A. S., Singh K. B., Al-Ansari N., Mattar M. A. Effect of different tillage and residue management options on soil water transmission and mechanical behavior. *Land*. 2023. Vol. 12. 1895. https://doi.org/10.3390/land12101895.

Szpunar-Krok E., Wondołowska-Grabowska A., Bobrecka-Jamro D., Jańczak-Pieniążek M., Kotecki A., Kozak M. Effect of nitrogen fertilisation and inoculation with Bradyrhizobium japonicum on the fatty acid profile of soybean (Glycine max (L.) Merrill) seeds. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. 941. https://doi.org/10.3390/agronomy11050941.

Telak L. J., Pereira P., Ferreira C. S. S. et al. Short-term impact of tillage on soil and the hydrological response within a fig (Ficus carica) orchard in Croatia. *Water*. 2020. Vol. 12(11). 3295. DOI: https://doi.org/10.3390/w12113295.

Wang L., Gao Y., Ma Z., Wang B. The quality of seedbed and seeding under four tillage modes. *Agriculture*. 2025. Vol. 15. № 15. 1626. https://doi.org/10.3390/agriculture15151626.

References

DSTU 4234:2003. Zernovi kultury. Vyznachennia obiemnoi shchilnosti, tak zvanoi masy na hektolitr. Chastyna 2. Robochyi metod [Cereals. Determination of bulk density, so-called mass per hectolitre. Part 2. Routine method] (ISO 7971-2:1995, MOD). [in Ukrainian].

Azimi-Nejadian, H., Karparvarfard, S.H., & Naderi-Boldaji, M. (2022). Weed seed burial as affected by mouldboard design parameters, ploughing depth and speed: DEM simulations and experimental validation. *Biosyst. Eng.,* 216, 79–92. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.02.005 [in English].

Bechmann M. E., & Bøe F. (2021). Soil tillage and crop growth effects on surface and subsurface runoff, loss of soil, phosphorus and nitrogen in a cold climate. *Land,* Vol. 10. 77. https://doi.org/10.3390/land10010077 [in English].

Cheng, K., Peng, S., Li, C., Wen, L., Liu, L., Luo, H., Liu, J., & Tang, H. (2024). Effects of Long-Term Soil Tillage Practices on Soil Organic C Accumulation Characteristics in Double-Cropped Rice Paddy. *Land,* 13, 2074. https://doi.org/10.3390/land13122074 [in English].

Cheţan, F., Rusu, T., Cheţan, C., Urdă, C., Rezi, R., Şimon, A., & Bogdan, I. (2022). Influence of soil tillage systems on the yield and weeds infestation in the soybean crop. *Land,* Vol. 11. № 10. 1708. https://doi.org/10.3390/land11101708 [in English].

da Silva, G. F., Calonego, J. C., Luperini, B. C. O., Chamma, L., Alves, E. R., Rodrigues, S. A., Putti, F. F., da Silva, V. M., & de Almeida Silva, M. (2022). Soil–plant relationships in soybean cultivated under conventional tillage and long-term no-tillage. *Agronomy*, Vol. 12. № 3, 697. https://doi.org/10.3390/agronomy12030697 [in English].

Dong, S., Huang, M., Zhang, J., Zhou, Q., Hu, C., Liu, A., Wang, H., Fu, G., Wu, J., & Li, Y. (2025). Long-term rotary tillage and straw mulching enhance dry matter production, yield, and water use efficiency of wheat in a rain-fed wheat-soybean double cropping system. *Plants*, Vol. 14. № 15, 2438. https://doi.org/10.3390/plants14152438 [in English].

Egamberdieva, D., Ma, H., Alimov, J., Reckling, M., Wirth, S., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2020). Response of soybean to hydrochar-based Rhizobium inoculation in loamy sandy soil. *Microorganisms*, Vol. 8, 1674. https://doi.org/10.3390/microorganisms8111674 [in English].

Elyasi, S.S., Pirzad, A., Jalilian, J., Roohi, E., & Siosemardeh, A. (2023). Effects of different tillage on morpho-physiological traits of dryland chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Soil Tillage Res.,* 229, 105660. https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105660 [in English].

Faligowska, A., Panasiewicz, K., Szymańska, G., & Ratajczak, K. (2025). Optimizing soybean productivity: A comparative analysis of tillage and sowing methods and their effects on yield and quality. *Agriculture*, Vol. 15. № 6, 626. https://doi.org/10.3390/agriculture15060626 [in English].

Han, S.-S., Park, H.-J., Shin, T., Ko, J., Choi, W.-J., Lee, Y.-H., Bae, H.-S., Ahn, S.-H., Youn, J.-T., & Kim, H.-Y. (2022) Effects of tillage system, sowing date, and weather course on yield of double-crop soybeans cultivated in drained paddy fields. *Agronomy*, Vol. 12. № 8, 1901. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy12081901 [in English].

International Seed Testing Association (2026). *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf, Switzerland, 14 p. https://doi.org/10.15258/istarules.2026.07 [in English].

Korczyk-Szabó, J., Macák, M., Jarecki, W., Sterczyńska, M., Jug, D., Pużyńska, K., Hromadová, L., & Habán, M. (2024). Influence of Crop Residue Management on Maize Production Potential. *Agronomy, 14*, 2610. https://doi.org/10.3390/agronomy14112610 [in English].

Kuka, A., Czyż, K., Smoliński, J., Cholewińska, P., & Wyrostek, A. (2022). The interactions between some free-ranging animals and agriculture – A review. *Agriculture,* Vol. 12. 628. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture12050628 [in English].

Peng, Q., Liu, B., Hu, Y., Wang, A., Guo, Q., Yin, B., Cao, Q., & He, L. (2023). The role of conventional tillage in agricultural soil erosion. *Agric. Ecosyst. Environ.,* 348, 108407. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108407 [in English].

Poggi, S., Le Cointe, R., Lehmhus, J., Plantegenest, M., & Furlan, L. (2021). Alternative strategies for controlling wireworms in field crops: A review. *Agriculture*, Vol. 11, 436. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture11050436 [in English].

Singh, V., Gupta, R.K., Kahlon, M.S., Toor, A.S., Singh, K.B., Al-Ansari, N., & Mattar, M.A. (2023). Effect of Different Tillage and Residue Management Options on Soil Water Transmission and Mechanical Behavior. *Land*, 12, 1895. https://doi.org/10.3390/land12101895 [in English].

Szpunar-Krok, E., Wondołowska-Grabowska, A., Bobrecka-Jamro, D., Jańczak-Pieniążek, M., Kotecki, A., & Kozak, M. (2021). Effect of nitrogen fertilisation and inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on the fatty acid profile of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds. *Agronomy,* Vol. 11, 941. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy11050941 [in English].

Telak, L. J., Pereira, P., Ferreira, C. S. S., Filipovic, V., Filipovic, L., & Bogunovic, I. (2020). Short-Term Impact of Tillage on Soil and the Hydrological Response within a Fig (*Ficus Carica*) Orchard in Croatia. *Water*, 12(11), 3295. https://doi.org/10.3390/w12113295 [in English].

Wang, L., Gao, Y., Ma, Z., & Wang, B. (2025). The quality of seedbed and seeding under four tillage modes. *Agriculture*, Vol. 15. № 15, 1626. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture15151626 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 06.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ЕКОЛОГІЯ

UDC 50274:597/599:591.9:712.253(477.46)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.25

ECOLOGICAL AND FAUNISTIC ANALYSIS OF VERTEBRATE FAUNA OF THE "PEREMOGHY" PARK IN THE CITY OF CHERKASY

A. A. Bilushenko[1]

The work is devoted to the study of the species diversity of vertebrate fauna of the "Peremohy" Park in the city of Cherkasy. The park is located in the southwestern part of the city, is a monument of landscape art of local importance, artificially created, since it has in its structure both landscape and memorial components. Cherkasy City Zoological Park is an integral compositional element of this park, which emphasizes the multifunctionality of the place of the conducted research. The result of the conducted research was the presence of 77 species of wild vertebrate animals belonging to 16 orders, four known taxa: amphibians, reptiles, birds and mammals. The least numerous taxa are amphibians – three species (Pelophylax ribibunda, P. lessonae, Bufo virids) and reptiles – four species (Emys orbicularis, Trachemys scripta elegans, Lacerta agilis, Natrix natrix), which makes up 9% of the entire faunal complex of vertebrate fauna of the park. The most numerous systematic group was and remains birds – 54 species, which makes up almost 71% of the entire species complex of vertebrates, among which the most numerous is the order Passeriformes – 67%. Among the ecological groups of birds, the most numerous is dendrophilic – 69%. sclerophilous birds – 11%. Cavity-nesting birds (tree hollow) – 24%. Among the landscape-genetic faunal complexes, the most widely represented are birds of the non-moral European complex and ancient-non-moral complexes. Mammals make up 16 species – 20% of the complex of vertebrate fauna of the park. In the local fauna, there is a trend towards alien species for reptiles, birds, mammals. A quarter of the species composition of the species noted here have a protected status. Within the framework of the Bern Convention, 55 species of vertebrates. Eight species of bats are listed in the Red Book of Ukraine. These research results confirm that city parks are one of the richest in species diversity of places in city systems, and also confirm key ecological theories related to the gradient approach and the theory of island habitat for city parks.

Key words: *fauna, vertebrates, park "Peremohy", amphibians, reptiles, birds, mammals.*

ЕКОЛОГО-ФАУНІСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ХРЕБЕТНИХ ТВАРИН ФАУНИ ПАРКУ «ПЕРЕМОГИ» В МІСТІ ЧЕРКАСИ

А. А. Білушенко

Робота присвячена дослідженню видового різноманіття хребетних тварин фауни парку «Перемоги» в місті Черкаси. Парк знаходиться в південно-західній частині міста, являється

[1] Candidate of Biological Sciences,
Senior Lecturer at the Department of General Ecology, Radiobiology and Life Safety
(National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv)
e-mail: Bat_Cherkassy@ukr.net
ORCID: 0009-0005-4084-9548

пам'яткою садово-паркового мистецтва місцевого значення, штучно створений, оскільки має у своїй структурі, як пейзажну, так і меморіальну складові. Черкаський міський зоологічний парк, являється невід'ємним композиційним елементом цього парку, що і підкреслює багатофункціональність місця проведених досліджень. Результатом проведених досліджень була наявність 77 видів диких хребетних тварин, що належать до 16 рядів, чотирьох відомих таксонів: земноводні, плазуни, птахи, ссавці. Найменш чисельними таксонами є земноводні – три види (Pelophylax ribibunda, P. lessonae, Bufo virids) та плазуни – чотири види (Emys orbicularis, Trachemys scripta elegans, Lacerta agilis, Natrix natrix), що складає 9 % від усього фауністичного комплексу хребетних фауни парку. Найчисельнішою систематичною групою як було, так і лишається птахи – 54 види, що складає майже 71 %, від усього видового комплексу хребетних, серед яких найчисельнішим є ряд Горобцкподібні (Passeriformes) – 67%. Серед екологічних груп птахів, найчисельнішою є дендрофільна – 69%. Склерофільні птахи – 11%, дуплогніздники – 24%. Серед ландшафтно-генетичних фауністичних комплексів, найбільш широко представлені птахи європейського неморального та стародавньо-неморального комплексів. Ссавці складають 16 видів – 20% комплексу хребетних фауни парку. У місцевій фауні простежується тенденція з боку чужорідних видів для плазунів, птахів, ссавців. Четверта частина видового складу відмічених тут видів, мають природоохоронний статус. У рамках Бернської конвенції 55 видів хребетних. Вісім видів рукокрилих занесені до Червоної книги України. Ці результати досліджень є підтвердженням того, що міські парки є одним із найбагатших на видове різноманіття місць в системах міст, а також підтверджує ключові екологічні теорії, які стосуються градієнтного підходу та теорії острівного середовища існування для міських парків.

***Ключові слова**: фауна, хребетні тварини, парк «Перемоги», земноводні, плазуни, птахи, ссавці.*

Introduction

The study of the organization of artificial systems at the level of individual biological complexes is necessary to understand their balanced functioning in conditions of constant anthropogenic transformation of the natural environment. This is importance in connection with the currently relevant problems of biodiversity conservation and the need to improve the assessment of the impact of anthropogenic factors on natural ecosystems. Natural ecosystems of the Cherkasy region have undergone significant transformations over the past 70 years of their existence. Landscapes have become more anthropogenic. Nowadays, the issue of urbanization problems arises, cities grow by absorbing settlements, thereby forming megacities. Animals are an important component of any biogeocenosis, including anthropogenically created environments. All species of animals that live in urban environments are part of it and, through complex relationships, form a mosaic of biogeocenoses. Parks of cities and settlements are not only recreational areas, but also a place of habitat for various species of animals, thereby acting as centers of biodiversity in an urban environment. The plantings of the «Peremohy» Park include a collection of approximately 60 species of woody and shrubby plants. There are also artificial lakes and elevations (Свояк та Фоміна, 2012). The Cherkasy City Zoological Park is an integral compositional element of the «Peremohy» Park, thereby emphasizing its multifunctionality. We emphasize that both objects, which complement each other, have a completely artificial basis, both in terms of woody vegetation and the relief of the area with all water bodies, which were also created artificially. Previously, no targeted studies of the vertebrate fauna of the park were conducted, but there are materials that relate to the ornithology of this park in combination with the systems of the urban environment of the city of Cherkasy (Гаврилюк, 1996). It is believed that the park elements of the urban environment are one of the richest in species of green zones of the city. But the relationship of flora-fauna in these conditions is recommended to be considered with caution due to the significant proportion of plants that are considered decorative (Nielsen et al., 2013).

The purpose of the research was to establish the species composition (by collecting materials) and ecological features of vertebrate species within the «Peremohy» Park in the city of Cherkasy, as well as to consider their possible ways of adaptation to the urban habitat.

To achieve the purpose of the research, the following tasks were set:

- to investigate the species composition of wild vertebrate species;
- to identify the presence of alien species;
- to identify wild vertebrate species that have a protected status;
- identify factors that negatively impact on the vertebrates of the park's fauna.

Material and methods

«Peremohy» Park is a park-monument of landscape art of local importance in the city of Cherkasy, located in the southwestern part of the city and it is a total area 23 hectares (Fig. 1). It was created artificially as a multifunctional city park, since it has both a landscape and a memorial part.

Studies of wild vertebrate fauna of the Cherkasy city park "Peremohy" (Cherkasy city) were conducted from 2018 to 2022.

*Amphibians and reptiles***.** Depending on the ecological characteristics of the species, surveys of different groups of animals are conducted differently. For amphibians, surveys were conducted mainly in the spring, when they are concentrated in water bodies during the breeding season. In the summer-autumn period, lifestyle was taken into account. For terrestrial forms – on land, for terrestrial-aquatic – along the coastline (Писанець, 2007). Reptiles were counted during routes on land and along the coastline of water bodies (snakes and turtles).

*Birds***.** Studies of avifauna were conducted by route surveys using generally accepted methods (Скільський, 2002). Comprehensive work on the description of avifauna, including landscape-genetic complexes, was carried out using methods known to us and proven (Чаплигіна, 2010). Bird counts were conducted throughout the year from 2018 to 2022.

*Mammals***.** The methods for studying various groups of mammals were based on route counts and observations, covering the entire territory of the Peremohy park and the Cherkasy City Zoological Park as its component part. In winter, the count was carried out using traces on the snow cover (Ружіленко, 2002). Small rodents-dung beetles and other burrowing animals were studied based on the study of the found corpses of these animals. Bats were studied using two methods: remote and contact. As a remote method, the Pettersson D200 ultrasonic detector was used to conduct route-point observations and determine the places of the most concentrated bat activity in the studied area. All photographs posted in the publication are original author's, taken in the park. During the conducted research, the norms of biological ethics in relation to the animal population were observed.

Results

Within the studied sites, we identified 77 species of wild vertebrates belonging to 16 orders. These include amphibians, reptiles, birds, and mammals (Fig. 2).



Fig. 1. Location of the research site (park «Peremohy» in the city of Cherkasy, Cherkasy region)

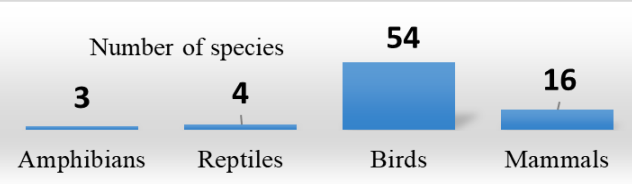


Fig. 2. Taxonomic diversity of vertebrates that make up the fauna of the Cherkasy city park "Peremohy"

Amphibians and Reptiles. There are only seven species – three species of amphibians and four species of reptiles (table 1). These are the least numerous systematic groups at the studied sites – 9.2% of the total species composition of wild vertebrates. Among amphibians, there are a small number of frogs: lake frog (*P. ribibunda*) and pond frog (*P. lessonae*), which are the least numerous and are found exclusively in the system of reservoirs of the "Peremohy" park.

The green toad (*B. virids*) is a terrestrial form, found both in the territory of the "Peremohy" park and in the territory of the zoo. Here it is a common species (fig. 3). In its distribution, this species is associated with steppe habitats, it mainly inhabits open areas: clearings, glades, meadows, arable land. Considering the genesis of the studied area, before the park and zoo were founded, there was a field with grassy vegetation and single trees in this area. In our opinion, this is the first feature that allows this species to live here. The second feature of *B. virids* is considered to be a significant tendency to synanthropy, that is, when this species is common in different types of settlements.

Among reptiles, a fairly numerous native species is the pond turtle (*E. orbicularis*). It is found in large numbers on the zoo's lake, mainly due to artificial settlement. In the territory of the "Peremohy" Park, single individuals are found annually throughout the entire period of activity. A fairly aggressive invasive introduced species is the red-eared slider turtle (*Trachemys scripta elegans*), which is released by local residents into water bodies. From 1989 to 1997, commercial farms in the United States exported 52 million animals to Europe for sale (Scalera, 2015). At this stage, there are known facts of competition with the local native species – *E. orbicularis*, which is considered vulnerable. And in New Zealand and Australia, where this species was introduced in the 90s, it is officially considered a pest, as it displaces native and endemic species and, in some way, affects the state of the local ichthyofauna (Scalera, 2015). In the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine, it feels quite well in local reservoirs, and even successfully survives the winter, which is also associated with the appropriate microclimate of reservoirs. There have been no cases of reproduction of this species in Ukraine yet. On

Table 1

Ecological and faunistic analysis of the batrachian-herpetal complex of the Cherkasy city park "Peremohy" (Cherkasy city)

№	The name of the species on Lat.	Species name on Engl.	Conservation categories	Ecological group
Amphibia (Amphibia)				
Tailless amphibians (Anura)				
1	*Pelophylax ribibunda* (Pallas, 1771)	Lake frog	Bk III	Semi-aquatic
2	*Pelophylax lessonae* (Camerano, 1882)	Pond frog	Bk III	Semi-aquatic
3	*Bufo virids* (Linnaeus, 1758)	Green toad	Bk III	Ground-surface
Reptiles (Reptilia)				
Turtle Row (Testudines)				
1	*Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758)	Marsh turtle	Bk II, МСОП.	Semi-aquatic
2	*Trachemys scripta elegans* (Wied-Neuwied, 1839)	Red-eared slider turtle		Semi-aquatic
Lizard Row (Sauria)				
3	*Lacerta agilis* Linnaeus, 1758	Sand lizard	Bk II	Ground (running)
Snake Row (Serpentens)				
4	*Natrix natrix* (Linnaeus, 1758)	Common snake	Bk III	Semi-aquatic

Notes to the table: IUCN – International Union for Conservation of Nature Red List; Bk – Berne Convention for the Protection of Literary and Artistic Works (Appendix I, Appendix II, Appendix III to the Convention).



A B

Fig. 3. A) Green toad (*B. virids*) (Cherkasy Zoo – near the ungulate row: 11.04.2019); B) Typical habitat

the territory of the zoo, it freely lives in a pond together with *E. orbicularis*. Among other species of reptiles, *L. agilis* and *N. natrix* are found, as fairly common and not numerous species. For *N. natrix*, typical habitats are near-water areas. *L. agilis* was noted in the Eastern part of the zoological park, and in open areas of the "Peremohy" park, which in this case is typical for this species, again, taking into account the genesis of the local relief and the location of the studied area near the field. It is known that *L. agilis* is attracted to natural habitats of open type and anthropogenic origin.

Birds. As of 2018–2022 years, 54 species of birds were counted in the territory of the studied objects – 71% of the entire complex of wild vertebrates of the local fauna. They constitute the most numerous systematic group (fig. 4., table 2).

There are species that nest in the park, as well as those that occur during flight or migration. As migratory birds, two species of herons are found (fig. 5).

The most numerous are the Passerine order – 67% of the total taxonomic composition of the bird complex. Among waterfowl, the mallard (*A. platyrhynchos*) is a permanent resident, which is found in the wild, both on the territory of the zoo and in the "Positions" park throughout the year. Among birds of prey, the well-known goshawk (*A. gentilis*) and the common kestrel *(F. tinnunculus*) are known. Among the known ecological groups of birds, the most numerous here is the dendrophilic – 69%, as the dominant one. The least numerous is the sclerophilous – 11%. Among the cavity-nesting birds, which account for 24% of the total noted bird complex, the most numerous taxonomic group is the woodpecker order – 46% (five species). The established distribution of bird diversity by 10 landscape-genetic faunal complexes showed that in the studied area the most widely represented birds are the European non-moral and ancient non-moral faunal complexes – 17% each. The smallest share is made up of representatives

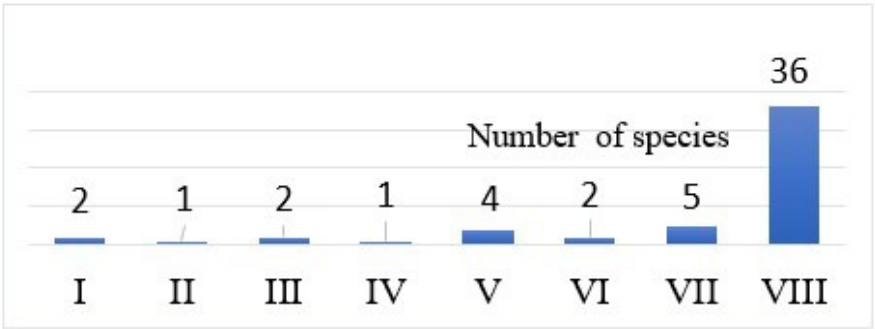


Fig. 4. Taxonomic composition of the wild bird complex of the Cherkasy city park "Peremohy":

Order: I – Ciconiformes (table 2, №1-2); II – Anseriformes (table 2, №2); III – Falconiformes (table 2, №4-5); IV – Gruiformes (table 2, №6); V – Columbioformes (table 2, №7-10); VI – Strigioformes (table 2, №11-12); VII – Pscioformes (table 2, №14-17); VIII – Passeriformes (table 2, №18-54).



A B

Fig. 5. Species of herons that are sometimes found on water bodies within the park and Cherkasy Zoo: A) *Ardea cinerea* (27.07.2018); B) *Ardea alba* (19.05.2018)

Table 2

Ecological and faunistic analysis of the avifauna of Cherkasy park "Peremohy"

№	Species name	Nature of stay	Faunal complex	Ecological group	Nesting type	Conservation categories
1	2	3	4	5	6	
1	*Ardea alba* Linnaeus, 1758	N,M,W,Om.	E	L	T	Bk(II);Bo(II)
2	*Ardea cinerea* Linnaeus, 1758	N,M,W,Om.	E	L	T	Bk(III)
3	*Anas platyrhynchos* Linnaeus, 1758	M,No,W.	E	L	HN,AS.	Bk(III);Bo(I)
4	*Accipiter gentilis* Linnaeus, 1758	No,M,S.	AN	D	T	Bk(II);Bo(I)
5	*Falco tinnunculus* Linnaeus, 1758	M,W,N.	TR	D	T, AS	Bk(II);Bo(II)
6	*Gallinula chloropus* Linnaeus, 1758	N,M,W,Nt.	E	L	HN	Bk(III)
7	*Columba palumbus* Linnaeus, 1758	N,M,W,Nt.	FS	D	T	-
8	*Columba livia* Gmelin, 1789	N,M,W,S.	DM	S	AS	Bk(III)
9	*Streptopelia decaocto* Frivaldszky, 1838	Nt,S.	TR	D	T	Bk(III)
10	*Streptopelia turtur* Latham, 1790	N,M,S.	FS	D	T	Bk(III)
11	*Asio otus* Linnaeus, 1758	No,S.	AF	D	T	Bk(II)
12	*Strix aluco* Linnaeus, 1758	S.	AN	D	TH, AS.	Bk(II)
13	*Jynx torquilla* Linnaeus, 1758	N,M.	AN	D	TH.	Bk(II)
14	*Picus canus* (Gmelin, 1788)	No,Nt,S.	AN	D	TH	Bk(II)
15	*Dendrocopos major* Linnaeus, 1758	S,No.	AN	D	TH	Bk(II)
16	*Dendrocopos syriacus* Hemprich & Ehrenberg, 1833	No,Nt,S.	AN	D	TH	Bk(II)
17	*Dryobates minor* Linnaeus, 1758	No,Nt,S.	AN	D	TH.	Bk(II)
18	*Hirundo rustica* Linnaeus, 1758	N,M.	DM	D	AS	Bk(II)
19	*Delichon urbicum* Linnaeus, 1758	N,M.	DM	S	AS	Bk(II)
20	*Galerida cristata* Linnaeus, 1758	No,S.	DS	C	HN	Bk(II)

Continuation of table 2

21	*Motacilla flava* Linnaeus, 1758	N,M.	BR	L	AS	Bk(II)
22	*Motacilla alba* Linnaeus, 1758	N,M.	BR	L	AS	Bk(II)
23	*Lanius collurio* Linnaeus, 1758	N,M.	FS	D	S	Bk(II)
25	*Oriolus oriolus* Linnaeus, 1758	N,M, Nt.	NM	D	T	Bk(II)
26	*Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758	M,Nt.	DM	D	TH.	-
27	*Garrulus glandarius* Linnaeus, 1758	No,Nt,S.	AN	D	T	-
28	*Pica pica* Linnaeus, 1758	Nt.,S.	AF	D	T	-
29	*Corvus monedula* Linnaeus, 1758	No,M, S.	DM	D	AS	-
30	*Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758	Nt,S,No,W.	AF	D	T	-
31	*Corvus cornix* (Linnaeus,1758)	No,W,Nt, S.	FS	D	T	-
32	*Corvus corax* Linnaeus, 1758	No,S.	BR	D	T	Bk(III)
33	*Bombycilla garrulus* Linnaeus, 1758	S,No,M, W.	BR	D	T	Bk(II)
34	*Acrocephalus arundinaceus* Linnaeus, 1758	M, N, Nt.	E	L	GS.	Bk(II)
35	*Regulus regulus* Linnaeus, 1758)	W.	BR	S	T	-
36	*Ficedula hypoleuca* Pallas, 1764	M, N,Nt.	NM	D	TH.	Bk(II)
37	*Phoenicurus ochruros* Gmelin, 1774	M, N, Nt.	ПГ	S	AS	-
38	*Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758	N, M, W.	NM	D	HN	Bk(II)
39	*Luscinia luscinia* Linnaeus, 1758	N, M.	NM	D	HN	Bk(II)
40	*Turdus pilaris* Linnaeus, 1758	N, M, W.	BR	D	T	Bk(II);Bo(I)
41	*Turdus merula* Linnaeus, 1758	N,M,W,Nt,S	NM	D	T	-
42	*Turdus philomelos* Brehm, 1831	N, M, Nt.	NM	D	T	-
43	*Turdus viscivorus* Linnaeus, 1758	N, M, W.	NM	D	T	Bk(II)
44	*Aegithalos caudatus* Linnaeus, 1758	No, S.	AN	D	T	Bk(III)
45	*Parus caeruleus* Linnaeus, 1758	No, M, Nt,S.	NM	D	TH	Bk(II)
46	*Parus major* Linnaeus, 1758.	No, M, Nt,S.	NM	D	TH	-
47	*Sitta europaea* Linnaeus, 1758	No, Nt, S.	AN	D	TH.	Bk(II)
48	*Certhia familiaris* Linnaeus, 1758	No, S.	AN	D	TH	Bk(II)
49	*Passer domesticus* Linnaeus, 1758	Nt, S.	DM	S	AS	-
50	*Passer montanus* Linnaeus, 1758	Nt, S.	DM	S	AS	-
51	*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758	N, M, W.	NM	D	T	Bk(III)
52	*Carduelis carduelis* Linnaeus, 1758)	N, M, W	FS	D	S	Bk(II)
53	*Acanthis cannabina* Linnaeus, 1758	N, M, W	FS	D	T	Bk(II)
54	*Coccothraustes coccothraustes* Linnaeus, 1758	S, No, M.	FS	D	T	Bk(II)

Notes to the table:

***Nature of stay**: Nt – nests in this territory, S – settled, M – migratory, W – wintering, Om – occurs on flights during migrations, N – nesting, No – nomadic, ? – unknown nature of stay in this territory; **Faunal complex**: NM – non-moral European complex; FS – forest-steppe European; SM – sub-Mediterranean, AN – ancient non-moral; AF – ancient forest-steppe complex; DS – desert-steppe; DM – desert-mountain; E– estuarine; TR – tropical; BR – boreal; **Ecological group**: D – dendrophiles, C – campophiles, L – limnophiles, S – sclerophytes; **Nesting type**: T – treetops, S – shrubs, GS – ground-shrub (build nests in ground vegetation at a height of up to 0.5 m); HN – ground-nesting; AS – anthropogenic structures; TH – tree hollow. **Conservation categories**: Bk – Berne Convention for the Protection of Literary and Artistic Works (Appendix I, Appendix II, Appendix III to the Convention); BO – Bonn Convention (Appendix I, Appendix II to the Convention).*

of the sub-Mediterranean and desert-steppe – 2% each (fig. 6).

Mammals. According to research, the faunal complex includes 16 species of mammals belonging to four systematic groups, which is approximately 20% of all vertebrate species of the local fauna. The most numerous of them so far is the Order of Bats (table 3). The background species among them is the red nightjar (*N. noctula*), which is quite common in the park and forms breeding colonies (fig. 7). Rare species are the genus *Plecotus* and the species *M. daubentonii*.

Among the predators, there is a weasel (*M. foina*), which was noted in the early second half of February (17.02.2019) in the farmyard near a row of birds of prey. All other species of predatory mammals, namely *M. nivalis* and *V. vulpes*, are known only from observations by zoo employees (personal data of A. Yu. Ladnov). M. nivalis paw prints were noted on 17.02.2019 on the snow cover in the southeastern part of the "Peremohy" park. Measurements were carried out according to the method (Ружіленко, 2002).

Among rodents, common species are the squirrel (*S. vulgaris*), house mouse *(M. musculus*). Sometimes, the field mouse *(A. agrarius*) is found on the territory of the zoo. Recently, it is known that this species is actively penetrating large cities, where it is most likely one of the most numerous species among mammals living in urbanized areas (Межжерін та Лашкова, 2013). On the territory of the zoo, it was noted in its central part (behind the enclosure with the tigress). *C. suaveolens* was noted in the southern part of the park (05.06.2022).

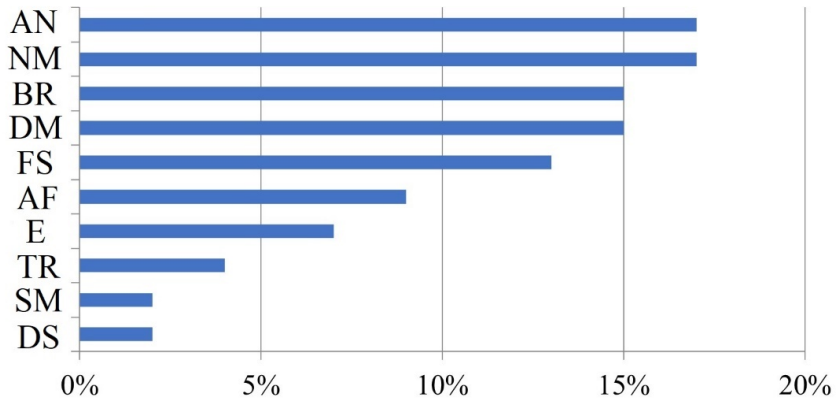


Fig. 6. Distribution of the avifauna of the "Peremohy" park by landscape-genetic faunal complexes: *NM – non-moral European complex; FS – forest-steppe European; SM – sub-Mediterranean, AN – ancient non-moral; AF – ancient forest-steppe complex; DS – desert-steppe; DM – desert-mountain; E– estuarine; TR – tropical; BR – boreal*



A B

Fig. 7. A) *N. noctula* and *E. serotinus* (10.04.2022); B) Typical habitat of the "Peremohy" park

Table 3

Ecological and faunal analysis of the theriocomplex of the Peremohy Park.

	Species name Lat.	**Species name Engl.**	**Conservation categories**	**Ecological group**
Ряд Комахоїдні (Insectivora)				
1	*Erinaceus europaeus* Linnaeus, 1758	European hedgehog		Terrestrial form
2	*Crocidura suaveolens* (Pallas, 1811)	Small white-toothed		Semi-underground form
Ряд Рукокрилі (Chiroptera)				
3	*Myotis daubentonii* (Kuhl, 1817)	Daubenton's bat	RBU; Bk II; BO (II)*	Flying form
4	*Plecotus sp.*	Long-ear bat	RBU; Bk II; BO (II)*	Flying form
5	*Nyctalus noctula* (Schreber, 1774)	Noctule bat	RBU; Bk II; BO (II)*	Flying form
5	*Pipistrellus nathusii* (Keyserling, Blasius, 1839)	Nathusius's Pipistrelle	RBU; Bk II; BO (II)*	Flying form
7	*P. pygmaeus* (Leach, 1825)	Soprano pipistrelle	RBU; Bk II; BO (II)*	Flying form
8	*P. kuhlii* (Kuhl, 1817)	Kuhl's pipistrelle	RBU; Bk II; BO (II)*	Flying form
9	*Vespertilio murinus* Linnaeus, 1758	Parti-coloured bat	RBU; Bk II; BO (II)*	Flying form
10	*Eptesicus serotinus* (Schreber, 1774)	Serotine bat	RBU; Bk II; BO (II)*	Flying form
Ряд Гризуни (Rodentia)				
11	*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758	Eurasian red squirrel	Bk III	Dendrophil
12	*Mus musculus* Linnaeus, 1758	House mouse		Semi-underground form
13	*Apodemus agrarius* (Pallas, 1771)	Striped field mouse		Semi-underground form
Ряд Хижі (Carnivora)				
14	*Martes foina* (Linnaeus, 1758)	Stone Marten	Bk III	Terrestrial form
15	*Mustela nivalis* (Linnaeus, 1766)	Least weasel		Semi-aquatic form
16	*Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758)	Red fox		Semi-underground form

Notes to the table:

RBU – Red Book of Ukraine; Bk – Berne Convention for the Protection of Literary and Artistic Works (Appendix I, Appendix II, Appendix III to the Convention); Bo – Bonn Convention (Appendix I, Appendix II to the Convention).

Discussion

Considering the structure of the species composition of vertebrates in the Peremohy Park, a trend towards a small number of alien species for three systematic groups is observed, which is inextricably linked to anthropogenic impact (fig. 8). It remains unchanged for amphibians, which is quite characteristic of the local batrachian fauna, as well as the characteristic small number of species for the territory of Ukraine.

Approximately a quarter of the vertebrate species noted here have a protected status (fig. 9). Within the framework of the Bern Convention on the Conservation of Wild Flora and Fauna and their Natural Habitats, more than half – 70% (39 species) of birds within the studied area are of conservation interest

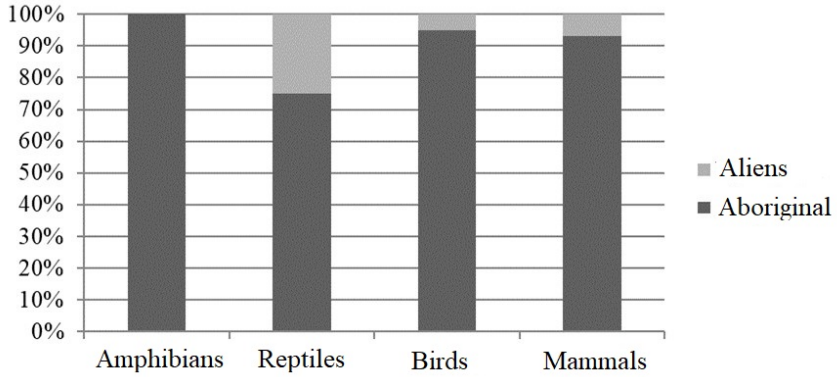


Fig. 8. Systematic structure of wild vertebrate fauna of Cherkasy City Zoological Park and "Peremohy" park by the ratio of native and alien species

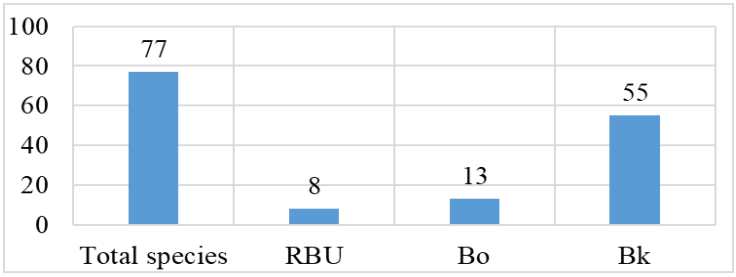


Fig. 9. Conservation status of wild vertebrates of the Cherkasy City Zoological Park and the "Peremohy" park of the tract: *RBU – Red Book of Ukraine; Bk – Berne Convention for the Protection of Literary and Artistic Works; Bo – Bonn Convention*

on a European scale (Годлевська та ін., 2010; Конвенція ..., 1979). Among mammals, the main group that is protected are bats.

This review demonstrates that parks are among the most species-rich places within urban systems. Birds are particularly well-studied here, as they are the most numerous taxonomic group among vertebrates. The results of the studies show that key ecological theories, namely the gradient approach and the island habitat theory, as well as the fundamental species-area topological relationships, are valid for urban parks, even without considering the urban landscape (Nielsen et al., 2013). Therefore, anthropogenic pressure (recreational load, creation of artificial habitats) can also have a positive effect on the species composition of the animal population of urban parks.

Conclusions

The conducted ecological and faunal analysis of wild vertebrates of the fauna of the city park "Peremohy" in Cherkasy allowed to establish:

- the presence of 77 species of wild vertebrates, including: amphibians – three species, reptiles – four species, birds – 54 species, and 16 species of mammals;
- the systematic structure showed the presence of alien species among reptiles, birds and mammals, which characterizes anthropogenically modified landscapes;
- the presence of eight species of wild vertebrates listed in the Red Book of Ukraine and 55 species under the auspices of the Bern Convention.

The main negative factor for the conservation of species in the park is anthropogenic impact. The work carried out shows that this impact (recreation, creation of artificial habitats) can also have a positive impact on the fauna. We should also not neglect the military operations, from which the southwestern district of the city suffered the most for a while.

Acknowledgements

The author expresses his gratitude to the Deputy Director of the Zoo Department of the Cherkasy City Zoological Park – Andriy Ladnov for his assistance in conducting the research.

Bibliography

Nielsen A-B, van den Bosch M., Sreetheran Maruthaveeran & Cecil Konijnendijk van den Bosc. Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence. *Urban Ecosyst*. 2013. Vol. 17. №1. P. 305–327. https://doi.org/10.1007/s11252-013-0316-1.

Scalera R. Trachemys scripta. Delivering alien invasive species inventories for Europe (DAISIE). 2015. [Електронний ресурс] URL: http://www.europe-aliens.org/speciesTheWorst.do (дата звернення: 28.12.2025).

Гаврилюк М. Н. Орнітофауна міста Черкаси. *Черкаський екологічний інформаційно-методичний центр*. Президія міської Ради товариства охорони природи, 1996. 36 с.

Годлевська О., Парнікоза І., Різун В., Фесенко Г., Куцоконь Ю., Загороднюк І., Шевченко М., Іноземцева Д. Фауна України: охоронні категорії. Довідник. Київ, 2010. 80с. [Електронний ресурс] URL: https://www.researchgate.net/publication/279506091_Fauna_of_Ukraine_ (дата звернення: 23.12.2025).

Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі. Берн, 19 вересня 1979 (Закон №436/96-ВР від 29.10.96). [Електронний ресурс] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436/96-%D0%B2%D1%80#Text (дата звернення: 20.12.2025).

Межжерін С. В., Лашкова О. І. Ссавці України. Довідник-визначник. Київ: Наукова думка, 2013. 356 с.

Писанець Є. Земноводні України. Посібник для визначення амфібій України та суміжних країн. Київ: Видавництво Раєвського, 2007. 192 с.

Ружіленко Н. Методика обліку та вивчення структури популяцій хижих ссавців за слідами (Родина Mustelidae). *Вісник Львівського ун-ту*. Серія Біологія. 2002. № 30. С. 35–41.

Свояк Н. І., Фоміна. Н. М. Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва Черкаської області. Черкаси : Вертикаль, 2012. 192 с.

Скільський І. В. Особливості біотопічного розподілу птахів у Чернівцях: просторово-часовий аспект. *Беркут*. 2006. Вип. 15 №. 1-2. С. 81–85. [Електронний ресурс] URL: https://www.aetos.kiev.ua/berkut/cont15u.htm (дата звернення: 22.12.2025).

Чаплигіна А. Б. Еколого-фауністичний аналіз орнітофауни урболандшафтів на прикладі журавлівського гідропарку м. Харків. *Природничий альманах. Серія: Біологічні науки*. 2010. Вип. 14. С. 187–199. [Електронний ресурс] URL: http://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/5624 (дата звернення: 30.12.2025).

References

Nielsen A-B., van den Bosch M., Sreetheran Maruthaveeran, Cecil Konijnendijk van den Bosc. (2013). Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence. *Urban Ecosyst*, 17(1), 305–327. https://doi.org/10.1007/s11252-013-0316-1 [in English].

Scalera, R. (2015). Trachemys scripta. Delivering alien invasive species inventories for Europe (DAISIE). [Electronic resource] URL: http://www.europe-aliens.org/speciesTheWorst.do (access date 28.12.2025) [in English].

Gavrilyuk, M. N. (1996). Ornithofauna mista Cherkasy [*Ornithofauna of the city of Cherkasy*]. Cherkas'kyy ekolohichnyy informatsiyno-metodychnyy tsentr. Prezydiya mis'koyi Rady tovarystva okhorony pryrody [*Cherkasy Ecological Information and Methodological Center. Presidium of the City Council of the Nature Conservation Society*], 36. [in Ukrainian].

Godlevskaya, O., Parnikoza, I., Rizun, V., Fesenko, G., Kutsokon', YU., Zagorodnyuk, I., Shevchenko, M., & Inozemtseva, D. (2010). Fauna Ukrainy: okhrannyye kategorii. Spravochnik. **[***Fauna of Ukraine: conservation categories. Reference book*] Kyiv. 80 p. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/279506091_Fauna_of_Ukraine_ (access date 23.12.2025) [in Ukrainian].

Konventsiya pro okhoronu dykoyi flory ta fauny i pryrodnykh seredovyshch isnuvannya v Yevropi. Bern, 19 veresnya 1979 (Zakon №436/96-VR vid 29.10.96) [*Convention on the Conservation of European Wild Flora and Fauna and Natural Habitats. Bern, September 19, 1979*] (Law No. 436/96-VR of 29.10.96). [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436/96-%D0%B2%D1%80#Text (access date 20.12.2025).

Mezhzherin, S. V., & Lashkova, O. I. (2013). Ssavtsi Ukrayiny. Dovidnyk-vyznachnyk. [*Mammals of Ukraine. Guidebook-determiner*]. Kyiv: Naukova dumka, 356 p. [in Ukrainian].

Pysanets, E. (2007). Zemnovodni Ukrayiny (posibnyk dlya vyznachennya amfibiy Ukrayiny ta sumizhnykh krayin) [*Amphibians of Ukraine (a guide to identifying amphibians of Ukraine and neighboring countries*]. Kyiv: Vydavnytstvo Rayevs'koho, 192 p. [in Ukrainian].

Ruzhilenko, N. (2002). Metodyka obliku ta vyvchennya struktury populyatsiy khyzhykh ssavtsiv za slidamy (Rodyna Mustelidae) [Methodology for recording and studying the structure of populations of predatory mammals by tracks (Family Mustelidae)]. *Visnyk L'vivs'koho un-tu.* Seriya Biolohiya. [*Bulletin of Lviv University. Biology Series*], 30, 35–41. [in Ukrainian].

Svoyak, N. I., & Fomina, N. M. (2012). Parky-pam'yatky sadovo-parkovoho mystetstva Cherkas'koyi oblasti. Cherkasy: Vertykal' [*Parks-monuments of landscape art of Cherkasy region*] Cherkasy: Vertical, 192 p. [in Ukrainian].

Skilsky, I. V. (2006). Osoblyvosti biotopichnoho rozpodilu ptakhiv u Chernivtsyakh: prostorovo-chasovyy aspekt [Peculiarities of the biotope distribution of birds in Chernivtsi: spatiotemporal aspect]. *Berkut,* 15 (1–2), 81–85. [Electronic resource] URL: https://www.aetos.kiev.ua/berkut/cont15u.htm (access date 22.12.2025) [in Ukrainian].

Chaplygina, A. B. (2010). Ekoloho-faunistychnyy analiz ornitofauny urbolandshaftiv na prykladi zhuravlivs'koho hidroparku m. Kharkiv [Eco-faunistic analysis of avifauna of urbolandscapes the case study of the Zhuravlivs`kyi hydropark in Kharkiv]. *Pryrodnychyy al'manakh. Seriya: Biolohichni nauky* [*Natural Almanac. Series*: *Biological Sciences*], 14, 187–199. [Electronic resource] URL: http://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/5624 (access date 30.12.2025) [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 02.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

UDC 591.9:595.42
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.26

DYNAMICS OF BIODIVERSITY PARAMETERS OF ACARID MITES IN APIARIES OF THE UZHHOROD DISTRICT OF THE TRANSCARPATHIA IN LOWLAND CONDITIONS

A. T. Dudynska[1], V. O. Romanko[2], L. O. Adamchuk[3]

The work is devoted to clarifying the peculiarities of the structural and functional organization of acarid mite communities in the nests of Carpathian honey bees and determining the ecological factors that determine the dynamics of their numbers. Purpose – characteristics of the species composition of acarid mites and their population in bee nests in the lowland zone of Transcarpathia (using private apiaries in the Uzhhorod district as an example). Research objects were hive mites from the Acaridia group. Research material – honeycomb fragments, pollen, and other organic impurities collected from hives in the studied apiaries within the villages of Mali Heivtsi, Tysaagtelek and Velyka Dobron. A set of methods was used in the study: systematic analysis of scientific literature, laboratory microscopy with identification of acarids, calculation of ecological indices (dominance, density, frequency of occurrence) and methods of variational statistics (MS Excel 2010). Nine species of acarid mites were identified within the studied region. Four ecological groups were identified based on the structure of dominance: "dominant species" (Glycyphagus domesticus, Tyrophagus similis, Carpoglyphus lactis); "subdominant species" (Acarus siro, Tyrophagus putrescentiae, Tyrophagus longior, Neoacotyledon redikorzevi); "subdominant species of the first order" (Neoacotyledon sokolovi) and "secondary members" (Monieziella berlesiana). The annual dynamics of the population of each species of acarids in hives was characterized by individual features. Depending on various factors, variations in the biodiversity parameters of acarid mites were

[1] Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor at the Department of Zoology
(State University "Uzhhorod National University", Uzhhorod)
e-mail: andrea.dudinska@uzhnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-7461-0512
[2] Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Geodesy, Land Management and Geoinformatics
(State University "Uzhhorod National University", Uzhhorod)
Part-time leading specialist
(State Institution "Transcarpathian Phytosanitary Testing Laboratory of the State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection", Uzhhorod)
e-mail: volodymyr.romanko@uzhnu.edu.ua, romankovlad@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5263-4190
[3] Doctor of Technical Sciences,
Senior Research Fellow in the Sector of Bee Diseases, Institute of Veterinary Medicine
(National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv)
e-mail: leonora.adamchuk@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2015-7956

observed in the studied apiaries of the Uzhgorod district. It has been proven that the minimum number of acarid mites is characteristic of "strong" and "very strong" bee colonies, especially in the third quarter of the year (July–September). The lowest biodiversity indicators (density, frequency of occurrence, and dominance index) were observed in mites of the species M. berlesiana. The rationale for the subsequent stages of the study is based on the need to establish the patterns of distribution of acarid mites depending on the altitude above sea level. The research focuses on a comparative analysis of the species composition and abundance of acarids in the lowland, foothill, and mountain zones of Transcarpathia.

Key words: *pest, mite density, frequency of occurrence, dominance index.*

ДИНАМІКА ПАРАМЕТРІВ БІОРІЗНОМАНІТТЯ КЛІЩІВ-АКАРИД НА ПАСІКАХ УЖГОРОДСЬКОГО РАЙОНУ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ НИЗОВИНИ

А. Т. Дудинська, В. О. Романко, Л. О. Адамчук

Робота спрямована на з'ясування структурно-функціональної організації популяцій акарид у гніздах карпатської медоносної бджоли та визначення екологічних чинників, що детермінують динаміку їхньої чисельності. Мета роботи – характеристика видового складу акаридієвих кліщів та їх чисельності у бджолиних гніздах в умовах низовинної зони Закарпаття (на прикладі приватних пасік Ужгородського району). Об'єктом досліджень слугували комірні кліщі з групи Acaridia. Матеріал досліджень був субстрат (пилок та інші органічні домішки зібраних із на вуликів на досліджуваних пасіках в межах сіл Малі Геївці, Тисаагтелек та Велика Добронь. У роботі застосовано комплекс методів: системний аналіз наукової літератури, лабораторне мікроскопіювання з ідентифікацією акарид, розрахунок екологічних індексів (домінування, щільності, частоти трапляння) та методи варіаційної статистики (MS Excel 2010). У межах досліджуваного регіону ідентифіковано 9 видів акаридієвих кліщів. За структурою домінування виділено чотири екологічні групи: «види-домінанти» (Glycyphagus domesticus, Tyrophagus similis, Carpoglyphus lactis); «види-субдомінанти» (Acarus siro, Tyrophagus putrescentiae, Tyrophagus longior, Neoacotyledon redikorzevi); «субдомінанти 1 порядку» (Neoacotyledon sokolovi) та «другорядні члени» (Monieziella berlesiana). В залежності від різних чинників спостерігали варіювання параметрів біорізноманіття кліщів-акарид на досліджуваних пасіках Ужгородського району. Доведено, що мінімальна чисельність акаридієвих кліщів характерна групам «сильним» та «дуже сильним» бджолосім'ям особливо у третій квартал року (липень–вересень). Найменші показники біорізноманіття (щільність виявляли, частоту трапляння та індекс домінування) спостерігали у кліщів виду M. berlesiana. Обґрунтування наступних етапів роботи базується на необхідності встановлення закономірностей поширення акарид залежно від висоти над рівнем моря. Дослідження фокусується на порівняльному аналізі видового складу та чисельності акарид у низовинній, передгірній та гірській зонах Закарпаття.

Ключові слова: *шкідники, щільність кліщів, частота трапляння, індекс домінування.*

Introduction

The study of acarofauna in *Apis mellifera* nests is mainly conducted in the direction of research and control of such ectoparasites as *Varroa destructor* (Imre et al., 2025; Philémon et al., 2026), *Acarapis woodi* (Koç Akpınar et al., 2023) and *Tropilaelaps* sp. (Shrestha et al., 2020).

However, along with the above-mentioned species of microarthropods, other groups of mites are also found in honey bee nests, forming an ecologically complex and multi-component acarocomplex. Acarid mites deserve special attention, as their species richness and abundance vary significantly under the influence of a number of abiotic and biotic factors. Entering into complex trophic and phoresic relationships with other arthropods, acarids are capable of rapid population growth in a short period under favorable conditions. This leads to an increase in the harmfulness of these mites as destroyers of organic substrates during their storage (both of plant and animal origin) (Dudynska et al., 2023).

From an economic perspective, acarid mites are of significant concern due to their role as primary pests of plant-derived commodities in storage facilities, including granaries and vegetable warehouses (Hubert, 2012; Dudynska et al., 2023). Specifically, mass outbreaks of species within the genera *Acarus* and *Tyrophagus* can cause substantial degradation of grain seeds and processed products such as flour, cereals, and mixed feeds (Hubert, 2012; Романко, & Дудинська, 2025). Beyond their economic impact, acarid

mites are integral components of various biocenoses. Their ubiquity and pathogenicity have necessitated extensive research into their ecological parameters, with a historical emphasis on characterizing their ecological niches within synanthropic environments and storage systems (Dudynska et al., 2023). However, information on the species richness of acarid mites and the dynamics of their numbers in honey bee hives is presented in scientific literature in a fragmentary manner, which determined the direction of our research.

Purpose: characteristics of the fauna of acarid mites and their abundance in the nests of Carpathian honey bees in the in lowland conditions of the Uzhgorod district of the Transcarpathian region.

To achieve the purpose, the following tasks were completed:

– To determine the species diversity of acarids in the studied apiaries.

– Study of the abundance of acarids in the nests of Carpathian honey bees during the annual cycle.

– Determining the relationship between mite abundance and bee colony strength.

Materials and methods

The research was conducted between 2023 and 2025 at apiaries located in the Uzhhorod district of the Transcarpathian region lowland zone: in the village of Mali Geyivtsi, location – 48°29'56“N 22°18'11”E altitude 104 meters above sea level;

– Tysaagtelek village 48°28'08“N 22°18'20”E altitude 103 meters above sea level;

– Velyka Dobron village 48°25'17“N 22°03'05”E altitude 104 meters above sea level.

To investigate the acarofauna composition within the nests of Carpathian honey bees (*Apis mellifera carnica*) in the lowland zone of the Uzhhorod district, 480 samples were collected and analyzed. The sampling design involved three apiaries, with 160 samples obtained per site. The research material comprised hive debris, including honeycomb fragments, pollen, and other organic impurities. Each sample had a standardized mass of 10 g.

Processing was conducted using established acarological techniques. Quantitative extraction of mites was performed using the Berlese-Tullgren funnel method. Specimen enumeration and morphological analysis were conducted with a binocular microscope. To facilitate taxonomic identification of acarid mites, permanent whole-mount slides were prepared using Hoyer’s medium (Dudynska et al., 2023).

Species identification was implemented through microscopic examination guided by specialized acarological taxonomic keys. Statistical analysis and data processing were implemented in Microsoft Excel. Biodiversity and population structure were characterized through indices of species richness (Margalef and Menhinick), diversity (Shannon) (Magurran, & McGill, 2011), density, frequency of occurrence, and dominance (D – dominant species (more than 10 %); SD – subdominant species (1–10 %); SD 1st level – subdominants of the 1st order manger (0,1–1 %); SM – secondary members (0,01–0,1 %)) (Gullan, & Cranston, 2014).

The strength of bee colonies was assessed by the number of beehive frames occupied by bees (Технологічні ..., 2015).

Results

As a result of analyzing the collected material, nine species of mites were identified. These are seven species, namely *Acarus siro, Tyrophagus longior, Tyrophagus similis, Tyrophagus putrescentiae, Neoacotyledon sokolovi, Neoacotyledon redikorzevi, Monieziella berlesiana,* which belong to the Acaridae family; and two species – *Glycyphagus domesticus, Carpoglyphus lactis,* which belong to the Glycyphagidae family. While all recorded acarid mite species were present across all investigated apiaries, their biodiversity indices exhibited fluctuations driven by various environmental factors.

In total, 63295 acarid mites were detected. Of these, 21546 ind. were found in the apiary in the village of Velyka Dobron, 21731 in the village of Mali Geyivtsi, and 19766 near the village of Tysaagtelek. That is, no significant difference in the overall indicators of acarid mites between apiaries was observed. Relatively high humidity and acceptable temperatures in the lowlands of Transcarpathia along the Latorica River create optimal conditions for the development of acarids.

Analysis of the annual cycle revealed a distinct seasonal periodicity in the abundance of synanthropic mites. The peak population density was observed between April and June, reaching 61.1±6.78 individuals (42.6 % of the total collection). A moderate presence was recorded from January to March (38.1±6.17 individuals; 26.6 %) and from October to December (24.2±2.62 individuals; 16.9%). The minimum numerical abundance

occurred during the July–September period, falling to 20.1±3.45 individuals (14.0 %).

Significant variability in the density of acarid populations is determined mainly by climatic factors and seasonal characteristics of the biological cycle of the bee colony, in particular the intensity of the bees' hygienic behavior in cleaning the bottom of the hive from organic debris. In the Uzhhorod district, the period from July to September is characterized as the least favorable for the development of acarids. This is due to the synergistic effect of high temperatures and low air humidity, which limit the development of mites, combined with the active cleaning activity of bees on the bottom boards, where the main part of microarthropods is localized during this season.

Taxonomic analysis of the acarid mites revealed significant fluctuations in population density across the annual cycle. During the first quarter (January–March), *Gl. domesticus* exhibited the highest density, reaching 101.5±5.38 individuals, which accounted for 55.2% of the total mite population recorded in this period. Conversely, the lowest density index was documented for *M. berlesiana*, totaling only 0.7±0.28 individuals (Fig. 1).

In the second quarter (April–June), as in the first, the maximum population density of *Gl. domesticus* was recorded (82.9±5.39 individuals, accounting for 42.2 % of all mites detected during this period). However, it should be noted that, unlike in the first quarter, no significant this pest dominance was observed. As in the previous period, the minimum density was recorded for *M. berlesiana* (0.7 ± 0.23 individuals).

Unlike the first and second quarters of the annual cycle, in the third quarter of the year the highest density was recorded in *C. lactis* (24.1±2.86 individuals) or 52.0 % of the total number of mites identified during this period.

During the period from October to December (fourth quarter), the maximum density was determined in *Gl. domesticus* and *C. lactis* – 26.6±6.23 and 24.1±3.83 individuals, respectively. The minimum density index for this period, as in previous cases, was observed in *M. berlesiana* – only 0.4±0.23 (Fig. 1).

In general, the highest acarid density indicators in the studied apiaries were found in the following order: *Gl. domesticus* (53.5±6.82), *C. lactis* (24.8±3.03) *T. similis* (14.9±3.37), *T. longior* (13.0±2.55) *T. putrescentiae* (10.5±1.94), *A. siro* (8.1±1.36), *N. redikorzevi* (4.3±1.04), *N. sokolovi* (2.4±0.77) and *M. berlesiana* individuals (0.5±0.25) (Fig. 2).

However, the population density dynamics of individual mite species within the hives exhibited distinct species-specific patterns throughout the annual cycle. The most sig-

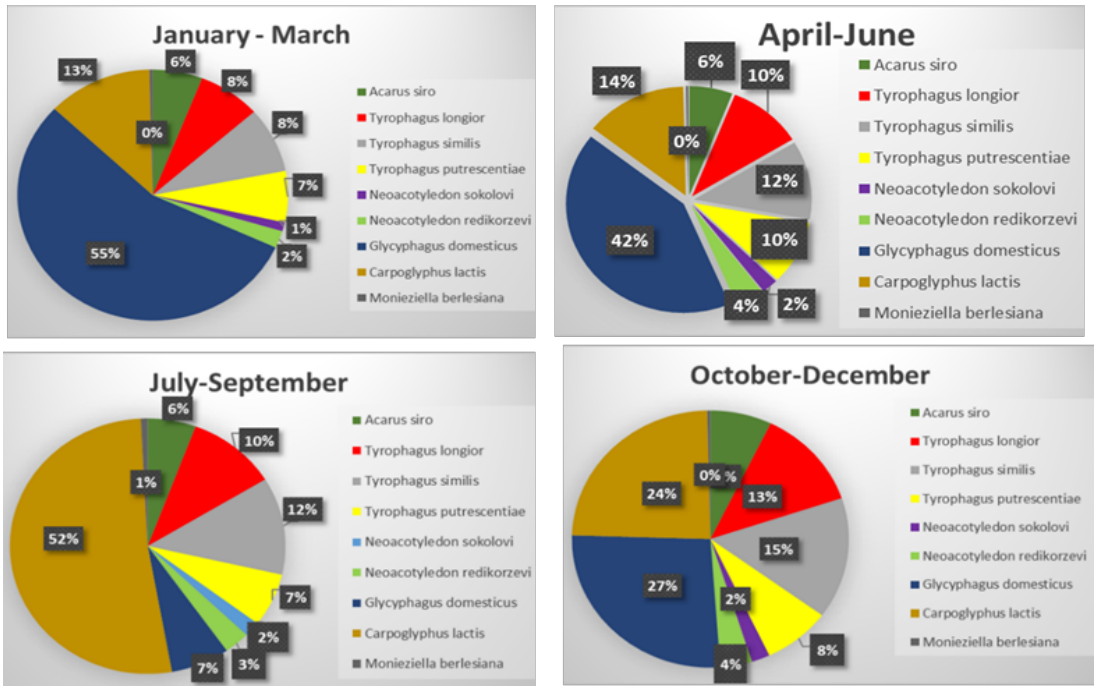


Fig. 1. Dynamics of acarid density in *Apis mellifera carpatica* nests during the annual cycle

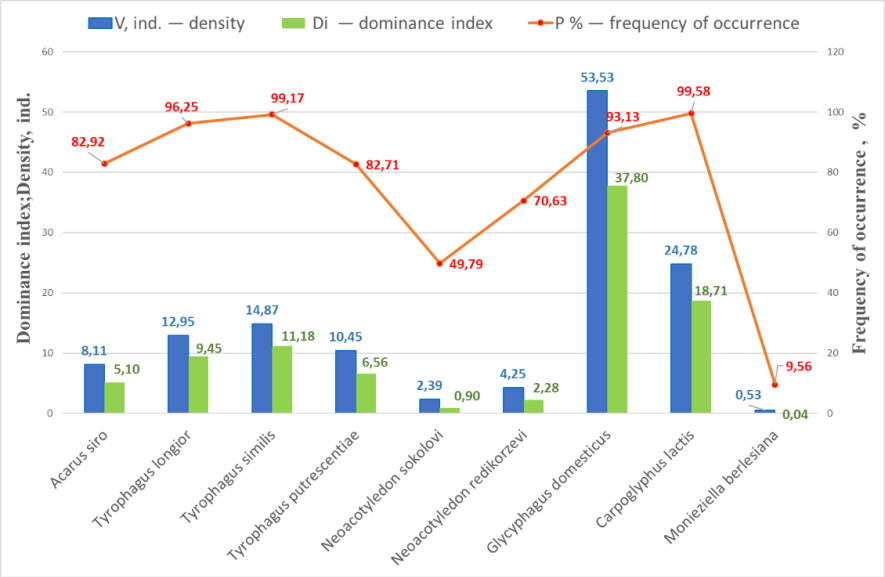


Fig. 2. Biodiversity indices of acarid mites in apiaries located within the lowland zone of the Uzhhorod district

nificant fluctuation in numerical abundance was documented for *Gl. domesticus*, which showed the widest amplitude: from a peak of 101.5±7.16 individuals in the first quarter (reaching maximum values in March) to a minimum of 3.2±0.46 individuals in the third quarter.

For *A. siro, T. longior, T. putrescentiae, T. similis, N. sokolovi,* and *N. redikorzevi*, the peak population density was documented between April and June. Conversely, these six acarid species exhibited their minimum density values during the third quarter of the year. In contrast, the *C. lactis* population maintained relative stability throughout the season, with density fluctuations constrained between 27.8±1.88 and 21.3±1.47 individuals, displaying no significant seasonal variations compared to the aforementioned taxa (Fig. 3).

The highest frequency of occurrence, 99.58 % (478 out of 480 samples), was recorded for *C. lactis*. It is worth noting that, *Gl. domesticus* showed a frequency only of 93.13 % (447 samples), despite having the highest population density among all detected acarids. The lowest occurrence frequency (9.56 %) was observed in *M. berlesiana.* A distinctive feature of *T. longior* and *T. similis* was that, despite their relatively low-density indices, they had high occurrence frequencies of 96.25 % (462 out of 480 samples) and 99.17 % (476 samples), respectively (Fig. 3).

According to the dominance analysis, three of the nine identified mite species (*Gl. domesticus, C. lactis* and *T. similis*) were identified as dominant. Four species were classified as subdominant (*T. longior, A. siro, T. putrescentiae*, and *N. redikorzevi*). One species of acarid (*N. sokolovi*) was classified as "subdominants of the 1st order." *M. berlesiana* represented the lowest class of dominance, "secondary members." (Fig. 4).

An analysis of the distribution of mites in bee colonies of varying strength showed that the highest number of acarid mites was observed in "weak" colonies – 26.35 % of the total number of individuals detected. A slightly lower number was found in "very weak" colonies – 24.61 %. The lowest numbers were recorded in 'strong' and "very strong" bee colonies – 16.49 % and 16.30 %, respectively.

As shown in Fig. 5, *Gl. domesticus* was the dominant species among mites in all bee colonies. However, while in the mite fauna of "weak" and "very weak" bee colonies, the dominance index of *Gl. domesticus* compared to *C. lactis* was 2.3 and 2.7 times higher, respectively, in "strong" and "very strong" bee colonies, such dominance indices were not observed (1.8 and 2.0 times, respectively). In addition, in "weak bee colonies," unlike others, a relatively high number of *T. putrescentiae* was recorded (19.5±1.65 individuals) (Fig. 5).

An analysis of the biodiversity metrics for acarid mite communities within the apiaries of the Uzhhorod district (lowland zone) revealed minimal variation, indicative of a generally low level of species diversity. Specifically, the

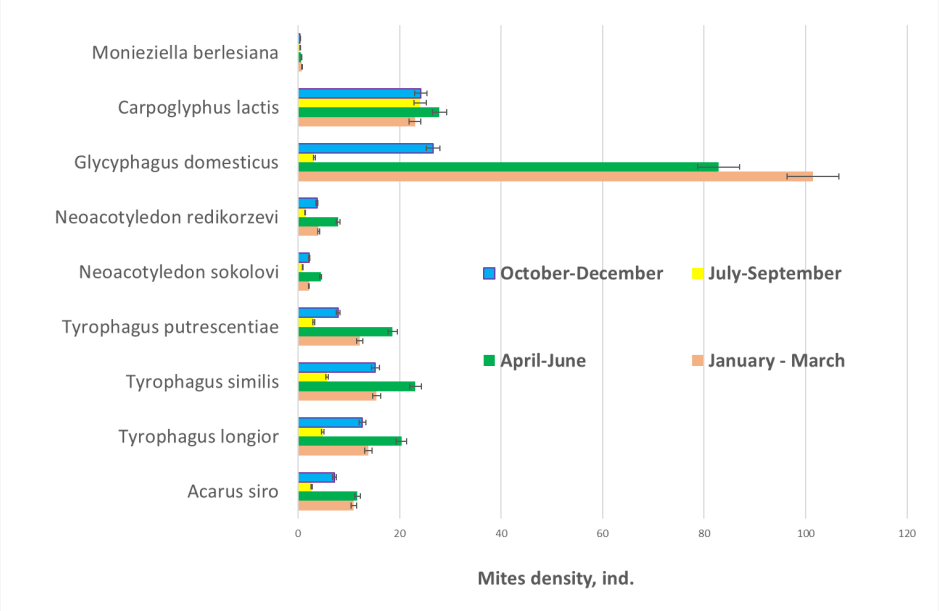


Fig. 3. Density of acarid species composition during the annual cycle

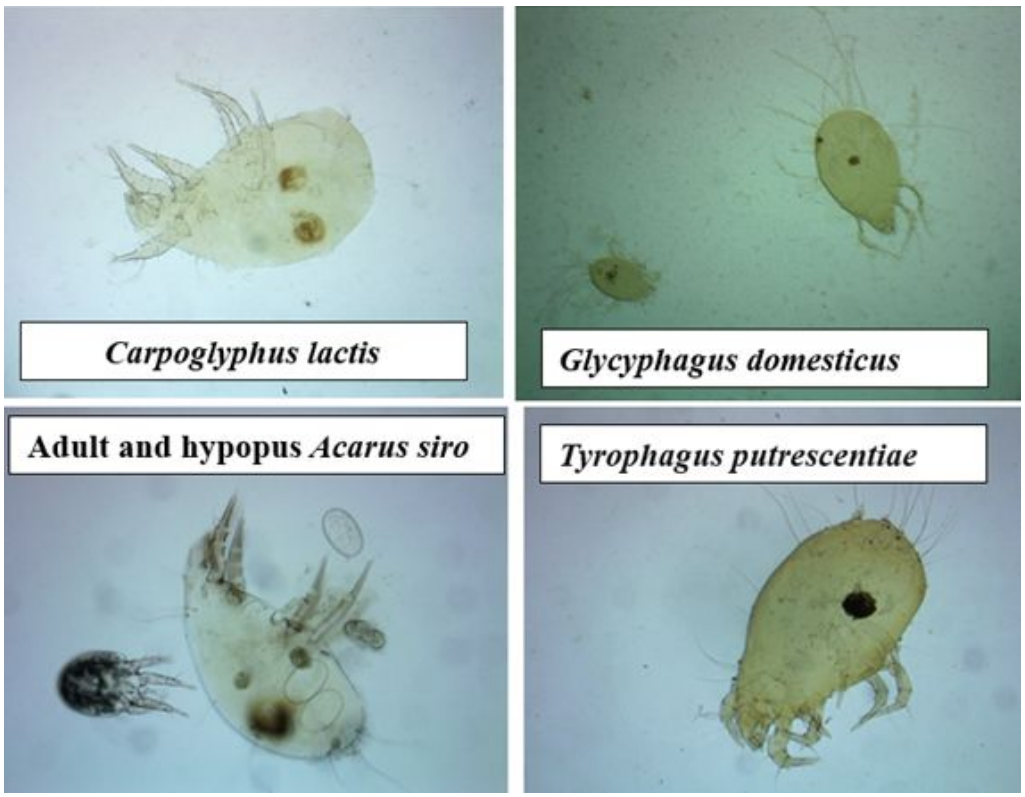


Fig. 4. General view of acarid mites

calculated Shannon index values ranged narrowly from 1.70 (Mali Geyivtsi apiary) to 1.75 (Tysaagtelek apiary). These metrics underscore a limited species richness and low evenness within the studied communities, where pronounced species dominance especially impacts overall ecological stability.

Low values of the Margalef index (0.56) indicate an impoverished species composition of acarid mites in the studied hives. This eco-

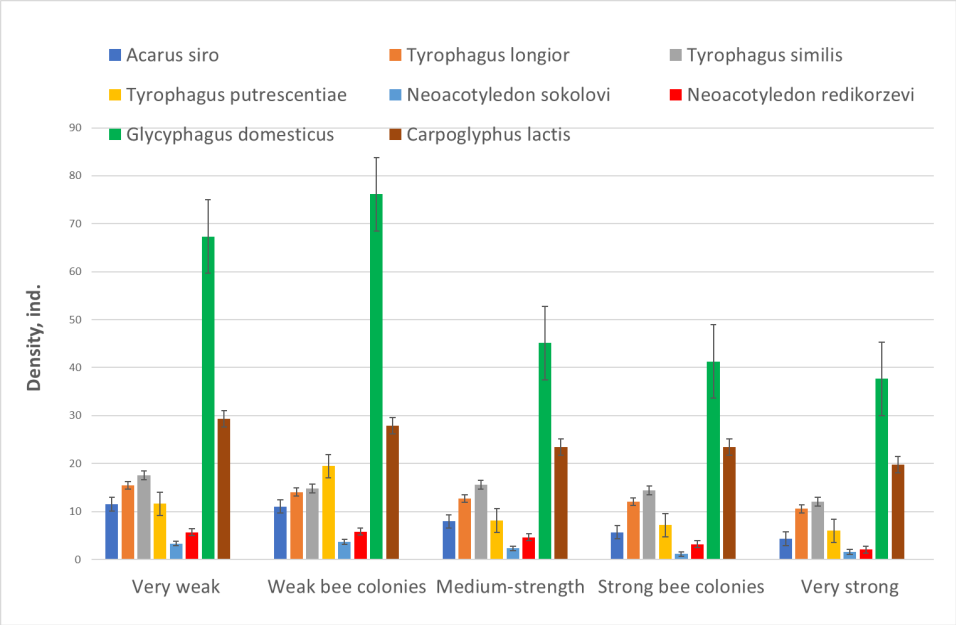


Fig. 5. Density dynamics of acarofauna in *Apis mellifera carnica* colonies of varying numerical strength

logical pattern is determined by the cleaning activity of worker bees, which limits the accumulation of organic matter required for mite proliferation.

In contrast to the aforementioned metrics, the Menhinick index reached its minimum value (0.06). This result is attributable to the high numerical abundance of mites coupled with relatively low species richness.

Discussion

Contemporary research primarily focuses on the biological characteristics, developmental cycles, and pathogenicity of acarid mites, as well as the evaluation of various control strategies. Specifically, significant attention is directed toward investigating the toxicological effects of alternative non-chemical disinfection agents, such as inert dusts (Kilic, 2022; Athanassiou et al., 2025; Boukouvala et al., 2025). Furthermore, studies explore the efficacy of thermal treatments against these pests (Abbar et al., 2016) and the expansion of the fumigant repertoire, including the development of new chemical formulations for the disinfection of plant-based products (Hasan et al., 2019; Hasan et al., 2021; Романко & Дудинська, 2025).

Scientific literature regarding acarofauna within synanthropic environments, particularly in honey bee nests, remains sparse. The occurrence of *C. lactis* on aged combs and within honey stores has been documented in only a few studies. Notably, Nguyen et al., (2024) emphasized that *Apis mellifera* colonies, especially those with reduced numerical strength, exhibit high vulnerability to *C. lactis* infestations. These mites rapidly proliferate and consume stored pollen, resulting in significant colony weakening and potential collapse (Nguyen et al., 2024).

Dudynska et al. (2025) investigated the impact of various factors on the occurrence and numerical abundance of *C. lactis* in stored honey. The population density of mites fluctuated significantly depending on the experimental parameters. Specifically, the number of individuals varied from 0 to 20.11±2.667 per sample, influenced by the botanical origin of the honey, its moisture content, and the duration of storage. The authors demonstrated that mite colonization is restricted to the surface layer of the honey, reaching depths of only 1–10 mm. Notably, *C. lactis* was consistently absent in samples obtained from deeper layers, regardless of the experimental conditions (Dudynska et al., 2025).

According to research by Li et al. (2015), the taxonomic composition of acarid mites associated with stored bee products exhibits substrate-specific variations: in «Honey date» – *Gl. domesticus*, *C. lactis*; in «Honey lotus root dry» – *C. lactis, T. putrescentiae, Gl. ornatus*; in «Honey» – *C. lactis, Gl. domesticus* and *Tyrolichus casei* (Li et al., 2015).

The presence of *C. lactis, Gl. domesticus* and *T. longior* in hives in Great Britain was noted by Bowman (Bowman, 2023).

Henszel et al., (2011) evaluated the acarofauna composition within litter and animal feed samples collected from agricultural facilities in northwestern Poland. Their findings indicated a high prevalence of mites in the examined farm buildings. The dominant taxa identified included *Lepidoglyphus destructor* (72.3 %), *Cheyletus* sp. (52.7 %), *A. siro* (41.8 %), and *T. putrescentiae* (40.0 %) (Henszel et al., 2011). The last two species were also found in the apiaries we studied. Such species of acarids as *Gl. domesticus*, *T. longior* and *Chortoglyphus arcuatus* were also found in the studied samples, however, the percentage of detection was significantly lower compared to the above-mentioned species of mites, as emphasized by Henszel et al. (2011). Whereas in the hives, the number of *Gl. domesticus* significantly exceeded the number of *A. siro* and *T. putrescentiae.*

Palyvos et al. (2008) performed a faunistic survey of mites within synanthropic environments in Greece. The study encompassed a wide range of substrates, including cereal crops (wheat, maize, oats, barley), flour, bran, processed agricultural food products, dried fruits (walnuts, raisins), as well as organic residues and dust within storage facilities. The highest infestation rates and population densities were documented in samples of residual materials. *L. destructor*, *T. putrescentiae*, and *A. siro* were identified as either dominant or subdominant taxa across all examined storage facilities (Palyvos et al., 2008). Our research results also showed that the majority of acarids were found at the bottom of the hive, where frame fragments, pollen, and other organic matter accumulate.

Within Ukraine, little research has been conducted on the complexes of these pests in semi-natural and anthropogenic biotopes over the last two decades. In particular, Oksentiuk et al. (2022) studied species groups of acarid mites in agricultural and industrial areas in the Polissya region (Zhytomyr region) Agricultural environments exhibited higher taxonomic diversity, totaling 30 species: 21 species were recorded in barns containing fodder (grain, hay, straw), 12 in livestock and poultry outbuildings, 9 in beehives, and 13 in vegetable storage facilities (Oksentiuk et al., 2022). A comparative analysis of our findings with the aforementioned data revealed that only four out of the nine identified acarid species were identical. Specifically, these included *A. siro, T. longior, T. putrescentiae,* and *Gl. domesticus.*

Zhovnerchuk et al. (2024) investigated other mite taxa, specifically the families Tetranychidae and Phytoseiidae, across various altitudinal zones within the Transcarpathian region. Their findings demonstrated that vertical zonation exerts a significant influence on the species composition of these mite communities The taxonomic diversity of tetranychid mites exhibited an altitudinal gradient: the highest species richness was documented in the lowlands (23 species), with a moderate decrease in the foothills (19 species), and the minimum values observed in the mountain zone (11 species) (Zhovnerchuk et al., 2024).

The impact of altitudinal zonation and various types of agricultural facilities on the species diversity and abundance of acarid mites is detailed in the study by Dudynska et al. (2023). Specifically, *A. siro* and *T putrescentiae* were identified as dominant species in the foothills and mountain zones, whereas in the lowlands, *A. siro* was the sole dominant taxon. Among the examined farm buildings, the highest concentration of acarid mites (comprising dominant and subdominant species) was documented in cowsheds (33.72 %), while the minimum was recorded in haylofts (12.29 % of the total abundance). The highest biodiversity indices were observed in the foothill zone (mean abundance per sample: 7.86; density: 0.98; frequency of occurrence: 58.13; dominance index: 5.21). Conversely, the lowest quantitative indicators were recorded in the mountain area (mean abundance: 5.15; density: 0.64; frequency: 44.94) and in the lowlands (dominance index: 4.22) (Dudynska et al., 2023).

In a comparative context, ecological surveys of acarid mite distribution indicate that agricultural facilities (including barns, avian housing, storage units, and haylofts) across various Transcarpathian districts provide optimal substrates and microclimatic conditions for the proliferation of these pest populations. Thus, their species richness ranged from 16 to 24 species, and the abundance of mites ranged from 172.3 to 703.9 individuals. Accordingly, the Margalef, Shannon, and Menkhinik indices were higher and ranged from 1.57 to 2.12, 2.43 to 2.82, and 0.44 to 0.56, respectively (Dudynska et al., 2023). That is, we observed a difference in biodiversity indicators between apiaries and farm buildings within 1.43 and 7.67 times, which is due to the significantly higher species richness of acarids in various farm buildings than in apiaries.

Thus, the results of studies on the species diversity and abundance of acarid mites in *Apis mellifera carpatica* colonies in the lowlands of the Uzhhorod district of Transcarpathia are presented. These results will form part of the data on acarid biodiversity for future studies of the acarofauna in *Apis mellifera carpatica* nests at different altitudes and under different climatic conditions.

Conclusions

1. A total of nine acarid mite species were identified within the study area. Based on their ecological significance, these were categorized into hierarchical groups: dominant species, subdominant species, first-order subdominants, and secondary members.

2. The seasonal dynamics of storage mite abundance within Carpathian honey bee nests exhibited a distinct annual pattern. The peak population density was recorded during the April–June period (21.9±4.74 ind.), lightly lower rates were observed in January–March (20.4±3.89 ind.) and a significant reduction in October–December (11.1±2.52 ind.). The absolute minimum was observed between July and September – 5.1±1.27 individuals.

3. The highest density values were documented for *Gl. domesticus* (53.5±6.82 individuals), whereas the average density of *C. lactis* was 2.2 times lower. Furthermore, the annual population dynamics for each acarid species were characterized by distinct, species-specific temporal patterns.

4. We observed a certain correlation between the number of mites and the strength of the bee colony. The highest level of infestation was recorded in weak and very weak colonies, which accounted for approximately 51 % of the total number of mites. The strength of bee colonies did not affect the species richness of mites.

5. Biodiversity metrics calculated for acarid assemblages in apiaries of the Transcarpathian lowland zone indicate depauperate species richness. Such low index values result from the numerical dominance of a few species, where high absolute abundance offsets the overall taxonomic diversity.

6. Future studies will focus on a comprehensive comparative analysis within the lowland, foothill, and montane zones of the Transcarpathian region to determine the influence of vertical zonation on mite assemblages in *Apis mellifera carpatica* nests.

Funding

This work was funded by the International Visegrad Fund under the Project ID 52510340 Title, 2025-2026.

Part of the research was funded by the National Scholarship Programme of the Slovak Republic (NSP), awarded to Leonora Adamchuk under application ID 57381.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Acknowledgments

The co-author, Andreia Dudynska, gratefully acknowledges the support of the International Visegrad Fund under Research Internship ID 52510340, within which new knowledge and scientific results were obtained.

The co-author, Leonora Adamchuk, gratefully acknowledges that the results presented in this article were achieved during a research stay in Slovakia supported by the National Scholarship Programme of the Slovak Republic (NSP), ID 57381.

Bibliography

Романко В.О., Дудинська А.Т. Акарицидна дія фтористого судьфурилу. *Науковий прогрес та інновації.* 2025. Т. 28, №. 3. С. 91–97. DOI: https://doi.org/10.31210/spi2025.28.03.15

Технологічні вимоги до проведення селекційно-племінної роботи в галузі бджільництва: наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 19 черв. 2015 р. № 234. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0810-15#Text дата звернення: 26.03.2024).

Abbar S., Schilling W., & Phillips T. Time–Mortality Relationships to Control *Tyrophagus putrescentiae* (Sarcoptiformes: Acaridae) Exposed to High and Low Temperatures. *Journal of Economic Entomology*. 2016. Vol. 109, Is. 5. P. 2215–2220. DOI: https://doi.org/10.1093/jee/tow159

Athanassiou Ch., Rumbos Ch., Agrafioti P., Sakka M. Acaricidal Effect of Zeolite and Kaolin Against *Tyrophagus putrescentiae* on Wheat. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, Is. 4. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy15040799

Boukouvala M., Filintas C., Kavallieratos N. Acaricidal efficacy of diatomaceous earths on different Life Stages of *Acarus siro* L. and *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank). *Insects*. 2025. Vol. 16, Is. 7. DOI: https://doi.org/10.3390/insects16070693

Bowman C. Variation in the trophic morphology of *Astigmatid mites* common in UK beehives. *Proceedings of the 9th Symposium of the EurAAc, Bari, July, 12th–15th*. 2023. Vol. 63. P. 4–16. DOI: https://doi.org/10.24349/z9n6-u3t3

Dudynska A., Adamchuk L., Romanko V., Dudynskyi T. Density *Carpoglyphus lactis* in honey during storage. *Ukrainian Science Hub Journal*. 2025, Vol. 1, №. 2. DOI: https://doi.org/10.64378/iriush.journals.2025.2.3

Dudynska A.T., Romanko V.O., Dudynsky T.T., Karabiniuk M.M., Zhovnerchuk O.V. Species Diversity and Distribution of Synanthropic Acarid Mites (Acariformes, Acaridia) in Transcarpathia. *Zoodiversity*. 2023. Vol. 57, №. 4. P. 283–292. DOI: https://doi.org/10.15407/zoo2023.04.283

Gullan P. J., Cranston P. S. The Insects: An Outline of Entomology. 5th ed. Wiley-Blackwell, 2014. 627 p. [Електронний ресурс]. https://www.researchgate.net/profile/Peter-Cranston/publication/340428529_The_Insects_An_Outline_of_Entomology_Gullan_and_Cranston_5th_edition_2014_file_name_-_G-C_The_Insectsproof/links/614ffb28d2ebba7be74b2253/The-Insects-An-Outline-of-Entomology-Gullan-and-Cranston-5th-edition-2014-file-name-G-C-The-Insectsproof.pdf (дата звернення: 18.01.2026)

Hasan Md., Aikins M., Schilling W., Phillips T. Comparison of methyl bromide and phosphine for fumigation of *Necrobia rufipes* (Coleoptera: Cleridae) and *Tyrophagus putrescentiae* (Sarcoptiformes: Acaridae). Pests of high-value stored products. *Journal of Economic Entomology*. 2019. Vol. 113, Is. 1. P. 1008–1014. DOI: https://doi.org/10.1093/jee/toz319

Hasan Md., Aikins M., Schilling W., Phillips T. Sulfuryl fluoride as a methyl bromide alternative for fumigation of *Necrobia rufipes* (Coleoptera: Cleridae) and *Tyrophagus putrescentiae* (Sarcoptiformes: Acaridae), major pests of animal-based stored products. *Journal of Stored Products Research*. 2021. Vol. 91. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101769

Henszel Ł., Kalisińska E., Kosik-Bogacka D., Kuźna-Grygiel W. Preliminary Studies on Storage Mites in Litter and Animal Fodder Collected from Farm Buildings in Northwestern. *Poland Polish Journal of Environmental Studies*. 2011. Vol. 20, Is. 3. P. 795–800. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/287282301_Preliminary_Studies_on_Storage_Mites (дата звернення: 17.11.2025)

Hubert J. The Pest Importance of Stored Product Mites (Acari: Acaridida). Nova Publisher ISBN: 978-1-61942-086-1. 2012. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/259470810 (дата звернення: 22.11.2025)

Imre M., Morariu S., Oprescu I., Mederle N., Ilie M., Imre K., Florea T., Badea C., Dreghiciu C., Pocinoc A., Varga R., Dărăbuș G. Molecular identification and sequencing of *Varroa destructor* in western Romania. *Romanian Journal of Veterinary Sciences*. 2025. Vol. 58, Is. 1. DOI: https://doi.org/10.59463/rjvs.2025.1.04

Kilic N. Efficacy of dust and wettable powder formulation of Diatomaceous earth (Detech) in the control of *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae). *Insects*. 2022. Vol. 13, Is. 10. DOI: https://doi.org/10.3390/insects13100857

Koç Akpınar R., Sevim A., Sevim E., Kaya S., Türlek Ş.Ö., Aydin C., Karaoğlu Ş.A., Çelik S. N., Bozdeveci A., Güven G., Küçükoğlu B., Yaldız M., Aydın İ. PCR-based detection of the honeybee tracheal mite (*Acarapis woodi*) in Türkiye. *Parasitology Research*. 2023. Vol. 122, Is. 7. P. 1663–1670. DOI: https://doi.org/10.1007/s00436-023-07871-x

Li Ch., Zhan X., Sun E., Zhao J., Wang H., He J., Wang J. The density and species of mite breeding in stored products in China. *Nutr Hosp*. 2015. Vol. 31, Is. 2. P. 798–807. DOI: https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.2.8003

Magurran A. E., Mc Gill B. J. Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment. Oxford: Oxford University Press, 2011. 368 p. [Електронний ресурс]. https://faculty.fiu.edu/~trexlerj/Advanced_Ecology/Gotelli_Colwell.pdf (дата звернення: 29.01.2026)

Nguyen T-T., Yoo M.-S., Lee H.-S., Youn S.-Y., Lee S.-J., Seo S.-K., Kim J., Cho Y.-S. Molecular Identification and Prevalence of the Mite *Carpoglyphus lactis* (Acarina: Carpoglyphidae) in *Apis mellifera* in the Republic of Korea. *Insects*. 2024. Vol. 15, Is. 4. DOI: https://doi.org/10.3390/insects15040271

Oksentiuk Ya.R., Liashevych A.M., Lupaina I.S. Acaridid mite species communities in agricultural and industrial objects of storing and concentration of nutritive substrates in Zhytomyr Polissia. *Zoodiversity*, 2022. Vol. 56, №. 4. 232–330. DOI: https://doi.org/10.15407/zoo2022.04.323

Palyvos N., Emmanoue N., Saitanis C. Mites associated with stored products in Greece. *Experimental and applied acarology*. 2008. Vol. 44, Is. 3. P. 213–226. DOI: https://doi.org/10.1007/s10493-008-9145-y

Philémon P., Kafle L., Joshi R. Field Evaluation of Oxalic Acid Vaporisation for Varroa Mite (V*arroa destructor*) Control in European Honey Bees (*Apis mellifera*) Colonies.

Journal of apicultural science. 2026. Vol. 70, №. 1. DOI: https://doi.org/10.2478/jas-2026-0001

Shrestha M., Wegener J., Gautam I., Singh M., Schwekendiek Ch., Bienefeld K. Individual-Level Comparisons of Honey Bee (Hymenoptera: Apoidea) Hygienic Behavior Towards Brood Infested with *Varroa destructor* (Parasitiformes: Varroidae) or *Tropilaelaps mercedesae* (Mesostigmata: Laelapidae). *Insects*. 2020. Vol. 11, Is. 8. DOI: https://doi.org/10.3390/insects11080510

Zhovnerchuk O.V., Kolodochka L.O., Dudynska A.T., Abrazhevych P.A., Romanko V.O. Ecologo-faunistic review of tetranychid (Acariformes: Tetranychoidea) and phytoseiid mites (Parasitiformes: Phytoseiidae) in the Transcarpathian Region, Ukraine. *Systematic and Applied Acarology,* 2024. Vol. 29, Is. 3. P. 411-433. DOI: https://doi.org/10.11158/saa.29.3.5

References

Romanko, V.O. & Dudynska, A.T. (2025). Akarytsydna diia ftorystoho sudfurylu. [Acaricidal action of fluorinated sudfuryl]. *Naukovyi prohres ta innovatsii, [Scientific progress and innovation],* 28 (3), 91–97. https://doi.org/10.31210/spi2025.28.03.15 [in Ukrainian].

Ministry of Agricultural Policy and Food of Ukraine. (2015). Tekhnolohichni vymohy do provedennia selektsiino-pleminnoi roboty v haluzi bdzhilnytstva [Technological requirements for breeding and selection work in the field of beekeeping] (Order No. 234). [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0810-15#Text (access date 26.03.2024) [in Ukrainian]

Abbar, S., Schilling, W., & Phillips T., (2016). Time-Mortality Relationships to Control *Tyrophagus putrescentiae* (Sarcoptiformes: Acaridae) Exposed to High and Low Temperatures. *Journal of Economic Entomology*, 109 (5), 2215–2220. https://doi.org/10.1093/jee/tow159 [in English]

Athanassiou, Ch., Rumbos, Ch., Agrafioti, P., & Sakka, M. (2025). Acaricidal Effect of Zeolite and Kaolin Against *Tyrophagus putrescentiae* on Wheat. *Agronomy*, 15(4). https://doi.org/10.3390/agronomy15040799 [in English]

Boukouvala, M., Filintas, C., & Kavallieratos, N. (2025). Acaricidal efficacy of diatomaceous earths on different Life Stages of *Acarus siro* L. and *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank). *Insects*, 16 (7). https://doi.org/10.3390/insects16070693 [in English]

Bowman, C. (2023). Variation in the trophic morphology of *Astigmatid mites* common in UK beehives. *Proceedings of the 9th Symposium of the EurAAc, Bari, July, 12th–15th*. 63, 4–16. https://doi.org/10.24349/z9n6-u3t3 [in English]

Dudynska, A., Adamchuk, L., Romanko, V., & Dudynskyi, T. (2025). Density *Carpoglyphus lactis* in honey during storage. *Ukrainian Science Hub Journal*, 1 (2). https://doi.org/10.64378/iriush.journals.2025.2.3 [in English]

Dudynska, A.T., Romanko, V.O., Dudynsky, T.T., Karabiniuk, M.M. & Zhovnerchuk, O.V. (2023). Species Diversity and Distribution of Synanthropic Acarid Mites (Acariformes, Acaridia) in Transcarpathia. *Zoodiversity*, 57(4), 283–292. https://doi.org/10.15407/zoo2023.04.283 [in English]

Gullan, P.J., & Cranston, P.S. (2014). The insects: An outline of entomology (5th ed.). Wiley-Blackwell. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/profile/Peter-Cranston/publication/340428529_The_Insects_An_Outline_of_Entomology_Gullan_and_Cranston_5th_edition_2014_file_name_-_G-C_The_Insectsproof/links/614ffb28d2ebba7be74b2253/The-Insects-An-Outline-of-Entomology-Gullan-and-Cranston-5th-edition-2014-file-name-G-C-The-Insectsproof.pdf (date of application: 18.01.2026) [in English]

Hasan, Md., Aikins, M., Schilling, W., & Phillips, T. (2019). Comparison of methyl bromide and phosphine for fumigation of *Necrobia rufipes* (Coleoptera: Cleridae) and *Tyrophagus putrescentiae* (Sarcoptiformes: Acaridae). Pests of high-value stored products. *Journal of Economic Entomology*, 113 (1), 1008–1014. https://doi.org/10.1093/jee/toz319 [in English]

Hasan, Md., Aikins, M., Schilling, W., & Phillips, T. (2021). Sulfuryl fluoride as a methyl bromide alternative for fumigation of *Necrobia rufipes* (Coleoptera: Cleridae) and *Tyrophagus putrescentiae* (Sarcoptiformes: Acaridae), major pests of animal-based stored products. *Journal of Stored Products Research*, 91. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101769 [in English].

Henszel, Ł., Kalisińska, E., Kosik-Bogacka, D., & Kuźna-Grygiel, W. (2011). Preliminary Studies on Storage Mites in Litter and Animal Fodder Collected from Farm Buildings in Northwestern. *Poland Polish Journal of Environmental Studies*, 20 (3), 795-800. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/287282301_Preliminary_Studies_on_Storage_Mites (access date 17.11.2025) [in English]

Hubert, J. (2012). The Pest Importance of Stored Product Mites (Acari: Acaridida). Nova Publisher ISBN: 978-1-61942-086-1. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/259470810 [in English]

Imre, M., Morariu, S., Oprescu, I., Mederle, N., Ilie, M., Imre, K., Florea, T., Badea, C., Dreghiciu, C., Pocinoc, A., Varga, R. & Dărăbuș, G. (2025). Molecular identification and sequencing of *Varroa destructor* in western Romania. *Romanian Journal of Veterinary Sciences,* 58(1). https://doi.org/10.59463/rjvs.2025.1.04 [in English]

Kilic, N. (2022). Efficacy of dust and wettable powder formulation of Diatomaceous earth (Detech) in the control of *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae). *Insects*, 13(10). https://doi.org/10.3390/insects13100857 [in English]

Koç Akpınar, R., Sevim, A., Sevim, E., Kaya, S., Türlek, Ş.Ö., Aydin, C., Karaoğlu, Ş.A., Çelik, S. N., Bozdeveci, A., Güven, G., Küçükoğlu, B., Yaldız, M., & Aydın, İ. (2023). PCR-based detection of the honeybee tracheal mite (*Acarapis woodi*) in Türkiye. *Parasitology Research*, 122 (7), 1663–1670. https://doi.org/10.1007/s00436-023-07871-x [in English]

Li, Ch., Zhan, X., Sun, E., Zhao, J., Wang, H., He, J., & Wang, J. (2015). The density and species of mite breeding in stored products in China. *Nutr Hosp.*, Vol. 31 (2), 798-807. https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.2.8003 [in English]

Magurran, A. E., & McGill, B. J. (Eds.). (2011). Biological diversity: Frontiers in measurement and assessment. Oxford University Press. [Electronic resource] URL: https://faculty.fiu.edu/~trexlerj/Advanced_Ecology/Gotelli_Colwell.pdf [in English] (date of application: 29.01.2026)

Nguyen, T-T., Yoo, M.-S., Lee, H.-S., Youn, S.-Y., Lee, S.-J., Seo, S.-K., Kim, J., & Cho, Y.-S. (2024). Molecular Identification and Prevalence of the Mite *Carpoglyphus lactis* (Acarina: Carpoglyphidae) in *Apis mellifera* in the Republic of Korea. *Insects*, 15 (4). https://doi.org/10.3390/insects15040271 [in English]

Oksentiuk, Ya.R., Liashevych, A.M., & Lupaina, I.S. (2022). Acaridid mite species communities in agricultural and industrial objects of storing and concentration of nutritive substrates in Zhytomyr Polissia. *Zoodiversity*, 56 (4). 232–330. https://doi.org/10.15407/zoo2022.04.323 [in English]

Palyvos, N., Emmanoue, N. & Saitanis, C. (2008). Mites associated with stored products in Greece. *Experimental and applied acarology*, 44 (3), 213–226. https://doi.org/10.1007/s10493-008-9145-y [in English]

Philémon, P., Kafle, L., & Joshi, R. (2026). Field Evaluation of Oxalic Acid Vaporisation for Varroa Mite (V*arroa destructor*) Control in European Honey Bees (*Apis mellifera*) Colonies. *Journal of apicultural science,* 70(1) https://doi.org/10.2478/jas-2026-0001 [in English]

Shrestha, M., Wegener, J., Gautam, I., Singh, M., Schwekendiek, Ch., & Bienefeld, K. (2020). Individual-Level Comparisons of Honey Bee (Hymenoptera: Apoidea) Hygienic Behavior Towards Brood Infested with *Varroa destructor* (Parasitiformes: Varroidae) or *Tropilaelaps mercedesae* (Mesostigmata: Laelapidae). *Insects*, 11(8) https://doi.org/10.3390/insects11080510 [in English]

Zhovnerchuk O.V., Kolodochka L.O., Dudynska A.T., Abrazhevych P.A. & Romanko V.O. (2024). Ecologo-faunistic review of tetranychid (Acariformes: Tetranychoidea) and phytoseiid mites (Parasitiformes: Phytoseiidae) in the Transcarpathian Region, Ukraine. *Systematic and Applied Acarology,* 29 (3), 411-433. https://doi.org/10.11158/saa.29.3.5 [in English]

Дата першого надходження статті до видання: 13.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

UDC 574.5+523.3
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.27

PLANT COMMUNITIES OF THE *ARTEMISIETEA VULGARIS* IN SPONTANEOUS TERRAFORMING MODELS OF EXTRATERRESTRIAL ECOSYSTEMS

I. V. Khomiak[1]

The article is devoted to the study of the prospects for using plant communities of the class for terraforming isolated extraterrestrial ecosystems. The study aims to determine the functional role of Artemisietea vulgaris vegetation within spontaneous terraforming models of extraterrestrial ecosystems. In accordance with the aim, the following tasks were set: to analyze the ecological spectrum of the Artemisietea vulgaris class vegetation; to establish the place of the plant communities of the class in models of vegetation restoration dynamics on substrates lunar regolith simulants. The materials of the study were standard geobotanical descriptions, based on which the classification of plant communities and synphytoindication analysis were carried out. During the study, it was determined that the Artemisietea vulgaris class vegetation in the territory of Ukrainian Polissya belongs to 2 orders, 5 unions, and 20 associations according to the Brown-Blanquet system classification. The limitation of the plant communities of Artemisietea vulgaris to certain types of habitats is noticeable at the level of unions. Plant communities of the Agropyrion repentis union are adapted to distribution on disturbed substrates with a minimum amount of nutrients. Plant communities of the Arction lappae union are more common in places where anthropogenic accumulation of organic and mineral substances occurs in combination with disturbances that suppress natural vegetation. The least humid ecotopes with the highest continentality indicators are occupied by the vegetation of the Dauco-Melilotion and Onopordion acanthii unions. Plant communities of the Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris union are ruderal forest edges and ecotonic with groups of nitrophiles of the Galio-Urticetea class. According to the data of the synphytoindication analysis, plant communities of the class are formed under conditions of predominance of anthropogenic dynamics over autogenic. The average indicators of the level of anthropogenic transformation range from 9.39 points (Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris union) to 10.30 points (Dauco-Melilotion union), which corresponds to the eugemerob level of anthropotolerance. Modeling by synphytoindication indicators indicates that the vegetation of the Artemisietea vulgaris class can form both on completely disturbed substrates with rock outcrops and on arable land. The next stage of positive autogenic succession will be the stage of shrubs (Rhamno-Prunetea class) or young derived forests (Robinietea class). The course of successions is influenced by edaphic conditions, seed diaspora, and the level of anthropogenic transformation.

Key words: *invasive species, self-restoration of vegetation, space colonization, astroecology, ruderal communities.*

[1] Doctor of Biological Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Ecology and Geography
(Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr)
e-mail: ecosystem_lab@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0080-0019

РОСЛИННІ УГРУПОВАННЯ ARTEMISIETEA VULGARIS У МОДЕЛЯХ СПОНТАННОГО ТЕРАФОРМУВАННЯ ПОЗАЗЕМНИХ ЕКОСИСТЕМ

І. В. Хом'як

Стаття присвячена дослідженню перспектив використання рослинних угруповань класу для тераформування ізольованих позаземних екосистем. Метою дослідження є встановлення місця рослинності класу Artemisietea vulgaris у моделях спонтанного тераформування позаземних екосистем. Відповідно до мети було поставлено такі завдання: здійснити аналіз екологічного спектру рослинності класу Artemisietea vulgaris; встановити місце угруповань класу в моделях динаміки відновлення рослинності на субстратах аналогічних місячному реголіту. Матеріалами дослідження стали стандартні геоботанічні описи, на основі яких здійснювалася класифікація рослинних угруповань та синфітоіндикаційний аналіз. В ході дослідження встановлено, що Рослинність класу Artemisietea vulgaris на території Українського Полісся належить до 2 порядків, 5 союзів та 20 асоціацій згідно із класифікацією за системою Браун-Бланке. Приуроченість угруповань класу Artemisietea vulgaris до певних типів оселищ, помітна на рівні союзів. Рослинні угруповання союзу Agropyrion repentis пристосований до поширення на порушених субстратах із мінімальною кількістю поживних речовин. Рослинні угруповання союзу Arction lappae частіше зустрічається в місцях, де відбувається антропогенне накопичення органічних та мінеральних речовин в поєднанні із порушеннями, які пригнічують природну рослинність. Найменш зволожені екотопи із найвищими показниками континентальності займає рослинність союзів Daico-Melilotion та Onopordion acanthii. Рослинні угруповання союзу Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris є рудеральними узліссями та екотонним із угрупованнями нітрофілів класу Galio-Urticetea. За даними синфітоіндикаційного аналізу рослинні угруповання класу формуються в умовах переважання антропогенної динаміки над автогенною. Середні показники рівня антропогенної трансформації коливаються від 9,39 бала (союз Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris) до 10,30 бала (союз Daico-Melilotion), що відповідає еугемеробному рівню антропотолерантності. Моделювання за синфітоіндикаційним показниками вказує на те, що рослинність класу Artemisietea vulgaris може формуватися, як на повністю порушених субстратах із виходами гірських порід так і на ріллі. Наступною стадією позитивної автогенної сукцесії буде стадія чагарників (клас Rhamno-Prunetea) або молодих похідних лісів (клас Robinietea). На перебіг сукцесій впливають едафічні умови, насіннєва діаспора та рівень антропогенної трансформації.

Ключові слова: *інвазійні види, самовідновлення рослинності, колонізація космосу, астроекологія, рудеральні угруповання.*

Introduction

In the first quarter of the 21st century, humanity is experiencing a new era of space expansion (Ferl & Paul 2010). While in the middle of the 20th century this was driven by the political ambitions of countries that opposed each other in the Cold War, today new reasons and circumstances have emerged (Muszyński-Sulima, 2023). The desire to demonstrate one's technical and financial capabilities as part of ideological superiority has not disappeared (Wahl, 2025). However, more pragmatic goals have also been added to them. First of all, it is about gaining an advantage in control over territories and resources located beyond the borders of the Earth, as well as the technologies that will be used there. We are talking about reserves of Helium-3 (Zwierzyński et al., 2023) and rare chemical elements on the Moon (Przylibski et al., 2025) and asteroids (Trigo-Rodríguez et al., 2025), the placement of production facilities related to microgravity and vacuum, as well as communication and observation systems with permanent bases for their maintenance. All this can become a strategic advantage in the near future (Antony et al., 2025). As the course of the Russian-Ukrainian war shows, some aspects of this process create an undeniable advantage already today. The great powers of the world and their associations have joined the pursuit of leadership in space expansion. These projects are being implemented in the practical plane, both by large space agencies and many private companies (Antony et al., 2026).

All participants in the space race recognize that sooner or later, there will come a point when there will be a need for a permanent presence of people on space stations (Wamelink et al., 2014). This is now a prospect for the coming decades. As part of the «Artemis program», NASA plans not just a landing, but also the creation of a permanent infrastructure (Artemis Base Camp) after 2030. NASA plans rotational missions lasting from several weeks to months, with a gradual transition

to a continuous stay (Angelopoulos, 2011). China (CNSA) and Russia (Roscosmos) plan to populate the International Lunar Research Station (ILRS) after 2035. ESA (European Space Agency) promotes the concept of a «Moon Village», which involves combining the efforts of different countries and private companies to create an open infrastructure for scientific research and commerce after 2030 (Heinicke, & Foing, 2021). Elon Musk's private company SpaceX, as part of the Starship HLS program, plans to create a lunar base «Alpha», which could appear as early as the first half of the 2030s, if the Starship tests are successful. We see from the geography and timing of the ambitious plans of different countries that humanity is dealing with a new wave of the space race, aimed primarily at the permanent presence of man beyond the Earth (Farrell et al., 2024).

Unlike previous waves of interest in space exploration, the current one is characterized by its focus on the permanent operation of maximally autonomous bases (Ellery, 2021). It will not be so much about scientific research as it will be about production and security. This will necessarily lead to the fact that such space bases will acquire the features of some types of terrestrial ecosystems, which will develop according to certain universal laws (Duri et al. 2022). First, to provide many materials for a large number of people, it will be more profitable to grow biomaterials directly on the territory of the base (Gibson, 1977). And second, the flow of people will increase significantly. This will most likely lead to an increase in the transfer of spontaneous biota to the station and the creation of more favorable conditions for its development (Zaets et al., 2011). Every living organism, including humans, is, in fact, a synusial ecosystem. On the one hand, this could create a number of unpleasant incidents, which we observe when moving biota both on the surface of our planet and on the International Space Station. On the other hand, we could use these processes to spontaneously terraform parts of isolated ecosystems of lunar bases (Kozyrovska et al., 2006). Such complexes of organisms could independently transform the regolith substrate into fertile soil, forming certain types of ecosystems on its surface (Keeter, 2025).

Observations of the restoration of disturbed substrates under conditions of significant anthropogenic pressure indicate that a model biosystem for studying such processes can be the vegetation of the class *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. in Tx. ex von Rochow 1951. On the one hand, it is one of the first to settle on completely soilless substrates, and at the same time, it feels good on cultivated soils (Chirilă et al., 2025). On the other hand, it withstands constant anthropogenic pressure well and is often a companion of human movements. And finally, it includes species that can be used for food, serve as technical or medicinal raw materials (Продромус …, 2019).

The aim of the study is to establish the place of the *Artemisietea vulgaris* class vegetation in models of spontaneous terraforming of extraterrestrial ecosystems.

In accordance with the aim, the following tasks were set:

– to carry out an analysis of the ecological spectrum of the Artemisietea vulgaris class vegetation;

– to determine the position of the plant communities of the class in models of the dynamics of vegetation restoration on substrates similar to lunar regolith.

Materials and methods

The materials of the study are standard geobotanical descriptions made by the author on the territory of Ukrainian Polissya in the period from 2004 to 2024. The descriptions were made by the route-expedition method. The area of the plot is 1–4 m². The configuration of the plot was determined by the homogeneity of the physical and geographical characteristics of the substrate surface and the dominant vegetation cover. Most of the plots were square. Along roads, reservoirs, arable land, quarries and buildings, the plots were ribbon-shaped with a width of at least 0.5 m. (Якубенко та ін., 2018).

The collected standard geobotanical descriptions were used to classify plant groups (Hennekens, 2009). Vegetation classification was carried out according to the principles of ecological-floristic classification of the Swiss-French school of Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1964). The vegetation prodrome of Ukraine for 2019 was used to isolate syntaxons and establish their hierarchical relationship (Дубина та ін. 2019). The names of plant species were used in accordance with the amendments given in the checklist for 1999 (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999)

To characterize the factors of the settlement environment, methods of synphytoindication are used. For this purpose, the unified Didukh-Plyuta scale, the databases «ECODID» and «ECODBASE 5C», as well as the 18-point scale of anthropogenic transformation and the

21-point scale of the natural dynamics indicator were also used. The results of the synphytoindication analysis and the model of ecosystem dynamics were obtained using the computer software package «SIMAGRL 1.12» (Khomiak, at al., 2024b).

Results

The vegetation of the *Artemisietea vulgaris* class described during field research in the territory of Ukrainian Polissya belongs to 2 orders, 5 unions, and 20 associations according to the Brown-Blanquet classification system. Its syntaxonomic scheme looks like this: *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951: *Agropyretalia intermedio-repentis* T. Müller et Görs 1969: *Convolvulo arvensis-Agropyrion repentis* Görs 1967: *Agropyretum repentis* Felföldy 1942, *Elytrigio repentis-Lycietum barbarum* Kostylev in Solomakha et al. 1992, *Poo compressae-Tussilaginetum farfarae* R. Tx. 1931; *Onopordetalia acanthii* Br.-Bl. et Tx. ex Klika et Hadač 1944: *Arction lappae* R.Tx 1937: *Arctietum lappae* Felföldy 1942, *Arctio lappae-Artemisietum vulgaris* Oberd. ex Seybold et T. Müller 1972, *Balloto-Malvetum sylvestris* Gutte 1966, *Hyoscyamo nigri-Conietum maculati* Slavnić 1951, *Leonuro-Arctietum* Felföldy 1942, *Sambucetum ebuli* Felföldy 1942; *Dauco-Melilotion* Görs et Rostański et Gutte 1967: *Echio-Verbascetum* Sissingh 1950, *Berteroetum incanae* Sissingh et Tideman ex Sissingh 1950, *Dauco-Picridetum hieracioidis* Görs 1966, *Pastinaco sativae-Daucetum carotae* Kost. in V. Solomakha et al. 1992; *Onopordion acanthii* Br.-Bl et al. 1926: *Artemisio-Echinopsetum sphaerocephali* Eliáš 1979, *Balloto-Artemisietum absinthii* Schubert et Mahn 1959, *Carduo acanthoidis-Onopordetum acanthii* Soó ex Jarolímek et al. 1997, *Onopordetum acanthii* Br.-Bl 1926, *Potentillo argenteae-Artemisietum absinthii* Faliński 1965, *Tanaceto-Artemisietum vulgaris* Br.-Bl (1931) 1949; *Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris* Levon 1997**:** *Beto trigynae-Urticetum dioicae* Levon 1997.

The limitation of these groups to certain types of habitats is clearly visible at the level of orders and alliances. The *Agropyrion repentis* union of the *Agropyretalia intermedio-repentis* order has low resistance to competitors but an original survival strategy on disturbed substrates with a minimum amount of nutrients. The dominant individuals of edificator species in the associations of this union are essentially clones with a high ability to vegetatively reproduce using the rhizome. One part of the individual can be found on a fertile substrate, where it has access to mineral salts but loses the competition for light. The second part of the clone is found on a disturbed substrate deprived of soil. Here, it has no competitors in the struggle for sunlight. It transfers the substances synthesized as a result of photosynthesis to the common rhizome system and, from there, receives most of the water and minerals. Such a strategy makes it a pioneer of disturbed moderately moist substrates poor in mineral nutrition elements.

Plant communities of the order *Onopordetalia acanthii* occupy substrates with fully or partially formed soil. Vegetation of the *Arctium lappae* union is more common in places where anthropogenic accumulation of organic and mineral substances occurs in combination with disturbances that suppress or destroy non-synanthropized vegetation. Usually, these places are suitable for the rapid reproduction of natural vegetation of higher stages of progressive autogenic succession. However, due to one-time or constant anthropogenic intervention, synanthropic species with a high degree of anthropotolerance gain an advantage here.

The vegetation of the *Dauco-Melilotion* union is adapted to exist on poorer soils with lower indicators of the long-term moisture regime. It can be observed on synatropized wastelands, in mining operations, and on dry meadows with a high level of anthropogenic pressure. The vegetation of the *Onopordion acanthii* union is found in even poorer areas. The *Rorippo austriacae-Falcarion* vulgaris union is close to it, which unites xeromesophilic ruderal vegetation of open and moderately shaded habitats. They occur along roadsides, around lawns, in front gardens, and on earth dumps. In the territory of Polissya, they are often associated with slopes of southern exposure along phanerophyte plantations.

Generalized observations of ecotopes occupied by vegetation of the *Artemisietea vulgaris* class are confirmed by the data of synphytoindication (Table 1). We see that the lowest indicators of the long-term moisture regime are observed in the unions of *Dauco-Melilotion* (10.30 points) and *Onopordion acanthii* (10.77 points). At the same time, these unions have the highest indicators of moisture variability – 7.09 and 7.13, respectively. This indicates that in such areas, optimal soil moisture occurs only during the period of precipitation. Other edaphic indicators are relatively the same. The exception is the environment

in which the communities of *Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris* union are found. Due to the fact that the vegetation of this alliance often represents ruderal forest edges, the content of available nitrogen and soil aeration have high values here. This makes such a vegetation union ecotonic with ruderal communities of nitrified nodules of the *Galio-Urticetea* class Passrge et Kopecký 1969 (Béguin, et al., 2025).

For most microclimatic indicators, the unions of the class have relatively similar indicators (Table 2). The continentality indicators for the mesoxerophytic unions *Dauco-Melilotion* (9.04 points) and *Onopordion acanthii* (9.17 points) are clearly high. Due to its nodular status, the vegetation of the union has a clearly lower soil surface illumination – 6.56 points, while in other unions, its average values range from 7.36 to 7.56 points.

According to the synphytoindication analysis, plant communities of the class are formed under conditions of predominance of anthropogenic dynamics over autogenic (natural) (Table 3). The average indicators of the level of anthropogenic transformation range from 9.39 points (*Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris* union) to 10.30 points (*Dauco-Melilotion* union). This corresponds to the euhemerobic level of anthropotolerance. In some cases, the level of anthropogenic transformation dropped to 7.32 points, which corresponds to mesohemerobia. In most unions, it rose above 11 points, which corresponds to the border between euhemerobia and polyhemerobia.

The average values of the natural dynamics index for most unions of the *Artemisietea vulgaris* class are slightly more than 4 points (4.46–4.97 points). Naturally, in the edge union *Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris*, this index is almost twice as high and equals 7.34 points. Such values for the first case correspond to the stage of positive autogenic succession of grasses and wormwoods, for the second case, to the shrub-grass stage or forest edges and clearings. At the same time, we observe a significant amplitude of fluctuations in these indicators. The pioneer communities of the *Agropyrion repentis* union have the least value (2.75 points) and the largest ones of the *Arction lappae* union (9.69 points). The amplitude of fluctuations of the dynamics index varies from 0.44 points (the *Rorippo*

Table 1

Average values of edaphic environmental factors for unions of plant communities of the *Artemisietea vulgaris* class. Symbols: HD – long-term moisture regime, FH – moisture variability, RC – acidity, SL – general salt regime, CA – carbonate content, NT – available nitrogen content, AE – soil aeration

Unions of plant communities	**Indicators of environmental factors (in points according to the unified Didukh-Plyuta scale)**						
	HD	**FH**	**RC**	**SL**	**CA**	**NT**	**AE**
Agropyrion repentis	11.21	6.93	7.95	8.18	7.68	6.51	6.76
Arction lappae	11.05	6.80	7.82	7.55	6.96	6.52	6.46
Dauco-Melilotion	10.30	7.09	7.70	7.70	7.44	5.35	6.00
Onopordion acanthii	10.77	7.13	7.65	7.90	6.64	5.88	6.03
Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris	12.02	6.44	8.0	7.55	6.47	8.33	8.09

Table 2

Average values of indicators of microclimatic environmental factors for unions of plant communities of the class *Artemisietea vulgaris*. Symbols: TM – thermalregime, OM – omboregime, KN – continentality, CR – cryoregime, LC – surface illumination

Unions of plant communities	**Indicators of environmental factors (in points according to the unified Didukh-Plyuta scale)**				
	TM	**OM**	**KN**	**CR**	**LC**
Agropyrion repentis	8.52	11.27	8.80	7.84	7.36
Arction lappae	8.58	12.16	8.80	8.32	7.45
Dauco-Melilotion	8.65	11.50	9.04	8.43	7.56
Onopordion acanthii	8.38	12.01	9.17	7.97	7.56
Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris	8.48	12.25	8.47	8.36	6.56

austriacae-Falcarion vulgaris union) to 6.54 points (the *Arction lappae* union). The high amplitude of the natural dynamics index in the union is due to edaphic conditions close to the climacteric optimum. Due to this, woody vegetation is rapidly formed here, although the blocks of diagnostic species still belong to the class *Artemisietea vulgaris* and the union *Arction lappae*

Such high maximum values of the natural dynamics index indicate that the next stage of succession with *Artemisietea vulgaris* class vegetation will be the stage of shrubs (*Rhamno-Prunetea* Rivas Goday et Borja Carbonell ex Tüxen 1962) and young derived forests (*Robinietea* Jurco class ex Hadac et Sofron 1980). Which communities will form here will depend on edaphic and orographic conditions, the level of anthropogenic transformation, and the seed diaspora or seed bank formed before the disturbance of the vegetation cover of this area.

Modeling by synphytoindicative indices indicates that the vegetation of the *Agropyrion repentis* union can form both on completely disturbed substrates with rock outcrops and on arable land. At low anthropogenic transformation indices, they will transition to classical meadows, and at high, to communities of their own class but with higher indices of natural dynamics. On rich, moderately moist soils, this will be a transition to the *Arction lappae* union. On dry or poor soils, a short-term transition to the *Dauco-Melilotion or Onopordion acanthii* union is possible. These alliances, depending on the presence of seed diaspora and the level of anthropogenic transformation, can transition to communities of the *Rhamno-Prunetea* class and young *Robinietea* class. If the level of anthropogenic transformation is high, then the probability of the formation of communities of the order *Chelidonio-Robinietalia pseudoacaciae* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 (class *Robinietea*) increases. If there are secondary forests nearby and the level of anthropogenic transformation is low, then these will be communities of the order *Sambucetalia racemosae* Oberd. ex Doing 1962 (class *Robinietea*). In the territory of Polissya, shrub vegetation of the class *Rhamno-Prunetea* Rivas Goday et Borja Carbonell ex Tüxen 1962 is occasionally formed on the slopes of the southern exposure with gray forest soils.

Discussion

The plant communities of the class can play both positive and negative roles in isolated extraterrestrial ecosystems. They are resistant to suboptimal edaphic conditions, some of them are capable of vegetative propagation, which is important for microgravity conditions, and are highly productive in terms of phytomass and have high reproductive potential. Their seeds can remain viable for 5-10 years. Typical species of these groups germinate well on lunar regolith simulators. In some experiments with the cultivation of cultivated plants on a lunar regolith simulator, spontaneous penetration of individual representatives of the flora of this class was observed (Paul et al., 2022). Also, these species tolerate moderately strong anthropogenic impact well and are synanthropic companions of the movement of people and goods. On the

Table 3

Indicators of ecosystem dynamics for unions of plant communities of the class Artemisietea vulgaris. Symbols: HE – unified indicator of anthropogenic transformation of ecosystems, ST – indicator of natural ecosystem dynamics.

Unions of plant communities	**Indicators of ecosystem dynamics (in points according to the Didukh-Khomiak scale)**					
	HE			**ST**		
	average	**minimum**	**maximum**	**average**	**minimum**	**maximum**
Agropyrion repentis	10.06	8.82	11.28	4.57	2.75	7.95
Arction lappae	9.69	7.32	11.17	4.97	3.15	9.69
Dauco-Melilotion	10.30	8.71	11.40	4.46	3.28	5.71
Onopordion acanthii	9.76	7.90	11.25	4.76	3.70	7.16
Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris	9.39	9.11	9.67	7.34	7.12	7.56

one hand, we will have a classes of ecosystem with several useful services for us, and on the other hand, the risks of introducing harmful weeds into crop plantations (Fackrell et al., 2024).

The vast majority of characteristic species can be used for food or as biomedical supplements. Some of them are a source of fiber, starch, and nectar. For example, the vegetation of the Echio-Verbascetum association in terrestrial conditions can yield up to 200 kg of honey from one hectare. In conditions of limited diet and shortages of medical drugs, such plant communities can have a positive effect on the settlers of extraterrestrial bases. Proven therapeutic effects have medicines created on the basis of plant raw materials from *Artemisia absinthium* L., *Urtica dioica* L., *Tussilago farfara* L., *Melilotus officinalis* (L.) Lam., *Tanacetum vulgare* L., *Achillea millefolium* L., *Elymus repens* (L.) Gould. This allows us to obtain, at the same time, communities with high terraforming potential, which will independently transform the regolith into fertile soil, and at the same time, a source of a large number of substances necessary for the settlers.

Given that planetary terraforming will require a large amount of resources and energy, humanity will face a dilemma during space expansion (Khomiak et al., 2024a). It is an analogue of the "golden rule of mechanics". We can populate the surface of the planet with the simplest extremophiles, and then its terraforming will stretch for tens or even hundreds of millions of years (Coleine et al., 2025). Or we can transfer huge resources to such a planet and use a large amount of energy to accelerate the terraforming process. In order to obtain such technologies, it is also necessary to spend a lot of time and resources. The way out of the situation is seen in the use of growing areas of partially isolated ecosystems. They will not only be comfortable for human communities to live and work, but also changes in the atmosphere and soil will occur. Carbon dioxide will constantly enter such ecosystems from the external environment, and oxygen will leave. In parallel, the transformation of regolith into fertile soil will occur. The higher the biomass productivity of such a system, the faster the rate of transformation of the planet into a habitable one for humans. However, creating conditions for such highly productive communities also requires time and resources. The *Artemisietea vulgaris* class community can independently carry out the preparatory mission without increased human assistance.

At the same time, they will carry the risk of contamination of plantations of cultivated species with many weeds. Since the use of herbicides in isolated ecosystems carries high risks, when planning the use of groups of this class for the first stage of terraforming, it is necessary to take into account the threats that they may carry. Also, along with groups of this class, invasive species transformers can penetrate. Some of them (*Ambrosia artemisiifolia* L., *Heracleum sosnowskyi* Manden and probably *Solidago canadensis* L.) may pose a threat to the development of natural ecosystems, human life, and health (Khomiak, 2025).

Conclusions

The vegetation of the *Artemisietea vulgaris* class in the territory of Ukrainian Polissya belongs to 2 orders, 5 unions, and 20 associations according to the Brown-Blanquet classification system.

The limitation of the *Artemisietea vulgaris* class communities to certain types of habitats is noticeable at the level of the unions. Plant groups of the *Agropyrion rep*entis union are adapted to spread on disturbed substrates with a minimum amount of nutrients. Plant groups of the *Arction lappae* union are more common in places where there is anthropogenic accumulation of organic and mineral substances in combination with disturbances that suppress natural vegetation. The least humid ecotopes with the highest continentality indicators are occupied by the vegetation of the *Dauco-Melilotion* and *Onopordion acanthii* unions. Plant groups of the *Rorippo austriacae-Falcarion vulgaris* union are ruderal forest edges and ecotonic with groups of nitrophiles of the *Galio-Urticetea* class.

According to the synphytoindication analysis, plant communities of the class are formed under conditions of predominance of anthropogenic dynamics over autogenic. The average indicators of the level of anthropogenic transformation range from 9.39 points (*Rorippo austriacae-Falcarion* vulgaris union) to 10.30 points (*Dauco-Melilotion* union), which corresponds to the euhemeric level of anthropotolerance.

Modeling by synphytoindication indicators indicates that the vegetation of the *Artemisietea vulgaris* class can form both on completely disturbed substrates with rock outcrops and on arable land. The next stage of positive autogenic succession will be the stage

of shrubs (*Rhamno-Prunetea* class) or young derived forests (*Robinietea* class). The course of successions is influenced by edaphic conditions, seed diaspora, and the level of anthropogenic transformation.

Artemisietea vulgaris vegetation communities may provide a number of ecosystem services in isolated extraterrestrial settlements and for the first stages of terraforming on colonized planets.

Bibliography

Angelopoulos V. The ARTEMIS mission. *Space science reviews*. 2011. Vol. 165, No 1. P. 3–25.

Antony Jose S., Jackson J., Foster J., Silva T., Markham E., Menezes P. L. Assessing the metal and rare earth element mining potential of undifferentiated asteroids through the study of carbonaceous chondrites. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2026. Vol. 545. No 1. P. 1902. https://doi.org/10.1093/mnras/staf1902

Antony Jose S., Jackson J., Foster J., Silva T., Markham E., Menezes P. L. In-space manufacturing: technologies, challenges, and future horizons. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2025. Vol. 9. No 3. P. 84. https://doi.org/10.1115/IMECE2025-166146

Béguin C., Di Maio E., Theurillat J. P. The nitrophilous vegetation of rock shelters on limestone in the Haut-Jura (Ain, France) in a European context. *Tuexenia*. 2025. Vol. 45. P. 185–212. https://doi.org/ 10.14471/2025.45.008

Braun-Blanquet J. Grundzüge der Vegetationskund. *Pflanzensoziologie*. / ed. by J. Braun-Blanquet. Berlin: Verlag von Julius Springer, 1964. 865 p.

Chirilă S. D., Bănescu A., Trifanov C., Doroftei M., & Covaliov S. Vegetation, hydrological, and morphological dynamics of natural islands in the Danube Delta. *Hacquetia*. 2025. Vol. 24. No 2. P. 1–12. https://doi.org/10.3986/hacq-2025-0019

Coleine C., Delgado-Baquerizo M., Rosado A. S., Zerboni A. The role of extremophile microbiomes in terraforming Mars. *Communications Biology*. 2025. Vol. 8. No 1. P. 1588. https://doi.org/10.1038/s42003-025-08973-1

Duri L. G., Caporale A. G., Rouphael Y., Vingiani S., Palladino M., De Pascale S., Adamo, P. The potential for lunar and martian regolith simulants to sustain plant growth: a multidisciplinary overview. *Frontiers in Astronomy and Space Sc*iences. 2022. Vol. 8. P. 747821. https://doi.org/10.3389/fspas.2021.747821.

Ellery A. Supplementing closed ecological life support systems with in-situ resources on the moon. *Life*. 2021. Vol. 11. No 8. P. 770. https://doi.org/10.3390/life11080770.

Fackrell L. E., Humphrey S., Loureiro R., Palmer A. G., Long-Fox, J. Overview and recommendations for research on plants and microbes in regolith-based agriculture. *Sustainable Agriculture*. 2024. Vol. 2. No 1. P. 15. https://doi.org/10.1038/s44204-024-00109-7.

Farrell W. M., Prem P., Hurley D. M., Tucker O. J., & Killen R. M. Possible anthropogenic contributions to the LAMP-observed surficial icy regolith within lunar polar craters: a comparison of apollo and starship landings. *The Planetary Science Journal*. 2024. Vol. 5. No 5. P. 105. https://doi.org/10.3847/PSJ/ad37f5

Ferl R. J., Paul A. L. Lunar Plant Biology – A Review of the Apollo Era. *Astrobiology*. 2010. Vol. 10. P. 261–274. https://doi.org/10.1089/ast.2009.0416.

Gibson E. K. Volatile elements, carbon, nitrogen, sulfur, sodium, potassium and rubidium in the lunar regolith. *Physics and Chemistry of the Earth*. 1977. Vol. X. P. 57–62.

Heinicke C., Foing B. A. Human habitats: prospects for infrastructure supporting astronomy from the Moon. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2021. Vol. 379. P. 2188. https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0568

Hennekens S. M. TURBOVEG for Windows. Version 2 / ed. S. M. Hennekens. Wageningen: Inst. voor Bos en Natur, 2009. 96 pp.

Keeter B. Scientists grow plants in lunar soil / NASA (National Aeronautics and Space Administration). 2025. [Electronic resource]. URL: https://www.nasa.gov/feature/biological-physical/scientists-grow-plants-in-soil-from-the-moon (access date: 15.03.2026).

Khomiak I. V. Prospects and risks of using lunar regolith to form isolated ecosystems. *Український журнал природничих наук*. 2025. No 14. С. 270–278. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.25.

Khomiak I. V., Onyshchuk I. P., Vasylenko O. M. Theoretical basis of classification of terraforming methods. *Екологічні науки*. 2024a. No 4(55). P. 234–237. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.38

Khomiak I., Harbar O., Kostiuk V., Demchuk N., Vasylenko O. Synphytoindication models of the anthropogenic transformation of ecosystems. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*. 2024b. Vol. 33. No 1. P. 65–77. https://doi.org/110.20302/NC.2024.1.5

Kozyrovska N. O., Lutvynenko T. L., Korniichuk O. S., Kovalchuk M. V., Voznyuk T. M. Kordium V. A. Growing pioneer plants for a lunar base. *Advances in Space Research*. 2006. Vol. 37. P. 93–99. https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.07.085.

Krijnen W. H. J. Verwoert M. R. Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants. *PLOS One*. 2014. Vol. 9. N 8. e103138. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103138.

Mosyakin S. L., Fedoronchuk M. M. Vascular Plants of Ukraine: a Nomenclatural checklist. Kiev, 1999. 345 p.

Muszyński-Sulima W. Cold War in space: reconnaissance satellites and US-Soviet security competition. *European journal of American studies*. 2023. Vol. 18. P. 18–20. https://doi.org/10.4000/ejas.20427

Paul A. L., Smith D. P., Gigis P. J., Ferl J. B. Ferl R. L. Plants grown in Apollo lunar regolith present stress-associated transcriptomes that inform prospects for lunar exploration. *Communications Biology*. 2022. Vol. 5. No 1. P. 1–9. https://doi.org/10.1038/s42003-022-03513-z.

Przylibski T. A., Szczęśniewicz M., Blutstein K. Potential mineral resources of the Moon. *Geological Quarterly*. 2025. Vol. 69. P. 2–15. https://doi.org/10.7306/gq.1804

Wahl M. The Militarization of Space: The Cold War and the Space Race. Newport: Salve Regina University, 2025. 80 p.

Zaets I., Burlak O., Rogutskyy I., Vasilenkoa A., Mytrokhyn O., et al. Bioaugmentation in growing plants for lunar bases. *Advances in Space Research*. 2011. Vol. 47. P. 1071–1078. https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.05.011.

Zwierzyński, A. J., Ciążela, J., Boroń, P., Binkowska, W. Lunar Cold Microtraps as Future Source of Raw Materials. *Business and Technological Perspective. Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. N 24. P. 13030. https://doi.org/10.3390/app132413030

Якубенко Б. Є., Попович С.Ю., Устименко П.М., Дубина Д.В.,Чурилов А.М. Геоботаніка: методичні аспекти досліджень. Днпро : Ліра-к, 2018. 316 с.

Продромус рослинності України / за ред. Д. В. Дубина та Т.П. Дзюба, Київ : Наукова думка, 2019. 784 с.

References

Angelopoulos, V. (2011). The ARTEMIS mission. *Space Science Reviews*, 165(1), 3–25. [in English].

Antony Jose, S., Jackson, J., Foster, J., Silva, T., Markham, E., & Menezes, P. L. (2026). Assessing the metal and rare earth element mining potential of undifferentiated asteroids through the study of carbonaceous chondrites. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 545(1), 1902. https://doi.org/10.1093/mnras/staf1902 [in English].

Antony Jose, S., Jackson, J., Foster, J., Silva, T., Markham, E., & Menezes, P. L. (2025). In-space manufacturing: Technologies, challenges, and future horizons. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9(3), 84. https://doi.org/10.1115/IMECE2025-166146 [in English].

Béguin, C., Di Maio, E., & Theurillat, J. P. (2025). The nitrophilous vegetation of rock shelters on limestone in the Haut-Jura (Ain, France) in a European context. *Tuexenia*, 45, 185–212. https://doi.org/10.14471/2025.45.008 [in English].

Braun-Blanquet, J. (1964). Grundzüge der Vegetationskund. In J. Braun-Blanquet (Ed.), *Pflanzensoziologie* (865 p.). Verlag von Julius Springer. [in German].

Chirilă, S. D., Bănescu, A., Trifanov, C., Doroftei, M., & Covaliov, S. (2025). Vegetation, hydrological, and morphological dynamics of natural islands in the Danube Delta. *Hacquetia*, 24(2), 1–12. https://doi.org/10.3986/hacq-2025-0019 [in English].

Coleine, C., Delgado-Baquerizo, M., Rosado, A. S., & Zerboni, A. (2025). The role of extremophile microbiomes in terraforming Mars. *Communications Biology*, 8(1), 1588. https://doi.org/10.1038/s42003-025-08973-1 [in English].

Duri, L. G., Caporale, A. G., Rouphael, Y., Vingiani, S., Palladino, M., De Pascale, S., & Adamo, P. (2022). The potential for lunar and martian regolith simulants to sustain plant growth: A multidisciplinary overview. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 8, 747821. https://doi.org/10.3389/fspas.2021.747821 [in English].

Ellery, A. (2021). Supplementing closed ecological life support systems with in-situ resources on the moon. *Life*, 11(8), 770. https://doi.org/10.3390/life11080770 [in English].

Fackrell, L. E., Humphrey, S., Loureiro, R., Palmer, A. G., & Long-Fox, J. (2024). Overview and recommendations for research on plants and microbes in regolith-based agriculture. *Sustainable Agriculture*, 2(1), 15. https://doi.org/10.1038/s44204-024-00109-7 [in English].

Farrell, W. M., Prem, P., Hurley, D. M., Tucker, O. J., & Killen, R. M. (2024). Possible anthropogenic contributions to the LAMP-observed surficial icy regolith within lunar polar craters: A comparison of Apollo and Starship landings. *The Planetary Science Journal*, 5(5), 105. https://doi.org/10.3847/PSJ/ad37f5 [in English].

Ferl, R. J., & Paul, A. L. (2010). Lunar plant biology – A review of the Apollo era. *Astrobiology*, 10(3), 261–274. https://doi.org/10.1089/ast.2009.0416 [in English].

Gibson, E. K. (1977). Volatile elements, carbon, nitrogen, sulfur, sodium, potassium and rubidium in the lunar regolith. *Physics and Chemistry of the Earth*, 10, 57–62. [in English].

Heinicke, C., & Foing, B. A. (2021). Human habitats: Prospects for infrastructure supporting astronomy from the Moon. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379(2188), 20190568. https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0568 [in English].

Hennekens, S. M. (Ed.). (2009). TURBOVEG for Windows (Version 2, 96 pp.). Inst. voor Bos en Natur. [in English].

Keeter, B. (2025). Scientists grow plants in lunar soil. NASA (National Aeronautics and Space Administration). https://www.nasa.gov/feature/biological-physical/scientists-grow-plants-in-soil-from-the-moon [in English].

Khomiak, I. V. (2025). Prospects and risks of using lunar regolith to form isolated ecosystems. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, (14), 270–278. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.25 [in English].

Khomiak, I. V., Onyshchuk, I. P., & Vasylenko, O. M. (2024a). Theoretical basis of classification of terraforming methods. *Ecological Sciences*, (4[55]), 234–237. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.38 [in English].

Khomiak, I. V., Harbar, O., Kostiuk, V., Demchuk, N., & Vasylenko, O. (2024b). Synphytoindication models of the anthropogenic transformation of ecosystems. *Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici*, 33(1), 65–77. https://doi.org/110.20302/NC.2024.1.5 [in English].

Kozyrovska, N. O., Lutvynenko, T. L., Korniichuk, O. S., Kovalchuk, M. V., Voznyuk, T. M., & Kordium, V. A. (2006). Growing pioneer plants for a lunar base. *Advances in Space Research*, 37(1), 93–99. https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.07.085 [in English].

Krijnen, W. H. J., & Verwoert, M. R. (2014). Can plants grow on Mars and the Moon: A growth experiment on Mars and Moon soil simulants. *PLOS One*, 9(8), e103138. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103138 [in English].

Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist. M.G. Kholodny Institute of Botany. [in English].

Muszyński-Sulima, W. (2023). Cold War in space: Reconnaissance satellites and US-Soviet security competition. *European Journal of American Studies*, 18(18–20). https://doi.org/10.4000/ejas.20427 [in English].

Paul, A. L., Smith, D. P., Gigis, P. J., Ferl, J. B., & Ferl, R. L. (2022). Plants grown in Apollo lunar regolith present stress-associated transcriptomes that inform prospects for lunar exploration. *Communications Biology*, 5(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/s42003-022-03513-z [in English].

Przylibski, T. A., Szczęśniewicz, M., & Blutstein, K. (2025). Potential mineral resources of the Moon. *Geological Quarterly*, 69, 2–15. https://doi.org/10.7306/gq.1804 [in English].

Wahl, M. (2025). The militarization of space: The Cold War and the Space Race. Salve Regina University. [in English].

Zaets, I., Burlak, O., Rogutskyy, I., Vasilenko, A., Mytrokhyn, O., Lukashov, D., ... & Kozyrovska, N. (2011). Bioaugmentation in growing plants for lunar bases. *Advances in Space Research*, 47(6), 1071–1078. https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.05.011 [in English].

Zwierzyński, A. J., Ciążela, J., Boroń, P., & Binkowska, W. (2023). Lunar cold microtraps as future source of raw materials — business and technological perspective. *Applied Sciences*, 13(24), 13030. https://doi.org/10.3390/app132413030 [in English].

Yakubenko, B. Ie., Popovych, S. Iu., Ustymenko, P. M., Dubyna, D. V., & Churilov, A. M. (2020). Heobotanika: metodychni aspekty doslidzhen [Geobotany: methodological aspects of research]. Dnipro : Lira-к, [in Ukrainian].

Dubyna, D.V., Dziuba, T.P., Yemelianova, S.M., Bahrikova, N.O., Borysova, O.V., Borsukevych, L.M., Vynokurov, D.S., Hapon, S.V., Hapon, Yu.V., Davydov, D.A., Dvoretskyi, T.V., Didukh, Ya.P., Zhmud, O.I., Kozyr, M.S., Konishchuk, V.V., Kuzemko, A.A., Pashkevych, N.A., Ryff, L.E., Solomakha, …& Yakushenko, D.M. (2019). Prodromus roslynnosti Ukrajiny [Prodromus vegetation of Ukraine]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 27.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 581.95
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.28

ПОШИРЕННЯ РАРИТЕТНИХ ВИДІВ СУДИННИХ РОСЛИН У БАСЕЙНІ РІЧКИ СУЛА У МЕЖАХ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

А. П. Вакал[1], Ю. І. Литвиненко[2]

У статті проаналізовано стан популяцій раритетних видів судинних рослин, поширених у басейні р. Сула у межах Сумської області. Актуальність досліджень обумовлена необхідністю інвентаризації видового складу видів рослин, які потребують особливої охорони, що є передумовою їх збереження. У процесі досліджень, які проводилися протягом 1999–2025 років, було встановлено, що угруповання природної рослинності в результаті антропогенного впливу на значних площах території були повністю знищені, а на тих, що залишилися, спостерігається збіднення видового та популяційного різноманіття рослин. У ході проведених досліджень на території басейну р. Сула у межах Сумської області виявлено популяції 22 видів раритетних рослин. Серед них 18 видів занесені до Червоної книги України – Adonis vernalis L., Allium ursinum L., Anacamptis palustris (Jacq.) R.M. Bateman, Pridgeon et M.W. Chase, Astragalus dasyanthus Pall., Bulbocodium versicolor (Ker-Gawl.) Spreng., Dactylorhiza incarnata (L.) Soó, Dactylorhiza majalis (Rchb.) PFHunt & Summerh., Epipactis helleborine (L.) Crantz, Fritillaria meleagroides Patrin ex Schult. & Schult.f., Galanthus nivalis L., Gladiolus imbricatus L., Gladiolus tenuis Baker, Iris pineticola Klokov, Listera ovata (L.) R.Br., Neottia nidus-avis (L.) Rich., Pulsatilla pratensis (L.) Mill., Salvinia natans (L.) All., Stipa capillata L. Чотири види занесені до Резолюції №6 Бернської конвенції і два – до Європейського Червоного списку тварин і рослин, що знаходяться під загрозою зниження у світовому масштабі. Ці рослини можна віднести до категорії особливо цінних для збереження, які потребують захисту і збалансованого використання як самих цих видів, так і комплексу біоценозу на території їх поширення. Проведений аналіз показав, що 8 видів рослин представлені лише однією популяцією, а 6 видів – ростуть за межами території об'єктів природно-заповідного фонду. Для збереження рідкісних представників флори, знайдених у басейні р. Сула на Сумщині, доцільно збільшити площу наявних і створити нові об'єкти природно-заповідного фонду.

Ключові слова: *раритетні види, Бернська конвенція, Європейський Червоний список, Червона книга України, заказник, асоціація, Лівобережний Лісостеп, Україна.*

[1] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та методики навчання біології
(Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, м. Суми)
e-mail: lyntvarivka@gmail.com
ORCID: 0009-0009-9244-1375
[2] кандидат біологічних наук, доцент,
завідувач кафедри біології та методики навчання біології
(Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, м. Суми)
e-mail: lytvynenko@sspu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-9095-0437

DISTRIBUTION OF RARE SPECIES OF VASCULAR PLANTS IN THE SULA RIVER BASIN WITHIN THE BORDERS OF SUMY REGION

A. P. Vakal, Yu. I. Lytvynenko

The article analyzes the state of populations of rare species of vascular plants distributed in the Sula River basin within the Sumy region. The relevance of the research is due to the need to inventory the species composition of plant species that require special protection, which is a prerequisite for their preservation. In the course of research conducted during 1999–2025, it was established that natural vegetation groups as a result of anthropogenic impact on significant areas of the territory were completely destroyed, and on those that remained, there was an impoverishment of species and population diversity of plants. During the research conducted in the Sula River basin within the Sumy region, populations of 22 species of rare plants were identified. Among them, 18 species are listed in the Red Book of Ukraine – Adonis vernalis L., Allium ursinum L., Anacamptis palustris (Jacq.) R.M. Bateman, Pridgeon et M.W. Chase, Astragalus dasyanthus Pall., Bulbocodium versicolor (Ker-Gawl.) Spreng., Dactylorhiza incarnata (L.) Soó, Dactylorhiza majalis (Rchb.) PFHunt & Summerh., Epipactis helleborine (L.) Crantz, Fritillaria meleagroides Patrin ex Schult. & Schult.f., Galanthus nivalis L., Gladiolus imbricatus L., Gladiolus tenuis Baker, Iris pineticola Klokov, Listera ovata (L.) R.Vg., Neottia nidus-avis (L.) Rich., Pulsatilla pratensis (L.) Mill., Salvinia natans (L.) All., Stipa capillata L. Four species are listed in Resolution № 6 of the Bern Convention and two are listed in the European Red List of animals and plants that are under threat of decline on a global scale. These plants can be classified as particularly valuable for conservation, requiring protection and balanced use of both these species themselves and the complex of biocenosis in the territory of their distribution. The analysis showed that 8 plant species are represented by only one population, and 6 species grow outside the territory of the nature reserve fund. To preserve rare representatives of the flora found in the Sula River basin in Sumy region, it is advisable to increase the area of existing and create new objects of the nature reserve fund.

***Key words**: rare species, Bern Convention, European Red List, Red Book of Ukraine, reserve, association, Left-Bank Forest-Steppe, Ukraine.*

Вступ

Антропогенна трансформація довкілля призводить до скорочення біологічного різноманіття, що виражається у безпосередньому знищенні як окремих видів так і природного середовища їх існування. Серед ключових деструктивних чинників виділяють забруднення природного середовища їх існування, фрагментація ареалів, виснажливе використання ресурсів та тиск з боку інвазивних видів. Вплив цих факторів спричиняє зменшення чисельності видів, популяцій, що призводить до фрагментації їх популяцій на окремі локуси, а за умов критичного стану середовища – до її повного зникнення (Kaur, 2018; Birben, 2020).

Інтенсивний антропогенний тиск, що проявляється у безпосередній або прихованій формі, спричиняє деградацію як природних комплексів у цілому, так і їхніх специфічних елементів (Хом'як та ін., 2020). Безвідповідальна господарська діяльність людей, яка є загрозою існування багатьох видів рослин, досягла такого рівня, що стала впливати на глобальні зміни клімату і ставить під загрозу існування самих людей (Буджак і Дідух, 2020; Kovalenko et al., 2022). Тому збереження популяцій раритетних видів рослин є важливим компонентом відновлення усталених екосистем. З огляду на те, що саме склад трав'янисто-чагарникової флори є важливим фактором видового складу природних лісів, збереження популяцій раритетних рослин можуть зіграти в цьому процесі важливу роль (Bondar et al., 2021; Kovalenko, 2021).

Під загрозою вимирання першочергово знаходяться раритетні і ендемічні види, які страждають від втрати середовища існування та фрагментованих популяцій, оскільки мають менші географічні ареали та екологічні ніші (Kougioumoutzis et al., 2020; Вакал, 2024).

Систематизовані дані щодо видового складу, меж поширення та еколого-біологічних параметрів рослинного світу є фундаментом для реалізації природоохоронних стратегій, фітогеографічного аналізу, флористичного районування та моніторингу антропогенного навантаження на довкілля (Kaur, 2018; Van der Plas, 2019; Perles et al., 2022). Регіональні фітоценотичні дослідження дозволяють ідентифікувати рідкісні, ендемічні, інвазивні та види, що є під загрозою зникнення, визначити їх флористичне різноманіття, а також розробляти

науково обґрунтовані рекомендації щодо збереження унікальних природних оселищ (Vimal et al., 2021; Chusova et al., 2022; Скляр та ін., 2025).

Українські науковці наголошують на важливості систематичного обліку флори та оцінки стану збереження видів. Ключовим завданням є картування місцезростань популяцій рослин, особливо раритетних і розширення мережі заповідних територій. Створення спеціальних охоронних зон у місцях зростання зникаючих видів має на меті подолання фрагментації популяцій та забезпечення їхньої цілісності в майбутньому (Вакал, 2024; Устименко та ін., 2019; Bondarieva et al., 2019; Kovalenko et al., 2022; Lohvynenko et al., 2019).

Територія басейну річки Сула в межах Сумської області вирізняється значним біологічним різноманіттям, що зумовлено гармонійним поєднанням лісових, лучних та заболочених ділянок. Завдяки специфіці рельєфу, гідрології та ґрунтових умов, цей регіон зберіг унікальний генофонд природної флори (Карпенко та ін., 1999; Вакал і Карпенко, 2000; Карпенко та ін., 2001; Гончаренко, 2003; Карпенко та ін., 2010; Бондарєва і Кирильчук, 2011). Проте інтенсивний антропогенний вплив, урбанізація та аграрне виробництво спричиняють деградацію довкілля, зменшення природних ареалів та вимирання окремих видів. Це робить комплексне дослідження місцевої рослинності надзвичайно важливим як для фундаментальної науки, так і для практичної екології.

Дослідження, присвячені вивченню рослинного покриву та місць зростання рідкісних видів рослин у басейні р. Сула в межах Сумської області, розпочалися у середині 1990-х років. Вони були зумовлені тим, що розорювання заплав Сули та її приток, а також меліоративні роботи, проведені у 1950–1960-х роках у долинах деяких приток (р. Терн і р. Ромен), спричинили порушення гідрологічного режиму річки, зменшення її водності (Данильченко, 2019). Такі антропогенні зміни призвели до втрати низки видів флори, критично залежних від специфічних умов заплавних лук і боліт.

Незважаючи на відносно тривалий період вивчення рослинного покриву регіону, кількість опублікованих наукових праць, у яких комплексно висвітлено стан рослинності та флори басейну р. Сула, залишається обмеженою. Аналіз наявних наукових публікацій засвідчив, що вивченість рослинності басейну р. Сула має фрагментарний характер. Відомості про рослинний світ цієї території та знахідки рідкісних і зникаючих видів рослин наведено у працях Л. М. Бондарєва та К. С. Кирильчук (Бондарєва і Кирильчук, 2011), А. П. Вакала (Вакал, 2025), А. П. Вакала та К. К. Карпенко (Вакал і Карпенко, 2000), А. П. Вакала та С. В. Мазного (Вакал і Мазний, 2025), І. В. Гончаренко (Гончаренко, 2003). К. К. Карпенко зі співавторами (Карпенко та ін., 1999; Карпенко та ін., 2001; Карпенко та ін., 2010), С. В. Мазного та А. П. Вакала (Мазний і Вакал, 2025), С. Панченко та В. Іванець (Панченко і Іванець, 2019), Природничо-заповідний (Природничо-заповідний …, 2019), О. С. Родінки (Родінка, 1994), Ю. Л. Скляра зі співавторами (Скляр та ін., 2025).

Мета дослідження полягає у вивченні поширення і стану популяцій раритетних видів вищих судинних рослин, які зустрічаються у басейні р. Сула у межах Сумської області.

Матеріал і методи

Річка Сула бере початок на північний схід від с. Сула Сумського району Сумської області та впадає у Кременчуцьке водосховище Дніпра на захід від с. Дем'янівка Кременчуцького району Полтавської області. Загальна довжина р. Сула становить 363 км, в межах Сумської області 152 км, площа водозбору – 19600 км^2 (в межах області – 4440 км^2). Особливістю р. Сули є те, що вона приймає чимало правих приток, тим часом як лівих приток у неї дуже мало, і всі вони надто короткі. Найбільші притоки у межах Сумської області – Бишкінь, Локня, Олава, Ромен, Терн, Хмелівка (Данильченко, 2019).

Згідно з удосконаленою схемою фізико-географічного районування України (Маринич та ін., 2003) територія басейну р. Сула у межах Сумської області належить до Роменсько-Гадяцького фізико-географічного району Північнополтавської височинної області Лівобережнодніпровського краю Лісостепової зони Східноєвропейської рівнини. У системі геоботанічного районування (Дідух і Шеляг-Сосонко, 2003) територія досліджень входить до Полтавського геоботанічного округу липово-дубових, соснових і дубово-соснових лісів, остепнених луків, лучних степів та евтрофних боліт Української лісостепової підпровінції Східноєвропейської лісостепової провінції дубових лісів, остепнених луків і лучних сте-

пів Лісостепової підобласті Євразійської степової області.

Вивчення раритетних видів вищих судинних рослин на території басейну р. Сула здійснювали з використанням теоретичних і практичних методів. Теоретичні методи передбачали аналіз наявних наукових літературних джерел за предметом дослідження з подальшою систематизацією та узагальненням інформації.

Практичні методи включали польові дослідження та камеральну обробку матеріалів. Основу польових матеріалів становлять результати попередніх багаторічних досліджень території басейну р. Сула у межах Сумської області, доповнені додатковим польовим обстеженням, проведеним у 2024–2025 рр. Польові роботи здійснювали переважно маршрутно-діагностичним методом із охопленням всіх біотопів, які характерні для даного району (Якубенко та ін., 2018). Під час досліджень встановлювали загальну кількість раритетних видів рослин, визначали площі ділянок поширення даних видів і їх локацію, кількість ділянок, на яких присутній кожен з охоронюваних видів, і, по можливості, параметри середньої кількості раритетних видів на ділянку в межах середовища існування або проективного покриття.

Під час камеральної обробки для визначення ценотичної належності виявлених видів і рослинних угруповань застосовували методику геоботанічних описів (Якубенко та ін., 2018) з використанням еколого-фітоценотичної класифікації рослинності України (Продромус рослинності …, 2019). Номенклатуру видів подано відповідно до онлайн-бази даних POWO (POWO …, 2026).

Для ідентифікації охоронюваних видів використано дані Резолюції №6 Бернської конвенції (Судинні рослини …, 2016), Європейського Червоного списку тварин і рослин, що знаходяться під загрозою знищення у світовому масштабі (Bilz et al., 2011) та Червоної книги України (Наказ …, 2021).

Результати

Рослинність басейну р. Сула у межах Сумської області представлена як типовими для Лівобережного Лісостепу угрупованнями лісової, лучної, болотної та водної рослинності, так і рідкісними угрупованнями, що потребують особливої охорони.

Угруповання природної рослинності в межах району досліджень зосереджені переважно в долинах та на правих корінних берегах р. Сула та її приток. Фрагментарно вони також представлені на схилах балок.

У листяних лісах, які збереглися на правих берегах р. Сула, Терн, Ромен Бишкінь, Локня, домінуюче положення займають асоціаціями *Fraxineto-Quercetum aegopodiosum (podagrariae)*, *Tilieto-Quercetum caricosum (pilosae)*, *Tilieto-Quercetum aegopodiosum (podagrariae)*, *Tilieto-Acereto-Quercetum coryloso-stellariosum (holosteae), Acereto-Tilieto-Quercetum caricosum (pilosae)-aegopodiosum (podagrariae)* (Вакал і Карпенко, 2000; Вакал і Мазний, 2025). Соснові ліси займають не значні площі, приурочені до першої надзаплавної тераси р. Сула і представлені асоціаціями *Pinetum (silvestris) calamagrostidosum (epigeioris)*, *Pinetum (silvestris) festucosum (ovinae)* (Родінка, 1994).

На схилах балок, які приурочені до правого корінного берегу р. Сула та Ромен, збереглися залишки степової рослинності, які представлені асоціаціями *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiacae)*, *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae)*, *Elytrigietum (repentis) poosum (pratensis)*, *Festucetum (valesiacae) elytrigiosum (repentis)* (Родінка, 1994).

Лучна та болотна рослинність на території досліджень займає значні площі і переважно приурочена до заплави р. Сула і її приток. Більшість лучних угідь знаходяться під значним антропогенним тиском, характеризуються бідним видовим різноманіттям і їх рослинність представлена асоціаціями *Poetum (angustifoliae) elytrigiosum (repentis)*, *Arrhenatheretum (elatii) agrostidosum (tenuis)*, *Festucetum (rubrae) elytrigiosum (repentis)*, *Deschampsietum (caespitosae) poosum (pratensis) Caricetum (cespitosae) deschampsiosum (cespitosae)* (Бондарєва і Кирильчук, 2011; Вакал, 2025; Вакал і Мазний, 2025).

У заплаві р. Сула, Терн, Ромен, Бишкінь, Локня на значних площах збереглися болота і їх рослинність представлена угрупованнями асоціацій *Alnetum (glutinosae) caricosum (caespitosae)*, *Alnetum (glutinosae) dryopteridosum (filix-maris)*, *Caricetum (cespitosae) deschampsietum (caespitosae)*, *Caricetum (cespitosae*) *caricosum (nigrae)*, *Glycerietum (maximae) caricosum (acutae)*, *Phragmitetum (australis) acurosum (caninae)*, *Typhetum (angustifoliae) caricosum (acutae)* (Карпенко та ін., 1999; Вакал, 2025).

Повітряно-водна і водна рослинність зустрічається по берегам і руслу р. Сула, її приток та штучних водойм і серед її угруповань переважають асоціації *Glycerietъ (maximae*) *phragmitosum (australis)*, *Typhetum (angustifoliae) bolboschoenosum (maritimi)*,

Typhetum (latifoliae) caricosum(ripariae), *Elodeetum (canadensis) potamogetosum (acutifolii)*, *Lemnetum minoris purum*. *Spirodeletum (polyrhizae) lemnosum (minoris)* (Карпенко та ін., 1999; Вакал, 2025; Вакал і Мазний, 2025).

Обговорення

За результатами матеріалів польових досліджень та індифікації їх з міжнародними й державними природоохоронними реєстрами, у басейні р. Сула у межах Сумської області виявлено 22 види вищих судинних рослин, серед яких 18 видів включені до Червоної книги України, 4 – до Резолюції №6 Бернської конвенції і 2 – до Європейського Червоного списку тварин і рослин, що знаходяться під загрозою знищення у світовому масштабі. Нижче наводимо характеристики цих видів за охоронним статусом.

В анотованому списку видів прийняті наступні умовні позначення: БЗМЗ – ботанічний заказник місцевого значення, ГЗДЗ – гідрологічний заказник державного значення, ГЗМЗ – гідрологічний заказник місцевого значення, ЛЗК – ландшафтний заказник місцевого значення.

На території досліджень зростає 4 види вищих судинних рослин включених до Резолюції №6 Бернської конвенції – *Iris hungarica* Waldst. & Kit., *Jurinea cyanoides* (L.) Rchb., *Ostericum palustre* (Besser) Besser, *Salvinia natans* (L.) All.

Salvinia natans вид включений до Резолюції №6 Бернської конвенції і Червоної книги України. Виявлений на території ГЗДЗ «Андріяшівсько-Гудимівський» між с. Мельники і Перекопівка у відгалуженні русла р. Сула, асоціація Salvinietum (natantis) *lemnosum (minoris)*, на площі 70 м^2.

Iris hungarica у басейні р. Сула зустрічається у ГЗМЗ «Вовківці», дубовий ліс, асоціація *Quercetum coryloso(avellanae)-caricosum (pilosae)*, на площі 10 м^2 у кількості 9 екземплярів; перша надзаплавна тераса р. Сула, урочище «Великі Будки» Недригайлівського лісництва, кв.116, середньовіковий сосновий ліс, асоціація *Pinetum (sylvestris) calamagrostidosum (epigeioris)*, на площі 100 м^2, 21 екземпляр.

Jurinea cyanoides на території досліджень зростає у соснових лісах першої надзаплавної тераси р. Сула, а саме – на північ від с. Правдюки, асоціація *Pinetum (sylvestris) cladinosum*, на площі 25 м^2, 26 екземплярів; між с. Коровинці і Дігтярівка, асоціація *Pinetum (sylvestris) festucosum (avinae)*, на площі 40 м^2, приблизно 50 екземплярів.

Ostericum palustre у районі досліджень розсіяно трапляється по всій території на вологих та заболочених луках. Виявлений – БЗМЗ «Коровенський», заболочена ділянка на боровій терасі р. Сула, асоціація *Molinietum (caeruleae) caricosum (inflatae)*, на площі 75 м^2, 25 екземплярів; БЗМЗ «Джерельні розсипи», болотисті луки на правому березі р. Сула, асоціація Caricetum (cespitosae) agrostidosum (caninae), на площі 200 м^2, понад 40 екземплярів; ГЗМЗ «Вощилиха», лівий берег заплави р. Сула, асоціація Caricetum (acutiformis) agrostidosum (caninae), на площі 50 м^2, 17 екземплярів; долина р. Терн на північ від с. Болотівка, болотисті луки, асоціації Agrostietum (stoloniferae) caricosum (caespitosae)**,** на площі 120 м^2, приблизно 60 екземплярів; долині р. Сухий Ромен, торф'янисті луки біля с. Малий Самбір, асоціація Agrostidetum (caninae) caricosum (cespitosae), на площі 70 м^2, приблизно 50 екземплярів.

На території басейну р. Сула у межах Сумської області трапляється один вид рослин, який занесений до Європейського Червоного списку і Червоної книги України – *Astragalus dasyanthus* Pall. У басейні р. Сула виявлений на території БЗМЗ «Голубців», на схилі правого берега р. Дригайлиха, асоціація *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae)*, на площі 60 м^2, понад 30 екземплярів; БЗМЗ «Холодниківський», верхня частина схилу балки, асоціація *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae)*, на площі 300 м^2, приблизно 150 екземплярів; схил правого берега р. Сула на схід с. Бобрик, асоціація *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiacae)*, на площі 200 м^2, приблизно 100 екземплярів; біля витоку лівої притоки р. Ромен на південний-схід від с. Косарівщина, асоціація *Elytrigietum (repentis) festucosum (valesiacae)*, на площі 300 м^2, понад 150 екземплярів.

У басейні р. Сула зафіксовано кілька місць зростання *Crataegus ucrainica* Pojark. – виду, що включений до Європейського Червоного списку. Вид зустрічається на схилах балок приурочених до правого корінного берега р. Сула, біля сіл Глинськ, Сурмачівка, Пустовійтівка, Піски; на лівому корінному березі р. Олава, на південний-схід від с. Ярмолинці.

Ю. Л. Скляр зі співавторами у статті опублікованій в 2025 р. згадують про знахідку *Crataegus ucrainica* на території ГЗМЗ «Верхньосульський–2», але без конкретної

прив'язки до його місця зростання (Скляр та ін., 2025).

Нижче наведено інформацію про 16 видів судинних рослин, занесених до Червоної книги України, які ми виявили під час польових досліджень у басейні р. Сула у межах Сумської області (табл. 1).

Необхідно відмітити, що серед 22 виявлених на території району дослідження раритетних видів рослин у найкращому стані збереженості виявились 6 – *Anacamptis palustris*, *Astragalus dasyanthus*, *Crataegus ucrainica*, *Dactylorhiza incarnata*, *Ostericum palustre*, *Stipa capillata*, які були виявлені у п'яти і більше локаціях. У той же час 8 видів – *Allium ursinum*, *Fritillaria meleagroides*, *Galanthus nivalis*, *Gladiolus tenuis*, *Iris pineticola*, *Listera ovata*, *Neottia nidus-avis*, *Salvinia natans* перебувають під загрозою зникнення, оскільки представлені лише однією локальною популяцією з низькою чисельністю особин.

У басейні р. Сула у межах Сумської області виявлені рослинні угруповання занесені до Зеленої книги України (Зелена книга ..., 2009) – формації звичайнодубових лісів (*Querceta roboris*) з домінуванням у травостої цибулі ведмежої (*Allium ursinum*), формації ковили волосистої (*Stipeta capillatae*), формації латаття білого (*Nymphaeeta albae*). формації глечиків жовтих (*Nuphareta luteae*).

Таким чином, у басейні р. Сула зосереджені цінні у созологічному відношенні види та рослинні угруповання, що зумовлює його стратегічне значення для підтримання біологічного розманіття регіону.

Таблиця 1

Характеристика включених до Червоної книги України видів судинних рослин і їх локалітетів у басейні р. Сула

Місця знахідок виду в басейні р. Сула	**Характеристики середовища локалітетів виду**	**Площа знайдених локалітетів, кількість екземплярів**
Adonis vernalis L.		
1. Біля с. Рогінці, на схилі лівого корінного берега р. Ромен. 2. БЗМЗ «Дубинський», схил правого берега р. Локня.	1. Лучний степ, асоціація *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiacae).* 2. Лучний степ, асоціація *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae).*	1. 10000 м^2, понад 300 екземплярів. 2. 5000 м^2, приблизно 150 екземплярів.
3. Між с. Веселий Степ і Губське, на схилі балки.	3. Лучний степ, асоціація *Elytrigietum (repentis) poosum (pratensis).*	3. 15000 м^2, понад 300 екземплярів.
Allium ursinum L.		
Урочище «Великі Будки», Недригайлівське лісництво, кв. 116.	Листяний ліс, асоціації *Acereto-Quercetum alliosum (ursini), Fraxineto-Quercetum alliosum (ursini).*	350 м^2, приблизно 3 000 екземплярів.
Anacamptis palustris (Jacq.) R.M. Bateman, Pridgeon et M.W. Chase		
1. На захід від с. Москалівка, ГЗДЗ «Біловодський». 2. На північний захід від с. Гудими, ГЗДЗ «Андріяшівсько-Гудимівський». 3. На північ від с. Коровинці, ГЗМЗ «Недригайлівський». 4. Заплава р. Локня, БЗМЗ «Громадська дума».	1. Сирі луки, асоціація *Molinietum (caeruleae) caricosum (inflatae).* 2. Сирі луки, асоціація *Molinietum (caeruleae) caricosum (inflatae).* 3. Торф'янисті луки, асоціація *Deschampsietum (cespitosae) caricosum (cespitosae).* 4. Торф'янисті луки, асоціація *Deschampsietum (cespitosae) poosum (pratensis).*	1. 25 м^2, 16 екземплярів. 2. 10 м^2, 12 екземплярів. 3. 15 м^2, 21 екземпляр. 4. 20 м^2, 26 екземплярів.
Bulbocodium versicolor (Ker-Gawl.) Spreng.		
1. ЛЗМЗ «Дібрівка». 2. Західна околиця с. Сакуниха, на схилі правого берега струмка – лівої притоки р. Сула.	1. Лучний степ, асоціація *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae).* 2. Лучний степ, асоціація *Elytrigietum (repentis) festucosum (pratensis).*	1. 200 м^2, понад 100 екземплярів. 2. 80 м^2, приблизно 50 екземплярів.
Dactylorhiza incarnata (L.) Soó		
1. На північ від с. Верхосулка, ГЗМЗ «Верхньосульський».	1. Торф'янисті луки, асоціація *Caricetum (nigrae) deschampsiosum (cespitosae).*	1. 60 м^2, 46 екземплярів.

Продовження таблиці 1

2. Північно-східна околиця с. Зеленківка, ГЗМЗ «Верхньосульський». 3. На північний захід від с. Зеленківка, ГЗМЗ «Верхньосульський». 4. На південний захід від с. Вільшана. заплава р. Сула. 5. Північна околиця с. Березняки, ГЗМЗ «Недригайліський». 6. На північний схід від с. Коровинці, ГЗМЗ «Недригайліський». 7. На північ від с. Біловод, лівий берег заплави р. Сула. 8. На південь від с. Гудими, ГЗДЗ «Андріяшівсько-Гудимівський» 9. На південний схід від с. Жуківка, ГЗМЗ «Тернівський». 10. На північний захід від с. Хомінці, БЗМЗ «Громадська думка». 11. Між селами Сурмачівка і Глинськ, БЗМЗ «Сурмачівський». 12. На південь від с. Правдюки, БЗМЗ «Коровинський».	2. Вологі луки, асоціація асоціації C*aricetum (nigrae) deschampsiosum (cespitosae).* 3. Торф'янисті луки, асоціація *Caricetum (nigrae) deschampsiosum (cespitosae).* 4. Вологі луки, асоціація *Deschampsietum (caespitosae) poosum (pratensis).* 5. Болотисті луки, асоціація *Caricetum (acutiformis) caricosum (acutae).* 6. Торф'янисті луки, асоціація *Deschampsietum (caespitosae) agrostidosum (cananie).* 7. Торф'янисті луки, асоціація *Caricetum (nigrae) deschampsiosum (cespitosae).* 8. Торф'янисті луки, асоціація *Caricetum (acutiformis) agrostidosum (stoloniferae).* 9. Болотисті луки, асоціація *Caricetum (cespitosae*) *poosum (palustris).* 10. Болотисті луки, асоціація *Caricetum (cespitosae) deschampsiosum (cespitosae).* 11. Торф'янисті луки, асоціація *Caricetum (nigrae) deschampsiosum (cespitosae).* 12.Торф'янисті луки, асоціація *Caricetum (cespitosae*) *caricosum (nigrae).*	2. 100 м^2, приблизно 70 екземплярів. 3. 120 м^2, приблизно 60 екземплярів. 4. 150 м^2, понад 50 екземплярів. 5. 30 м^2, 27 екземплярів. 6. 50 м^2, 30 екземплярів. 7. 25 м^2, 26 екземплярів. 8. 50 м^2, приблизно 18 екземплярів. 9. 80 м^2, приблизно 70 екземплярів. 10. 50 м^2, приблизно 40 екземплярів. 11. 100 м^2, 37 екземплярів. 12. 250 м^2, приблизно 80 екземплярів.
13. На південний схід від с. Вощилиха, ЛЗМЗ «Вошилиха». 14. На північний захід від с. Малий Самбір, долина р. Сухий Ромен. 15. Між с. Овлаші і Московщина, днище балки. 16. На північ від с. Болотівка.	13. Торф'янисті луки, асоціація *Deschampsietum (caespitosae) agrostidosum (cananie).* 14. Вологі луки, асоціація *Deschampsietum (caespitosae) poosum (pratensis).* 15. Болотисті луки, асоціація *Caricetum (cespitosae) deschampsiosum (cespitosae).* 16. Осушена ділянка трав'яного болота асоціація *Deschampsietum (caespitosae) festucosum (pratensis).*	13. 200 м^2, понад 50 екземплярів. 14. 300 м^2, понад 70 екземплярів. 15. 40 м^2, 22 екземпляри. 16. 140 м^2, приблизно 100 екземплярів.
Dactylorhiza majalis (Rchb.) PFHunt & Summerh.		
1. На північний схід від с. Зеленківка, ГЗМЗ «Верхньосульський». 2. На захід від с. Москалівка, ГЗДЗ «Біловодський». 3. На північ від с. Болотівка. 4. Між с. Овлаші і Москалівщина, на днищі балки.	1. Вологі луки, асоціація *Deschampsietum (caespitosae) agrostidosum (cananie).* 2. Вологі луки, асоціація *Deschampsietum (caespitosae) poosum (pratensis).* 3. Болотисті луки, асоціація *Caricetum (nigrae) deschampsiosum (cespitosae).* 4. Вологі луки, асоціація *Deschampsietum (caespitosae) poosum (pratensis).*	1. 70 м^2, приблизно 40 екземплярів. 2. 25 м^2, 24 екземпляри. 3. 100 м^2, понад 30 екземплярів. 4. 25 м^2, 14 екземплярів.
Epipactis helleborine (L.) Crantz		
1. Між с. Холодний Яр і Дремове. 2. На північ від с. Бобрик, БЗМЗ «Засулля».	1, Дубовий ліс, асоціація *Quercetum aegopodiosum (podagrariae).* 2. Листяний ліс, асоціація *Betuleta (pendulae) calamagrostidosum (epigeioris).*	1. 30 м^2, 19 екземплярів. 2. 10 м^2, 6 екземплярів.

Продовження таблиці 1

3. На північ від с. Хустянка, урочище «Гусаків гай». 4. Східна околиця с. Косарівщина,	3. Старий дубовий ліс, асоціація *Quercetum aegopodiosum (podagrariae).* 4. Листяний ліс, асоціація *Salicetum (albae) calamagrostidosum (epigeioris)*	3. 150 м^2, 22 екземпляри. 4. 40 м^2, 11 екземплярів.
Fritillaria meleagroides Patrin ex Schult. & Schult.f.		
Заплава р. Локня, БЗМЗ «Громадська думка».	Вологі луки, асоціація *Poetum (angustifoliae) elytrigiosum (repentis).*	15 м^2, 9 екземплярів.
Galanthus nivalis L.		
На схід від с. Волошівка.	Дубовий ліс, асоціація *Quercetum coryloso (avellanae) caricosum (pilosae).*	150 м^2, понад 80 екземплярів.
Gladiolus imbricatus L.		
1. На південь від с. Хмелів, БЗМЗ «Хмелівський». 2. Між с. Молодівка, Хустянка, Шкуматове, урочище «Гусаків гай».	1. Вологі луки, асоціація *Poetum (angustifoliae) elytrigiosum (repentis).* 2. На узліссі діброви, асоціація *Poetum (angustifoliae) festucosum (valesiacae).*	1. 75 м^2, приблизно 50 екземплярів. 2. 250 м^2, приблизно 100 екземплярів.
Gladiolus tenuis Baker		
На північний схід від с. Хоминці, БЗМЗ «Громадська думка».	Вологі луки, асоціація *Arrhenatheretum (elatii) agrostidosum (tenuis).*	200 м^2, понад 120 екземплярів.
Iris pineticola Klokov		
Урочище «Великі Будки», Недригайлівське лісництво, кв. 111.	Сосновий ліс, асоціація *Pinetum (sylvestris) calamagrostidoso (canescentis).*	50 м^2, 16 екземплярів.
Listera ovata (L.) R.Br.		
На захід від с. Коржі, ГЗМЗ «Коржівський».	Волога діброва, асоціація *Fraxineto-Quercetum urticosum (dioicae).*	30 м^2, 11 екземплярів.
Neottia nidus-avis (L.) Rich.		
Між с. Сурмачівка і Глинськ, долина р. Сула.	Старий сосновий ліс, асоціація *Pinetum calamagrostidosum (epigeioris).*	50 м^2, 15 екземплярів.
Pulsatilla pratensis (L.) Mill.		
1.Схил балки, між с. Веселий Степ і Губське. 2. На південь від с. Дубина, БЗМЗ «Дубинський». 3. Урочище «Великі Будки», Недригайлівське лісництво, кв. 111. 4. На схід від с. Дубина, БЗМЗ «Громадська думка».	1. Лучний степ, асоціація *Elytrigietum (repentis) poosum (pratensis).* 2. Лучний степ, асоціація *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae).* 3. Галявина соснового лісу, асоціація *Festucetum (valesiacae) elytrigiosum (repentis).* 4. Остепнені луки, асоціація *Elytrigietum (repentis) festucosum (valesiacae).*	1. 15 м^2, 11 екземплярів. 2. 30 м^2, понад 25 екземплярів. 3. 10 м^2, 12 екземплярів. 4. 20 м^2, 18 екземплярів.
Stipa capillata L.		
1. Лівий берег р. Ромен, на південний схід від с. Рогінці. 2. Схил балки, на північ від с. Малі Бубни. 3. На південь від с. Дубина, БЗМЗ «Дубинський». 4. На північний захід від с. Бобрик, балка на лівому березі р. Сула. 5. На схід від с. Косарівщина, у районі витоку безіменної притоки р. Ромен.	1. Лучний степ, асоціація *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae).* 2. Лучний степ, асоціація *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiacae).* 3. Лучний степ, асоціація *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae).* 4. Лучний степ, асоціація *Stipetum (capillatae) poosum (angustifoliae).* 5.Лучний степ, асоціація *Stipetum(capillatae) festucosum (valesiacae).*	1. 8000 м^2, понад 3000 екземплярів. 2. 2500 м^2, понад 5000 екземплярів. 3. 7000 м^2, понад 2000 екземплярів. 4. 2000 м^2, приблизно 300 екземплярів. 5. 1000 м^2, приблизно 250 екземплярів.

Висновки

Інтенсивний антропогенний вплив на природні комплекси басейну р. Сула спричинив критичну вразливість окремих представників флори. Найбільше постраждали види, чиє виживання зумовлене не лише абіотичними чинниками, а й стабільністю сформованих рослинних угруповань.

Дослідження фіторізноманіття та поширення раритетних видів судинних рослин на території басейну р. Сула у межах Сумської області дозволило зафіксувати та описати локалітети 22 видів вищих судинних рослин, серед яких 18 видів включені до Червоної книги України, 4 – до Резолюції №6 Бернської конвенції і 2 – до Європейського Червоного списку тварин і рослин, що знаходяться під загрозою знищення у світовому масштабі. Аналіз стану їх охорони засвідчив, що 6 видів – ростуть за межами території об'єктів природно-заповідного фонду, а 8 видів – представлені лише однією популяцією, що створює реальні ризики для їхнього збереження.

Для детального аналізу особливостей трансформації природних екосистем басейну р. Сула необхідно продовжити моніторингові дослідження, спрямовані на вивчення його біологічного різноманіття. Виявлення нових оселищ рідкісних представників флори дозволить впровадити систему територіального контролю за станом їхніх популяцій, а також посилити заходи із забезпеченням режимів охорони та активізувати еколого-просвітницьку діяльність серед населення.

Оскільки долина р. Сула відіграє роль важливого екологічного коридору, що сприяє біологічному обміну та сполучає ключові природні території, доцільним вбачається підвищення охоронного статусу цієї території. Оптимальним кроком стане об'єднання наявних у її басейні природно-заповідних об'єктів у єдиний національний природний парк.

Список використаної літератури

Бондарєва Л.М., Кирильчук К.С. Порівняльний аналіз флори заплавних лук р. Сули та р. Псел. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Агрономія та біологія*. 2011. 21, № 4. С. 8–11.

Буджак В.В., Дідух Я.П. Синфітоіндикаційна оцінка оселищ рослин Червоної книги України та ризиків їхніх втрат під впливом кліматогенних змін. Геоботаніка, екологія, охорона рослинного світу. *Український ботанічний журнал.* 2020. Т. 77. № 6. С. 434–453. https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.06.434

Вакал А.П. Раритетні види рослин території басейну річки Псел у межах Сумського геоботанічного округу. *Біологічні науки та освіта в контексті євроінтеграції* : наукова монографія. Рига, Латвія : Baltija Publishing, 2024. С. 82–113. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-443-6-5.

Вакал А. Фіторізноманіття басейну річки Ромен у межах території Роменського району Сумської області. *Innovations in science: current research and advanced technologies* : Scientific monograph. Part 1. Riga, Latvia : Baltija Publishing. 2025. P. 285–309. ISBN: 978-9934-26-531-0. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-531-0-11

Вакал А.П., Карпенко К.К. Рослинність Хмелівського та Борозенківського ботанічних заказників. *Біологічні науки* : зб. наук. праць. Суми: Редакційно-видавничий відділ СДПУ, 2000. С. 54–61.

Вакал А.П., Мазний С.В. Рослинність гідрологічного заказника місцевого значення «Верхньосульський» (Сумська область, Україна). *Progressive Approaches in Science and Engineering*: 2nd International Scientific and Practical Conference (November 26–28). Copenhagen, Denmark, 2025. P. 121–125. https://doi.org/10.70286/isu-26.11.2025

Гончаренко І.В. Аналіз рослинного покриву північно-східної частини Лісостепу України. Київ : Фітосоціоцентр, 2003. 203 с.

Данильченко О.С. Річкові басейни Сумської області : геоекологічний аналіз : монографія. Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2019. 271 с. [Електронний ресурс]. URL: https://www.academia.edu/143554003 (дата звернення 19.03.2026).

Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал.* 2003. Т. 60, № 1. С. 6–17.

Зелена книга України / під заг. ред. Я. П. Дідуха. Київ: Альтерпрес, 2009. 448 с.

Карпенко К.К., Тюленєва В.О., Вакал А.П., Родінка О.С., Книш М. П., Кравченко В.М. Гідрологічні заказники в заплаві р. Сула на Сумщині. *Стан природного середовища та проблеми його охорони на Сумщині.* Кн. 3. Суми : Джерело, 1999. С. 86–98.

Карпенко К.К., Родінка О.С., Вакал А.П., Панченко С.М. Рослини, занесені до Червоної книги України, що виявлені на території Сумської області. *Стан природного середовища та проблеми його охорони на Сумщині.* Кн. 5. Суми : Джерело, 2001. С. 7–43.

Карпенко К.К., Родінка О.С., Вакал А.П. Раритетні види судинних рослин басейну р. Сула на Сумщині. *Природничі науки* : зб. наук. праць. Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка,

2010. С. 37–42. [Електронний ресурс]. URL: https://repository.sspu.edu.ua/server/api/core/bitstreams (дата звернення 19.03.2026).

Мазний С.В., Вакал А.П. Рослинність гідрологічного заказника місцевого значення «Верхньосульський–2» (Сумська область). *Актуальні проблеми дослідження довкілля* : мат. XI Міжнар. наук. конф. (22-23 травня 2025 р., Суми). Суми : Сум ДПУ імені А. С. Макаренка, 2025. С. 194–199.

Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М., Шищенко П.Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. *Український географічний журнал.* 2003. Вип. 1. С. 16–21.

Панченко С., Іванець В. 50 рідкісних рослин Сумщини. Атлас-довідник. Чернівці, 2019. 64 с.

Природничо-заповідний фонд Сумської області. Атлас-довідник / уклад. Р. В. Бойченко, В. В. Вертель, О. Ю. Карлюкова та ін. Київ : ТОВ «Українська Картографічна Група», 2019. 96 с.

Продромус рослинності України / Д. В. Дубина, Т. П. Дзюба, С. М. Ємельянова та ін.; НАН України, Ін-т ботаніки ім. М.Г. Холодного. Київ : Наукова думка, 2019. 782 с.

Наказ №111 від 15.02.2021 Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження переліків видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ), та видів рослин та грибів, що виключені з Червоної книги України (рослинний світ)» [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21 (дата звернення: 19.03.2026).

Родінка О.С. До збереження природної рослинності басейну річки Сули. *Заповідна справа на Сумщині* : тези доповідей наук. конф. Суми: Сум ДПІ ім. А. С. Макаренка, 1994. С. 61–63.

Скляр Ю.Л., Троценко В.І., Псарьов В.В. Стан фіторізноманіття гідрологічних заказників Садівської територіальної громади Сумського району. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Агрономія та біологія.* 2025. 58, № 4. 110–118. https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.4.16

Судинні рослини Смарагдової мережі України під охороною Бернської конвенції / кол. авт. ; за ред. В.А. Соломахи. Київ, 2016. 152 с.

Устименко П.М., Попович С.Ю., Дубина Д.В. Сучасні тенденції динаміки раритетних фітоценозів України та зміна парадигми абсолютної заповідності. *Український ботанічний журнал.* 2019. Т. 76. № 5. С. 434–444. https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.05.434

Хом'як І.В., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Гарбар О.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю. Методологічні підходи до створення інтегрованого синфітоіндикаційного показника антропогенної трансформації. *Екологічні науки.* 2020. Т. 1, № 5 (32). С. 136–141. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.19

Якубенко Б.Є., Попович С.І., Устименко П.М., Дубина Д.В., Чурілов А.М. Геоботаніка : методичні аспекти досліджень. Навчальний посібник. Київ : Ліра-К, 2018. 316 с.

Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. European Red List of Vascular Plants / M. Bilz et al. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2011. 130 p. https://doi.org/10.2779/8515

Birben Ü. The effectiveness of protected areas in biodiversity conservation: the case of Turkey. *Cerne*. 2020. Vol. 25, №4. P. 424–438. https://doi.org/10.1590/01047760201925042644

Bondar O., Adamenko O., Korobkova H., Hryn Y., Tsytsiura N., Zaiarna O., Halahan O., Chalaya O., Pavlushenko Ye., Stankevych S., Matsyura A. Forest species diversity in river watersheds of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2021. Vol. 11, Issue 3. P. 79–85. https://doi.org/10.15421/2021_146

Bondarieva L.M., Kyrylchuk K.S., Skliar, V.H., Tykhonova O.M., Zhatova, H.O., Bashtovyi M.G. Population dynamics of the typical meadow species in the conditions of pasture digression in flooded meadows. *Ukrainian Journal of Ecology*/. 2019. Vol. 9, № 2. P. 204–211.

Chusova O.O., Shyriaieva D.V., Budzhak V.V., Chorney I.I., Dziuba T.P., Iemelianova S.M., Kucher O.O., Moysiyenko I.I., Tokariuk A.I., Vasheniak Iu.A., Vynokurov D.S., Boyko M.F., Khodosovtsev O.Ye., Kuzemko A.A. Protected species in grassland habitats of Ukraine. *Український ботанічний журнал.* 2022. Т. 79, № 5. С. 290–307. https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.05.290

Kaur A. Conservation of Plant Biodiversity Current Strategies and Future Needs. *International Journal of Scientific Research in Biological Sciences.* 2018. Vol. 5. № 4. P. 109–113. [Electronic resource] URL: https://ijsrbs.isroset.org/index.php/j/article/view/86 (дата звернення 17.03.2026).

Kougioumoutzis, K., Kokkoris, I.P., Panitsa, M., Trigas, P., Strid, A., Dimopoulos, P. 2020. Plant Diversity Patterns and Conservation Implications under Climate-Change Scenarios in the Mediterranean: The Case of Crete (Aegean, Greece). *Diversity*. 2020. 1 Vol. 2. № 7. 270. https://doi.org/ 10.3390/d12070270

Kovalenko I.M. Forest ecosystems of the North-East of Ukraine in the context of global and regional antropogenesis. *Effects of pollution and climate change on the ecosystem components* / Ed. Y.V. Lykholat. Praha: OktanPrint, 2021. P. 40–69. https://doi.org/10.46489/EOPACC-1204211

Kovalenko I., Butenko S., Zhezhkun A., Porokhniach I., Abduraimov O., Klymenko H. Trends in the transformation of plant ontogenesis under global climate warming. Agraarteadus: *Journal of Agricultural Science.* 2022. Vol. 33. № 2. P. 410–417. https://doi.org/10.15159/jas.22.27

Lohvynenko I.P., Lyko S.M., Trochymchuk I.M., Portukhay O.I., Glinska S.O. Structure of some rare flora species populations in conditions of Volhynian Upland. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2019. Vol. 9. Issue 1. P. 102–114.

Perles S., Fotinos T., Raskin E.M. Strategies for long-term monitoring of riverscour plant communities to inform science-based management. *Natural Areas Journal.* 2022. Vol. 42. № 3. P. 177–184. https://doi.org/10.3375/21-22

POWO. Plants of the world online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. [Електронний ресурс] URL: https://powo.science.kew.org (дата звернення: 20.03.2026).

Van der Plas F. Biodiversity and ecosystem functioning in naturally assembled communities. *Biological Reviews.* 2019. Vol. 94 № 4. P. 1220–1245. https://doi.org/10.1111/brv.12499

Vimal R., Navarro L.M., Jones Y., Wolf F., Le Moguédec G., Réjou-Méchain M. The global distribution of protected areas management strategies and their complementarity for biodiversity conservation. *Biological Conservation.* 2021. 256, 109014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109014

References

Bondaryeva, L.M., Kyryl'chuk, K.S. (2011). Porivnyal'nyy analiz flory zaplavnykh luk r. Suly ta r. Psel [Comparative analysis of the flora of floodplain meadows of the Sula and Psel rivers]. *Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Ahronomiya ta biolohiya [Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Agronomy and Biology]*, 21 (4), 8–11 [in Ukrainian].

Budzhak, V.V. & Didukh, Ya.P. (2020). Synfitoindykatsiyna otsinka oselyshch roslyn Chervonoyi knyhy Ukrayiny ta ryzykiv yikhnikh vtrat pid vplyvom klimatohennykh zmin. Heobotanika, ekolohiia, okhorona roslynnoho svitu [Synphytoindication evaluation of habitats of plant species listed in the Red Data Book of Ukraine and habitat risk assessment under the impact of climate change]. *Ukrayinskyy botanichnyy zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 77 (6), 434–453. https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.06.434 [in Ukrainian].

Vakal, A.P. (2024). Rarytetni vydy roslyn terytoriyi baseynu richky Psel u mezhakh Sumskoho heobotanichnoho okruhu [Rare plant species of the Psel River basin within the Sumy geo *Biolohichni nauky ta osvita v konteksti yevrointehratsiyi: naukova monohrafiya [Biological sciences and education in the context of European integration: Scientific monograph]*botanical district]. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 82–113. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-443-6-5 [in Ukrainian].

Vakal, A. (2025). Fitoriznomanittya baseynu richky Romen u mezhakh terytoriyi Romens'koho rayonu Sums'koyi oblasti [Phytodiversity of the Romen River Basin within the territory of Romen district of Sumy region]. *Innovations in science: current research and advanced technologies* : Scientific monograph. Part 1. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 285–309. ISBN: 978-9934-26-531-0. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-531-0-11 [in Ukrainian].

Vakal, A.P., Karpenko, K.K. (2000). Roslynnist' Khmelivs'koho ta Borozenkivs'koho botanichnykh zakaznykiv [Vegetation of Khmeliv and Borozenkiv botanical reserves]. *Biolohichni nauky [Biological sciences]* : zb. nauk. prats'. Sumy: Redaktsiyno-vydavnychyy viddil SDPU, 54–61 [in Ukrainian].

Vakal, A.P., Maznyy, S.V. (2025). Roslynnist' hidrolohichnoho zakaznyka mistsevoho znachennya «Verkhn'osul's'kyy» (Sums'ka oblast', Ukrayina) [Vegetation of the hydrological reserve of local importance "Verkhnyosulsky" (Sumy region, Ukraine)]. Progressive Approaches in Science and Engineering : 2nd International Scientific and Practical Conference (November 26–28). Copenhagen, Denmark, 121–125. https://doi.org/10.70286/isu-26.11.2025 [in Ukrainian].

Honcharenko, I.V. Analiz roslynnoho pokryvu pivnichno-skhidnoyi chastyny Lisostepu Ukrayiny [Analysis of the vegetation cover of the northeastern part of the Forest-Steppe of Ukraine]. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2003. p. 203 [in Ukrainian].

Danylchenko, O.S. (2019). Richkovi baseyny Sumskoyi oblasti : heoekolohichnyy analiz : monohrafiya [River basins of Sumy region: geoecological analysis: monograph]. Sumy : SumDPU imeni A. S. Makarenka, p. 271. [Electronic resource] URL: https://www.academia.edu/143554003 (access date 19.03.2026) [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P., & Shelyag-Sosonko, Yu.R. (2003). Heobotanichne raionuvannia Ukrainy ta sumizhnykh terytorii [Geobotanical zoning of Ukraine and adjusting territories]. *Ukrayinskyy botanichnyy zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 60 (1), 6–17 [in Ukrainian].

Zelena knyha Ukrayiny (2009). [The Green Data Book of Ukraine] / Ed. Ya.P. Didukh. Kyiv: Alterpress, p. 448 [in Ukrainian].

Karpenko, K.K., Tyulenyeva, V.O., Vakal, A.P., Rodinka, O.S., Knysh, M. P., & Kravchenko V.M. (1999). Hidrolohichni zakaznyky v zaplavi r. Sula na Sumshchyni [Hydrological reserves in the floodplain of the Sula River in Sumy Region]. *Stan pryrodnoho seredovyshcha ta problemy yoho okhorony na Sumshchyni [State of the natural environment and problems of its protection in Sumy Region]*. Kn. 3. Sumy : Dzherelo, 86–98 [in Ukrainian].

Karpenko, K.K., Rodinka, O.S., Vakal, A.P., & Panchenko, S.M. (2001). Roslyny, zaneseni do Chervonoyi knyhy Ukrayiny, shcho vyyavleni na terytoriyi Sums'koyi oblasti [Plants listed in the Red Book of Ukraine, found in the territory of Sumy region]. *Stan pryrodnoho seredovyshcha ta problemy yoho okhorony na Sumshchyni [State of the natural environment and problems of its protection in Sumy region]*. Kn. 5. Sumy : Dzherelo, 7–43 [in Ukrainian].

Karpenko, K.K., Rodinka, O.S., & Vakal, A.P. (2010). Rarytetni vydy sudynnykh roslyn baseynu r. Sula na Sumshchyni [Rare species of vascular plants of the Sula River basin in Sumy region]. *Pryrodnychi nauky [Natural sciences]* : zb. nauk. prats'. Sumy : SumDPU imeni A. S. Makarenka, 37–42. [Electronic resource] URL: https://repository.sspu.edu.ua/server/api/core/bitstreams (access date 17.03.2026) [in Ukrainian].

Maznyy, S.V., Vakal, A.P. (2025). Roslynnist' hidrolohichnoho zakaznyka mistsevoho znachennya «Verkhn'osul's'kyy–2» (Sums'ka oblast') [Vegetation of the hydrological reserve of local importance "Verkhnyosulskyi–2" (Sumy region)]. *Aktual'ni problemy doslidzhennya dovkillya [Current problems of environmental research]* : mat. KHI Mizhnar. nauk. konf. (22-23 travnya 2025 r., Sumy). Sumy : Sum DPU imeni A. S. Makarenka, 194–199 [in Ukrainian].

Marynych, O.M., Parkhomenko, H.O., Petrenko, O.M., & Shyshchenko, P.H. (2003). Udoskonalena skhema fizyko-heohrafichnoho raionuvannia Ukrainy [Improved scheme of physical and geographical zoning of Ukraine]. *Ukrayinskyy heohrafichnyy zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 1, 16–20 [in Ukrainian].

Panchenko, S., & Ivanets, V. (2019). 50 ridkisnykh roslyn Sumshchyny. Atlas-dovidnyk [50 rare plants of Sumy region. Atlas-handbook]. Chernivtsi, p. 64 [in Ukrainian].

Pryrodnycho-zapovidnyy fond Sums'koyi oblasti. Atlas-dovidnyk. (2019). [Nature Reserve Fund of Sumy Region. Atlas-guide] / uklad. R. V. Boychenko, V. V. Vertel', O. YU. Karlyukova ta in. Kyyiv : TOV «Ukrayins'ka Kartohrafichna Hrupa», p. 96 [in Ukrainian].

Prodromus roslynnosti Ukrainy. (2019). [Prodrome of the vegetation of Ukraine] / D.V. Dubyna, T.P. Dziuba, S.M. Yemelianova et al. Kyiv: Naukova dumka, p. 782 [in Ukrainian].

Nakaz №111 vid 15.02.2021 Ministerstva zakhystu dovkillya ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny «Pro zatverdzhennya perelikiv vydiv roslyn ta hrybiv, shcho zanosyat'sya do Chervonoyi knyhy Ukrayiny (roslynnyy svit), ta vydiv roslyn ta hrybiv, shcho vyklyucheni z Chervonoyi knyhy Ukrayiny (roslynnyy svit)» [Order №.111 of 02.15.2021 of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine "On approval of lists of plant species and fungi included in the Red Book of Ukraine (flora) and plant species and fungi excluded from the Red Book of Ukraine (flora)]. [Electronic resource]: URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21 (access date 19.03.2026) [in Ukrainian].

Rodinka, O.S. (1994). Do zberezhennya pryrodnoyi roslynnosti baseynu richky Suly [To the preservation of natural vegetation in the Sula River basin]. *Zapovidna sprava na Sumshchyni [Protected areas in the Sumy region]* : tezy dopovidey nauk. konf. Sumy: Sum DPI im. A. S. Makarenka, 61–63 [in Ukrainian].

Sklyar, YU.L., Trotsenko, V.I., & Psar'ov, V.V. (2025). Stan fitoriznomanittya hidrolohichnykh zakaznykiv Sadivs'koyi terytorial'noyi hromady Sums'koho rayonu [The state of phytodiversity of hydrological reserves of the Sadiv territorial community of Sumy district]. *Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Ahronomiya ta biolohiya [Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Agronomy and Biology]*, 58 (4), 110–118. https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.4.16 [in Ukrainian].

Sudynni roslyny Smarahdovoyi merezhi Ukrayiny pid okhoronoyu Berns'koyi konventsiyi (2016). [Vascular plants of the Emerald Network of Ukraine under the protection of the Bern Convention] / kol. avt. ; za red. V.A. Solomakhy. Kyiv, p. 152 [in Ukrainian].

Ustymenko, P.M., Popovych, S.Yu., & Dubyna, D.V. (2019). Suchasni tendentsiyi dynamiky raritetnykh fitotsenoziv Ukrayiny ta zmina paradyhmy absolyutnoyi zapovidnosti [Current trends in the dynamics of rare phytocoenoses in Ukraine and modification of the concept of absolute conservation]. *Ukrayinskyy botanichnyy zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 76 (5), 434–444. https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.05.434 [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., Vasylenko, O.M., Harbar, D.A., Andriichuk, T.V., Kostiuk, V.S., Vlasenko, R.P., Shpakovska, L.V., Demchuk, N.S., Harbar, O.V., Onyshchuk, I.P., & Kotsiuba, I.Iu. (2020). Metodolohichni pidkhody do stvorennia intehrovanoho synfitoindykatsiinoho pokaznyka antropohennoi transformatsii [Methodological approaches to the creation of an integrated synphyto-indicative indicator of anthropogenic transformation]. *Ekolohichni nauky [Ecological sciences]*, 5 (32), 1, 136–141. https://doi.org 10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.19 [in Ukrainian].

Yakubenko, B.Ye., Popovych, S.I., Ustymenko, P.M., Dubyna, D.V., & Churilov, A.M. (2018). Heobotanika : metodychni aspekty doslidzhen. Navchalnyi posibnyk [Geobotany: methodological aspects of research. Study guide]. Kyiv : Lira-K, p. 316 [in Ukrainian].

Bilz M., Kell S.P., Maxted N., & Lansdown R.V. (2011). European Red List of Vascular Plants / M. Bilz et al. Luxembourg : Publications Office of the European Union, p. 130. https://doi.org/10.2779/8515 [in English].

Birben, Ü. (2020). The effectiveness of protected areas in biodiversity conservation: the case of Turkey. *Cerne*, 25 (4), 424–438. DOI: https://doi.org/10.1590/01047760201925042644 [in English].

Bondar, O., Adamenko, O., Korobkova, H., Hryn, Y., Tsytsiura, N., Zaiarna, O., Halahan, O., Chalaya, O., Pavlushenko, Ye., Stankevych, S., & Matsyura, A. (2021). Forest species diversity in river watersheds of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (3). 79–85. https://doi.org/10.15421/2021_146 [in English].

Bondarieva, L.M., Kyrylchuk, K.S., Skliar, V.H., Tykhonova, O.M., Zhatova, H.O., & Bashtovyi, M. G. (2019). Population dynamics of the typical meadow species in the conditions of pasture digression in flooded meadows. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (2), 204–211 [in English].

Chusova, O.O., Shyriaieva, D.V., Budzhak, V.V., Chorney, I.I., Dziuba, T.P., Iemelianova, S.M., Kucher, O.O., Moysiyenko, I.I., Tokariuk, A.I., Vasheniak, Iu.A., Vynokurov, D.S., Boyko, M.F., Khodosovtsev, O.Ye., & Kuzemko, A.A. (2022). Protected species in grassland habitats of Ukraine. *Ukrainian Botanical Journal*, 79 (5), 290–307. https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.05.290 [in English].

Kaur, A. (2018). Conservation of Plant Biodiversity Current Strategies and Future Needs. *International Journal of Scientific Research in Biological Sciences*, 5 (4), 109–113. [Electronic resource] URL: https://ijsrbs.isroset.org/index.php/j/article/view/86 (access date 17.03.2026) [in English].

Kougioumoutzis, K., Kokkoris, I.P., Panitsa, M., Trigas, P., Strid, A., & Dimopoulos, P. (2020). Plant Diversity Patterns and Conservation Implications under Climate-Change Scenarios in the Mediterranean: The Case of Crete (Aegean, Greece). *Diversity*, 2 (7), 270. https://doi.org/10.3390/d12070270 [in English].

Kovalenko, I., Butenko, S., Zhezhkun, A., Porokhniach, I., Abduraimov, O., & Klymenko, H. (2022). Trends in the transformation of plant ontogenesis under global climate warming. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*, 33 (2), 410–417. https://doi.org/10.15159/jas.22.27 [in English].

Kovalenko, I.M. (2021). *Effects of pollution and climate change on the ecosystem components* / Ed. Y.V. Lykholat. Praha: Oktan Print, 40–69. https://doi.org/10.46489/EOPACC-1204211 [in English].

Lohvynenko, I.P., Lyko, S.M., Trochymchuk, I.M., Portukhay, O.I., & Glinska, S.O. (2019). Structure of some rare flora species populations in conditions of Volhynian Upland. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (1), 102–114 [in English].

Perles, S., Fotinos, T., & Raskin, E. (2022). Strategies for long-term monitoring of riverscour plant communities to inform science-based management. *Natural Areas Journal*, 42(3), 177–184. DOI: https://doi.org/10.3375/21-22 [in English].

POWO. Plants of the world online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. URL: https://powo.science.kew.org (date of application 20.03.2026) [in English].

Van der Plas, F. (2019). Biodiversity and ecosystem functioning in naturally assembled communities. *Biological Reviews*, 94 (4), 1220–1245. https://doi.org/10.1111/brv.12499 [in English].

Vimal, R., Navarro, L.M., Jones, Y., Wolf F., Le Moguédec G., & Réjou-Méchain M. (2021). The global distribution of protected areas management strategies and their complementarity for biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 256, 109014.https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109014 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 24.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 504:34:35
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.29

ЕКОЛОГО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСЬКИХ ГРОМАД В УКРАЇНІ З УРАХУВАННЯМ МІЖНАРОДНОГО ДОСВІДУ

М. В. Геков[1]

У статті проаналізовано екологічно-правові питання впровадження принципів сталого розвитку в містах України, з урахуванням міжнародного досвіду та окремих практик його адаптації на місцевому рівні. Актуальність дослідження зумовлена багатогранними соціальними, екологічними та економічними викликами, що постають перед міськими територіями через інтенсивну урбанізацію, забруднення навколишнього середовища, зміни клімату та нерівномірне економічне зростання. Встановлено, що чинне законодавство України закладає основу для досягнення цілей сталого розвитку, однак його ефективність обмежена фрагментованістю, недостатньою інтеграцією міжнародних норм, обмеженим фінансуванням муніципальних програм та недостатньою участю громадськості.

Метою роботи було науково обґрунтувати напрями вдосконалення правових механізмів реалізації цілей сталого розвитку на рівні міст та сформулювати пропозиції щодо їх покращення з урахуванням міжнародної практики. Для досягнення поставленої мети застосовувались методи системного аналізу, порівняльного правознавства та аналітичного дослідження, а також узагальнення і систематизація нормативно-правових актів України та міжнародних документів, включаючи Цілі сталого розвитку ООН та директиви Європейського Союзу.

Отримані результати свідчать, що світова практика впровадження сталого розвитку у містах характеризується інтегрованим та комплексним підходом, який передбачає поєднання правових положень, стратегічного планування, фінансових заохочень, механізмів участі громади та системи моніторингу досягнення цілей. Українські міста демонструють позитивні зміни у правовому регулюванні, проте потребують вдосконалення фінансових та організаційних механізмів, розвитку системи громадського нагляду та контролю за реалізацією стратегій.

Наукова новизна роботи полягає у всебічному порівняльному аналізі вітчизняного та міжнародного законодавства щодо сталого розвитку міських територій, а також у систематизації ефективних правових інструментів для їх адаптації до українських реалій. Практична цінність полягає у розробці конкретних рекомендацій для законотворців, органів місцевого самоврядування та муніципальних установ щодо покращення екологічно-правового забезпечення впровадження цілей сталого розвитку. Це сприятиме підвищенню екологічної безпеки, соціальної єдності та економічної стабільності міських громад України.

Ключові слова: *сталий розвиток, екологічно-правове регулювання, міські території, законодавство, стратегічне планування, участь громади, екологічна політика.*

[1] аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
e-mail: Maksym.Hekov@mit.khpi.edu.ua
ORCID: 0009-0003-2475-1482

ENVIRONMENTAL AND LEGAL ENSURANCE OF THE IMPLEMENTATION OF THE GOALS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF URBAN COMMUNITIES IN UKRAINE TAKING INTO ACCOUNT INTERNATIONAL EXPERIENCE

M. V. Hekov

The article analyzes the environmental and legal issues of implementing the principles of sustainable development in Ukrainian cities, taking into account world experience. The relevance of the study is due to the multifaceted social, environmental and economic challenges facing urban areas due to intensive urbanization, environmental pollution, climate change and uneven economic growth. It is established that the current legislation of Ukraine lays the foundation for achieving sustainable development goals, but its effectiveness is limited by fragmentation, insufficient integration of international norms, limited financing of municipal programs and low public involvement.

The aim of the work was to scientifically substantiate the legal mechanisms for implementing sustainable development goals at the city level and formulate proposals for their improvement taking into account international practice. To achieve this goal, the methods of systemic analysis, comparative law and analytical research were used, as well as the generalization and systematization of regulatory legal acts of Ukraine and international documents, including the UN Sustainable Development Goals and European Union directives.

The results obtained indicate that the global practice of implementing sustainable development in cities is characterized by an integrated and comprehensive approach, which involves a combination of legal provisions, strategic planning, financial incentives, community participation mechanisms and a system for monitoring the achievement of goals. Ukrainian cities demonstrate positive changes in legal regulation, but they need to improve financial and organizational mechanisms, develop a system of public oversight and control over the implementation of strategies.

The scientific novelty of the work lies in a comprehensive comparative analysis of domestic and international legislation on the sustainable development of urban areas, as well as in the systematization of effective legal instruments for their adaptation to Ukrainian realities. The practical value lies in the development of specific recommendations for lawmakers, local governments and municipal institutions to improve the environmental and legal support for the implementation of sustainable development goals. This will contribute to increasing environmental safety, social unity and economic stability of urban communities in Ukraine.

Key words: *sustainable development, environmental and legal regulation, urban areas, legislation, strategic planning, community participation, environmental policy.*

Вступ

Сучасні міста та громади стикаються із численними викликами, які охоплюють соціальну, екологічну та економічну сфери. Швидке зростання міської інфраструктури, забруднення довкілля, кліматичні зміни, надмірне використання природних ресурсів і соціальна нерівність створюють нагальні проблеми, що потребують системного вирішення. У таких умовах ефективне управління розвитком міст неможливе без впровадження принципів сталого розвитку (Bosselmann, 2013; Sachs, 2015), де враховуються збереження природного середовища, соціальна справедливість та економічна стійкість. Особливу увагу слід приділити створенню ефективних правових механізмів у сфері екологічного права для впровадження Цілей сталого розвитку (ЦСР) на місцевому рівні (United Nations, 2015), зокрема в Україні.

Незважаючи на численні національні та міжнародні ініціативи, українське законодавство в галузі сталого розвитку залишається фрагментарним (OECD, 2020) і часто не враховує особливостей міських громад. На сьогодні в Україні відсутня цілісна система правових норм, яка б одночасно охоплювала екологічні, соціальні та економічні аспекти управління міськими структурами з урахуванням позитивного досвіду інших країн та міжнародних стандартів (Bulkeley & Betsill, 2003; European Commission, 2019).

Концепція сталого розвитку є основою (Sachs, 2015) ефективного управління соціальними, екологічними та економічними процесами в міських громадах. Її інтегрування дозволяє забезпечувати раціональне використання ресурсів, захист екосистем та підвищення якості життя населення. Практика Європейського Союзу, Північної Америки та Азії свідчить про те, що використання прозорих і зрозумілих правових інструментів – таких як місцеві екологічні ініціативи, стандарти енергоефективності,

політики поводження з відходами та активна участь місцевих громад – суттєво сприяє досягненню ЦСР на рівні міст (Beatley, 2012; European Commission, 2019).

Метою дослідження є створення науково обґрунтованих пропозицій щодо правового та екологічного забезпечення досягнення Цілей сталого розвитку в містах України, з урахуванням світового досвіду.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

– Проаналізувати поточний стан законодавства щодо сталого розвитку міських громад в Україні.

– Виявити основні труднощі та перешкоди у впровадженні ЦСР у містах.

– Вивчити міжнародну практику правового та екологічного забезпечення сталого розвитку та можливість її застосування в Україні.

– Сформулювати рекомендації для покращення законодавства та методів реалізації ЦСР у міських громадах.

– Окреслити перспективи узгодження українського законодавства з міжнародними нормами у галузі сталого розвитку та екологічного права.

Матеріал і методи

У межах дослідження еколого-правового забезпечення реалізації ЦСР міських громад в Україні здійснено комплексний аналіз чинної нормативно-правової бази, що регулює питання охорони довкілля, сталого розвитку та діяльності органів місцевого самоврядування.

До ключових законодавчих актів, покладених в основу дослідження, належать закони України, які визначають загальні правові засади екологічної політики та місцевого управління. Зокрема, Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (Закон України № 1264-XII від 25.06.1991) встановлює базові принципи захисту довкілля та відповідальність державних і місцевих органів влади за його стан. Закон України «Про місцеве самоврядування в Україні» (Закон України № 280/97-ВР від 21.05.1997) закріплює повноваження територіальних громад у сфері розроблення та впровадження екологічних програм. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» (Закон України № 2354-VIII від 20.03.2018) забезпечує інтеграцію екологічних аспектів у процес планування та реалізації програм і стратегій розвитку. Водночас Закон України «Про основні засади державної екологічної політики України на період до 2030 року» (Закон України № 2697-VIII від 28.02.2019) спрямований на впровадження принципів сталого розвитку у стратегічне планування на регіональному та місцевому рівнях.

Окрім законів, у дослідженні враховано підзаконні нормативно-правові акти та галузеві документи, що регулюють екологічні стандарти, управління відходами, енергоефективність, охорону атмосферного повітря та водних ресурсів, а також локальні ініціативи органів місцевого самоврядування.

Важливе місце у формуванні теоретико-методологічної бази дослідження посідають національні стратегічні документи. Зокрема, Стратегія сталого розвитку «Україна-2030» (Указ Президента України "Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року" № 722/2019) визначає пріоритетні напрями соціально-економічного та екологічного розвитку держави. Національний план дій щодо адаптації до змін клімату та скорочення викидів парникових газів інтегрує екологічні цілі у систему муніципального управління.

З метою врахування кращого світового досвіду у дослідженні також проаналізовано міжнародні документи та стратегії, що формують орієнтири для розвитку національної екологічної політики. Серед них – Цілі сталого розвитку ООН (United Nations, 2015), зокрема цілі 11 «Сталі міста та спільноти» та 13 «Боротьба зі зміною клімату», Нова програма розвитку міст ООН, а також Європейська зелена угода (European Commission, 2019) і відповідні директиви ЄС у сфері управління відходами, енергоефективності та охорони довкілля. Використання зазначених документів дозволяє оцінити ефективність національного законодавства та визначити можливості імплементації міжнародних підходів в українських умовах (OECD, 2020).

Для досягнення поставленої мети дослідження застосовано комплекс наукових методів. Системний підхід забезпечив розгляд міських громад як складних соціо-еколого-економічних систем із взаємопов'язаними елементами. Порівняльно-правовий метод дозволив зіставити національне законодавство з міжнародними стандартами та практиками за такими критеріями, як рівень нормативної деталізації, наявність фінансово-економічних стимулів, механізми участі громадськості та системи моніторингу реалізації ЦСР. Аналітичний метод застосовувався для виявлення про-

галин і суперечностей у нормативно-правовій базі, а також для оцінки ефективності чинних механізмів реалізації цілей сталого розвитку. Методи узагальнення та систематизації сприяли впорядкуванню отриманих результатів і формуванню обґрунтованих висновків та рекомендацій.

Комплексне використання зазначених методів забезпечило всебічний аналіз еколого-правових механізмів та дозволило визначити перспективні напрями адаптації міжнародного досвіду до практики управління сталим розвитком міських громад в Україні.

Результати

Проведений аналіз міжнародного досвіду засвідчує, що ефективне еколого-правове забезпечення сталого розвитку міських громад ґрунтується на комплексному підході, який поєднує законодавчі, управлінські та фінансові інструменти. У країнах Європейського Союзу реалізація принципів сталого розвитку здійснюється через багаторівневу систему правового регулювання.

Зокрема, на національному та місцевому рівнях діють правові норми, які визначають обов'язки органів місцевого самоврядування у сфері екологічної політики та стратегічного планування розвитку територій. Важливим елементом є регулювання просторового планування, що передбачає обов'язкове проведення стратегічної екологічної оцінки для планів і програм розвитку. Додатково застосовуються фінансово-економічні інструменти, зокрема податкові пільги та стимули, спрямовані на впровадження енергоефективних і ресурсозберігаючих технологій. Значну роль відіграють також механізми участі громадськості, які забезпечують прозорість управлінських рішень та врахування інтересів населення.

Характерною особливістю є інтеграція принципів сталого розвитку у всі сфери міського управління, включаючи транспорт, енергетику, поводження з відходами, охорону водних ресурсів, розвиток екологічної інфраструктури та соціальну політику.

В Україні правове забезпечення реалізації цілей сталого розвитку формується на основі системи законодавчих і стратегічних документів. До них належать базові закони та інші програмні документи розвитку територій. Важливу роль відіграють і місцеві нормативні акти, що регламентують реалізацію екологічних програм, підвищення енергоефективності та розвиток міської інфраструктури.

Зокрема, встановлено, що в окремих міських громадах України реалізація стратегій сталого розвитку має формальний характер та не супроводжується належним фінансовим і організаційним забезпеченням, що знижує ефективність досягнення поставлених цілей.

Встановлено, що юридичні механізми реалізації принципів сталого розвитку в Україні охоплюють визначення повноважень органів місцевого самоврядування, розроблення та впровадження екологічних програм, контроль за дотриманням екологічних стандартів, а також часткове бюджетне фінансування відповідних заходів. Водночас у порівнянні з європейськими практиками виявлено низку проблемних аспектів. Зокрема, спостерігається недостатня інтеграція принципів сталого розвитку у всі сфери управління, обмеженість фінансово-економічних стимулів для муніципалітетів і бізнесу, а також недостатній рівень залучення громадськості до процесів ухвалення рішень.

На основі порівняльного аналізу виокремлено ключові юридичні інструменти управління міськими соціо-еколого-економічними системами. До них належать просторове планування із застосуванням стратегічної екологічної оцінки, нормативно-правове регулювання екологічної безпеки та енергоефективності, фінансово-економічні механізми підтримки екологічних ініціатив, а також інструменти участі громадськості та забезпечення відкритості управління.

Отримані результати свідчать, що в європейських країнах застосовується більш інтегрований підхід до реалізації сталого розвитку, який передбачає поєднання правових, фінансових і організаційних інструментів. Натомість в Україні переважає нормативно-правовий підхід, що не завжди супроводжується належним фінансовим та інституційним забезпеченням, що обмежує ефективність впровадження цілей сталого розвитку на рівні міських громад (табл. 1).

Ця таблиця наочно виявляє прогалини у вітчизняному правовому регулюванні та вказує на можливості для застосування світового досвіду з метою ефективнішої реалізації ЦСР у міських громадах.

Таким чином, дослідження показує, що для успішного впровадження Цілей сталого розвитку у міста України необхідний комплексний підхід, що охоплює законодавчі, фінансові та організаційні інструменти. Порівняння з європейським досвідом вка-

Таблиця 1

Порівняння правових механізмів реалізації ЦСР у міських громадах України та Європи

Категорія правового механізму	**Україна**	**Європейські країни (EU)**	**Висновки**
Законодавче забезпечення	Закони: «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про місцеве самоврядування», «Про стратегічну екологічну оцінку»	Національні закони + директиви ЄС: енергетична ефективність, управління відходами, чисте повітря, вода	ЄС застосовує більш комплексний підхід із детальними директивами та обов'язковими нормами
Стратегічне планування	Стратегії: «Україна – 2030», Національні плани адаптації до змін клімату	Стратегічні плани міст, обов'язкові стратегічні оцінки (SEA), інтеграція ЦСР у муніципальні плани	В ЄС обов'язкова оцінка впливу на довкілля та контроль реалізації
Фінансові механізми	Часткове фінансування міських програм, державні гранти	Податкові пільги, зелені облігації, муніципальні гранти, стимули для енергоефективних та екологічних проектів	Українські громади мають обмежене фінансування та відсутні податкові стимули
Громадська участь	Публічні слухання, консультації за окремими проєктами	Обов'язкове залучення громадян у прийняття рішень, прозорість бюджету, інтеграція пропозицій громад	В ЄС громадська участь системна та структурована
Контроль і моніторинг	Екологічний контроль, звітність місцевих органів	Інтегрований моніторинг ЦСР, публічні рейтинги, незалежні аудити	ЄС забезпечує ефективний моніторинг реалізації ЦСР на муніципальному рівні

зує на ефективність інтегрованого підходу до впровадження ЦСР через стратегічне планування, економічні стимули, активну зацікавленість громадськості та прозорий контроль. Використання міжнародного досвіду допомагає визначити ключові напрями для вдосконалення національних законів та роботи місцевого самоврядування, спрямовані на підвищення екологічної безпеки, зміцнення соціальної згуртованості та забезпечення економічної стійкості міських громад України.

Обговорення

Порівняльний аналіз національного законодавства України та міжнародних практик свідчить, що існуюча нормативно-правова база у сфері сталого розвитку міських громад формує базову правову основу, однак не забезпечує повною мірою комплексного підходу до реалізації цілей сталого розвитку (OECD, 2020). Зокрема, ключові законодавчі акти України, такі як Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про місцеве самоврядування в Україні» та «Про стратегічну екологічну оцінку», визначають загальні принципи екологічної політики та повноваження органів місцевого самоврядування (Закон України № 1264-XII від 25.06.1991; Закон України № 280/97-ВР від 21.05.1997; Закон України № 2354-VIII від 20.03.2018), проте не забезпечують належної інтеграції екологічних, соціальних та економічних складових сталого розвитку.

Міжнародний досвід, передусім країн Європейського Союзу, демонструє більш системний і комплексний підхід до реалізації Цілей сталого розвитку (United Nations, 2015; European Commission, 2019). Такий підхід передбачає інтеграцію принципів сталого розвитку у всі сфери міського управління, обов'язковість проведення стратегічної екологічної оцінки для планів і програм розвитку, застосування фінансово-економічних стимулів (зокрема грантів, «зелених» облігацій і податкових пільг), а також активне залучення громадськості до процесів прийняття управлінських рішень (Bulkeley & Betsill, 2003; OECD, 2020).

Зіставлення національної та міжнародної практики дозволяє констатувати, що в Україні існує потреба у посиленні контрольних механізмів, розширенні фінансових інструментів підтримки сталого

розвитку та більш повній імплементації міжнародних стандартів у національне законодавство (United Nations, 2015; United Nations, 2016; European Commission, 2019).

Встановлено, що чинні правові механізми в Україні виконують базові функції, зокрема визначають обов'язки органів місцевого самоврядування, формують правову основу для реалізації місцевих екологічних програм і частково регулюють процеси стратегічного планування. Водночас їх ефективність суттєво обмежується низкою факторів, серед яких фрагментованість законодавства, недостатній рівень фінансового забезпечення муніципальних ініціатив, обмежена участь громадськості у процесах управління та відсутність системного моніторингу результатів реалізації цілей сталого розвитку.

На основі проведеного аналізу визначено ключові проблеми еколого-правового забезпечення сталого розвитку міських громад в Україні, які наведено на рисунку 1.

З урахуванням міжнародного досвіду обґрунтовано необхідність удосконалення національної системи еколого-правового регулювання. Зокрема, доцільним є формування цілісної нормативно-правової бази, яка забезпечуватиме інтеграцію екологічних, соціальних та економічних аспектів сталого розвитку; впровадження фінансово-економічних механізмів стимулювання муніципальних ініціатив; забезпечення інституціоналізованої участі громадськості у процесах прийняття рішень; а також створення ефективної системи моніторингу та оцінки реалізації цілей сталого розвитку на рівні міських громад.

Таким чином, підвищення ефективності реалізації цілей сталого розвитку в Україні потребує переходу від переважно нормативного регулювання до комплексної моделі управління, що поєднує правові, економічні та інституційні інструменти.

Аналіз демонструє багатогранність проблем правового та екологічного забезпечення цілей сталого розвитку в міських громадах, підкреслюючи необхідність цілісного підходу для їх вирішення.

Проведений порівняльний аналіз свідчить, що для успішного впровадження завдань сталого розвитку в міських громадах України необхідний комплексний еколого-правовий підхід.

Він повинен поєднувати законодавчі, фінансові та організаційні інструменти, а також забезпечувати активну участь громадськості й прозору систему моніторингу. Вивчення міжнародного досвіду допомагає виявити слабкі сторони національного законодавства, окреслити ключові виклики та запропонувати шляхи для вдосконалення правової бази сталого розвитку. Усі ці заходи спрямовані на посилення екологічної безпеки, зміцнення соціальної єдності та забезпечення економічної стабільності в межах міських територій України.

Висновки

Проведений аналіз законодавчої бази щодо впровадження принципів сталого розвитку в міських громадах України дозволив виокремити ключові аспекти правового забезпечення та визначити напрями його вдосконалення. Встановлено, що чинне законодавство формує базові юридичні підвалини для реалізації цілей сталого розвитку

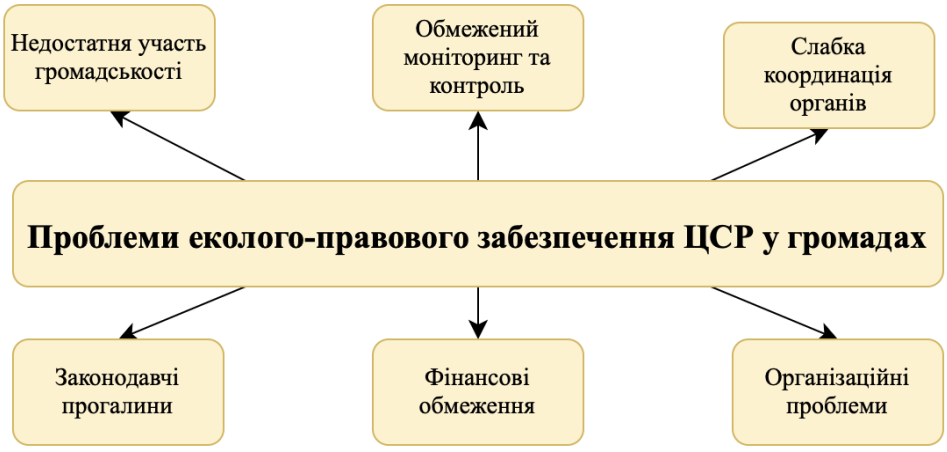


Рис. 1. Проблеми еколого-правового забезпечення ЦСР у громадах

на місцевому рівні, зокрема через закони України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про місцеве самоврядування в Україні» та «Про стратегічну екологічну оцінку», а також відповідні національні стратегії. Водночас ефективність цієї системи обмежується фрагментованістю нормативних положень, недостатнім фінансовим забезпеченням, обмеженою участю громадськості та недосконалістю механізмів контролю.

Дослідження міжнародного досвіду, зокрема практик Європейського Союзу та Організації Об'єднаних Націй, показало, що успішна реалізація Цілей сталого розвитку у міських громадах ґрунтується на комплексному підході. Такий підхід передбачає інтеграцію екологічних, соціальних і економічних аспектів у всі сфери міського управління, застосування стратегічного планування з обов'язковою оцінкою впливу на довкілля, використання фінансово-економічних стимулів, активна участь громадськості у процесах прийняття рішень, а також впровадження прозорих систем моніторингу та оцінки результативності.

Порівняльний аналіз дозволив виявити основні проблеми національного правового регулювання, серед яких відсутність єдиного комплексного законодавчого акта щодо сталого розвитку міських територій, обмеженість фінансових ресурсів та стимулів, недостатній рівень координації між органами державної влади та місцевого самоврядування, а також низький рівень участі громадськості.

З урахуванням отриманих результатів обґрунтовано необхідність удосконалення еколого-правового забезпечення сталого розвитку в Україні. Ключовими напрямами такого вдосконалення є: розроблення цілісної нормативно-правової бази, що інтегрує екологічні, соціальні та економічні складові розвитку; впровадження фінансово-економічних механізмів стимулювання екологічно орієнтованих ініціатив; посилення участі громадськості у процесах планування, прийняття рішень і контролю; створення ефективної системи моніторингу та оцінки реалізації Цілей сталого розвитку на місцевому рівні; а також адаптація міжнародних стандартів і практик до національних умов.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні прикладних моделей інтеграції міжнародного досвіду у практику управління міськими громадами України, формуванні критеріїв оцінки ефективності реалізації Цілей сталого розвитку, а також у дослідженні взаємозв'язку між екологічним управлінням, соціальною згуртованістю та економічним розвитком міських територій.

Таким чином, удосконалення еколого-правової основи реалізації цілей сталого розвитку є важливою передумовою формування стійких соціо-еколого-економічних систем у містах України, підвищення якості життя населення та забезпечення довгострокового збалансованого розвитку, що потребує переходу від переважно нормативного підходу до комплексної моделі управління із поєднанням правових, економічних та інституційних інструментів.

Список використаної літератури

Верховна Рада України. Закон України «Про місцеве самоврядування в Україні» від 21.05.1997 № 280/97-ВР. 1997. [Електронний ресурс] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-вр (дата звернення: 20.03.2026).

Верховна Рада України. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» від 20.03.2018 № 2354-VIII (зі змінами). 2018. [Електронний ресурс] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19 (дата звернення: 20.03.2026).

Верховна Рада України. Закон України «Про основні засади державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № 2697-VIII. 2019. [Електронний ресурс] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19 (дата звернення: 20.03.2026).

Верховна Рада України. Указ Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» від 30.09.2019 № 722/2019. 2019.[Електронний ресурс] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019 (дата звернення: 20.03.2026).

Верховна Рада України. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки» від 05.08.2020 № 695. 2020. [Електронний ресурс] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-п (дата звернення: 20.03.2026).

Верховна Рада України. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на період

до 2025 року» від 21.04.2021 № 443-р. 2021. [Електронний ресурс] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/443-2021-р (дата звернення: 20.03.2026).

Організація Об'єднаних Націй. Нова міська програма: New Urban Agenda. Прийнята на конференції Habitat III, Кіто, 20 жовтня 2016. 2016. [Електронний ресурс] URL: https://habitat3.org/the-new-urban-agenda/ (дата звернення: 20.03.2026).

Організація Об'єднаних Націй. Цілі сталого розвитку (Агенда 2030): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Резолюція A/RES/70/1, 25 вересня 2015. 2015. [Електронний ресурс] URL: https://sdgs.un.org/2030agenda (дата звернення: 20.03.2026).

Beatley T. Green Cities of Europe: Global Lessons on Green Urbanism. *Washington, DC : Island Press.* 2012. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-175-7.

Bosselmann K. The Principle of Sustainability: Transforming Law and Governance. *Farnham : Ashgate Publishing.* 2013. https://doi.org/10.4324/9781315553955.

Bulkeley H., Betsill M. Cities and Climate Change: Urban Sustainability and Global Environmental Governance. *London : Routledge.* 2003. https://doi.org/10.4324/9780203219256.

European Commission. Communication from the Commission: The European Green Deal. COM(2019)640 final, 11 грудня 2019. 2019. [Electronic resource] URL: https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en (дата звернення: 20.03.2026).

OECD. A Territorial Approach to the Sustainable Development Goals: Synthesis Report. Paris : OECD Publishing. 2020. [Electronic resource] URL: https://www.oecd.org/regional/a-territorial-approach-to-the-sustainable-development-goals-357c5e8b-en.htm (дата звернення: 20.03.2026).

Sachs J. D. The Age of Sustainable Development. New York. *Columbia University Press.* 2015. https://doi.org/10.7312/sach17314.

References

Verkhovna Rada of Ukraine. (1997). *Zakon Ukrainy "Pro mistseve samovriaduvannia v Ukraini"* [Law of Ukraine "On Local Self-Government in Ukraine"] No. 280/97-VR. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-вр (access date 20.03.2026) [in Ukrainian].

Verkhovna Rada of Ukraine. (2018). *Zakon Ukrainy "Pro stratehichnu ekolohichnu otsinku"* [Law of Ukraine "On Strategic Environmental Assessment"] No. 2354-VIII. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19 (access date 20.03.2026) [in Ukrainian].

Verkhovna Rada of Ukraine. (2019). *Zakon Ukrainy "Pro osnovni zasady derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 roku"* [Law of Ukraine "On Basic Principles of State Environmental Policy of Ukraine until 2030"] No. 2697-VIII. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19 (access date 20.03.2026) [in Ukrainian].

Verkhovna Rada of Ukraine. (2019). *Ukaz Prezydenta Ukrainy "Pro Tsili staloho rozvytku Ukrainy na period do 2030 roku"* [Presidential Decree "On the Sustainable Development Goals of Ukraine until 2030"] No. 722/2019. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019 (access date 20.03.2026) [in Ukrainian].

Verkhovna Rada of Ukraine. (2020). *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy "Pro zatverdzhennia Derzhavnoi stratehii rehionalnoho rozvytku na 2021–2027 roky"* [Cabinet of Ministers of Ukraine Resolution "On Approval of the State Strategy of Regional Development for 2021–2027"] No. 695. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-п (access date 20.03.2026) [in Ukrainian].

Verkhovna Rada of Ukraine. (2021). *Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy "Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu dii z okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha na period do 2025 roku"* [Cabinet of Ministers of Ukraine Order "On Approval of the National Action Plan for Environmental Protection until 2025"] No. 443-r. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/443-2021-p (access date 20.03.2026) [in Ukrainian].

United Nations. (2016). *New Urban Agenda* [Nova miska prohrama]. Adopted at Habitat III Conference, Quito. [Electronic resource] URL: https://habitat3.org/the-new-urban-agenda/ (access date 20.03.2026) [in English].

United Nations. (2015). *Sustainable Development Goals (Agenda 2030): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* [Tsili staloho rozvytku (Ahenda 2030)]. Resolution A/RES/70/1. [Electronic resource] URL: https://sdgs.un.org/2030agenda (access date 20.03.2026) [in English].

Beatley, T. (2012). *Green Cities of Europe: Global Lessons on Green Urbanism.* Island Press. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-175-7 [in English].

Bosselmann, K. (2013). *The Principle of Sustainability: Transforming Law and Governance*. Ashgate Publishing. https://doi.org/10.4324/9781315553955 [in English].

Bulkeley, H., & Betsill, M. (2003). *Cities and Climate Change: Urban Sustainability and Global Environmental Governance*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203219256 [in English].

European Commission. (2019). *The European Green Deal: Communication from the European Commission on the transformation of the EU's economy and society*. COM(2019)640 final. [Electronic resource] URL: https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en (access date 20.03.2026) [in English].

OECD. (2020). *A Territorial Approach to the Sustainable Development Goals: Synthesis Report*. Paris: OECD Publishing. [Electronic resource] URL: https://www.oecd.org/regional/a-territorial-approach-to-the-sustainable-development-goals-357c5e8b-en.htm (access date 20.03.2026). [in English].

Sachs, J. D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. New York: Columbia University Press. https://doi.org/10.7312/sach17314 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 26.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 17
Український журнал природничих наук
№ 17

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 502.131.1;502.35
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.17.2026.30

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКОСИСТЕМНИМИ ПОСЛУГАМИ НА ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЯХ

Я. Т. Місик[1], Т. В. Козуля[2]

У статті досліджено теоретико-методологічні засади формування системи управління екосистемними послугами на природоохоронних територіях із позицій інтегрованого екологічно-орієнтованого підходу. Обґрунтовано, що сучасні підходи до управління екосистемними послугами здебільшого зосереджені на економічній оцінці природних ресурсів і не забезпечують належного відновлення природних процесів та підтримання екологічної рівноваги. Визначено актуальність переходу від галузевого до системного управління природоохоронними територіями як складними соціо-екологічними системами.

У роботі здійснено аналіз сучасних наукових підходів і міжнародних методологій (MEA, TEEB, CICES), що дозволило систематизувати напрями досліджень у сфері екосистемних послуг, зокрема їх класифікацію, економічну оцінку, правове регулювання та управління. Встановлено недостатню розробленість комплексної методології, орієнтованої на пріоритет екологічної складової при прийнятті управлінських рішень.

Запропоновано системологічний підхід до управління екосистемними послугами, який передбачає інтеграцію екологічних, соціально-економічних та управлінських компонентів у єдину модель. Розроблено концептуальну модель управління, що базується на використанні методів когнітивного моделювання, матричного аналізу та сценарного прогнозування. Це дозволяє формалізувати взаємозв'язки між компонентами системи, оцінювати їх стійкість та прогнозувати наслідки управлінських рішень.

Обґрунтовано принципи екологічно-орієнтованого підходу, серед яких: збереження екосистемної цілісності та біорізноманіття, інтегрованість управління, адаптивність, превентивність, відкритість і відповідальність, а також системність оцінювання ефективності. Доведено, що пріоритетність екологічних критеріїв при формуванні екосистемних послуг забезпечує баланс між соціально-економічною діяльністю та відновленням природних ресурсів.

[1] аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
e-mail: Yaryna.Misyk@mit.khpi.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8370-2010

[2] доктор технічних наук,
професор кафедри хімічної техніки та промислової екології
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
e-mail: Tatiana.Kozulia@khpi.edu.ua
ORCID: 0009-0000-4892-9140

Практичне значення результатів полягає у можливості застосування запропонованої моделі для обґрунтування ефективних управлінських рішень на природоохоронних територіях та забезпечення довгострокової екологічної й соціально-економічної стабільності.

Ключові слова: *природоохоронні території, управління екосистемними послугами, системологічне моделювання, когнітивне моделювання, екоефективність, екологічна рівновага, екосистемно-орієнтовані принципи управління.*

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR THE FORMATION OF A SYSTEM FOR MANAGING ECOSYSTEM SERVICES IN PROTECTED AREAS

Ya. T. Misyk, T. V. Kozulia

The article explores the theoretical and methodological principles of the formation of a system for managing ecosystem services in protected areas from the standpoint of an integrated ecologically-oriented approach. It is substantiated that modern approaches to managing ecosystem services are mostly focused on the economic assessment of natural resources and do not ensure proper restoration of natural processes and maintenance of ecological balance. The relevance of the transition from sectoral to systemic management of protected areas as complex socio-ecological systems is determined.
The paper analyzes modern scientific approaches and international methodologies (MEA, TEEB, CICES), which allowed to systematize research areas in the field of ecosystem services, in particular their classification, economic assessment, legal regulation and management. The insufficient development of a comprehensive methodology focused on the priority of the ecological component in making management decisions was established.
A systems approach to ecosystem services management is proposed, which involves the integration of environmental, socio-economic and management components into a single model. A conceptual management model based on the use of cognitive modeling, matrix analysis and scenario forecasting methods has been developed. This allows formalizing the relationships between system components, assessing their sustainability and predicting the consequences of management decisions.
The principles of an ecologically-oriented approach are substantiated, including: preservation of ecosystem integrity and biodiversity, integrated management, adaptability, prevention, openness and responsibility, as well as systematic effectiveness assessment. It is proven that the priority of ecological criteria in the formation of ecosystem services ensures a balance between socio-economic activity and the restoration of natural resources.
The practical significance of the results lies in the possibility of applying the proposed model to substantiate effective management decisions in protected areas and ensure long-term environmental and socio-economic stability.

Key words: *protected areas, ecosystem services management, systems modeling, cognitive modeling, eco-efficiency, ecological balance, ecosystem-based management principles.*

Вступ

Екосистемні послуги (ЕП) визначають еколого-економічну діяльність на територіях, що мають особливі та унікальні природні складові. Саме такі екосистеми становлять основу забезпечення соціально-економічного попиту щодо розвитку суспільства, економіки та туризму. На природоохоронних територіях ефективне управління екосистемною рівновагою потребує комплексного підходу, що інтегрує екологічні, соціальні та економічні аспекти.

Сучасні підходи до планування та використання екологічних послуг часто зосереджуються на економічній оцінці або галузевому управлінні (лісове та водне господарство), водночас недостатньо враховується забезпечення сталості функціонування екосистем та відновлення природних процесів при реалізації соціально-економічних функцій.

Тому основним напрямком у розвитку еколого-економічної діяльності на природоохоронних територіях повинен стати наукові обґрунтовані рішення щодо збереження біорізноманіття, підтримки природних процесів та забезпечення сталого використання ресурсів. Відповідно до звіту ООН «Оцінка екосистем тисячоліття» екосистемні послуги є прямим та непрямим екосистемним ресурсом для створення благополуччя та добробуту людини. Саме послуги за рахунок використання екосистемних цінностей підтримують баланс між економічними потребами суспільства та збереженням при-

родних ресурсів, що робить їх важливим інструментом у плануванні та управлінні природно-заповідними територіями.

Наукова актуальність полягає у необхідності розробки підходів до управління природоохоронними територіями з урахуванням екологічних, соціальних і економічних факторів. Такі території розглядаються як складні соціо-екологічні системи з численними взаємозв'язками. Використання системного підходу дозволяє враховувати ці взаємодії та забезпечувати екологічну рівновагу, збереження природних процесів і сталий розвиток екосистемних послуг.

Попри значний розвиток наукових підходів до управління екосистемними послугами, залишаються низка невирішених аспектів загальної проблеми.

По-перше, відсутня комплексна методологія формування системи управління екосистемними послугами на природоохоронних територіях, що ґрунтувалася б на інтегрованому та екологічно-орієнтованому підході.

По-друге, недостатньо досліджено принципи пріоритетності різних екосистемних послуг для прийняття ефективних управлінських рішень у контексті збереження біорізноманіття та відновлення природних процесів.

По-третє, науково не опрацьовані механізми формування моделей відновлення екологічної рівноваги, які б забезпечували стабільність функціонування екосистем при економічному використанні ресурсів.

Існуючі підходи до управління екосистемними послугами орієнтовані на економічну доцільність і не відновлюють природну цілісність територій. Тому метою дослідження є розробка методології планування екосистемних послуг із пріоритетом збереження екологічної рівноваги заповідних територій.

Методологічне та загально-наукове значення дослідження полягає в розробці системологічного підходу до управління екосистемними послугами на природоохоронних територіях, який інтегрує екологічні, соціальні та управлінські компоненти.

Метою дослідження є обґрунтування методологічних засад формування системи управління екосистемними послугами на заповідних територіях у відповідності до інтегрованого екологічно-орієнтованого підходу.

Завданням дослідження є розв'язання таких аналітичних задач:

1. Надати аналіз напрямів наукових досліджень із розвитку екосистемних послуг і концепцій щодо ефективного природоохоронного управління в цій сфері діяльності.

2. Визначити принципи екологічно-орієнтованого підходу при формуванні екосистемних послуг та їх пріоритетність для прийняття управлінських рішень на природоохоронних територіях.

3. Встановити наукові основи для формування моделі відновлення екологічної рівноваги при управлінні екосистемними послугами на природоохоронних територіях.

Матеріал і методи

Матеріалами дослідження стали наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів, міжнародні методичні підходи (MEA, TEEB, CICES), нормативно-правові документи у сфері природоохоронного управління та результати авторських узагальнень. У роботі використано методи порівняльного аналізу, системного підходу, структурно-функціонального аналізу, когнітивного моделювання та матричного когнітивного аналізу, а також сценарного прогнозування й експертно-аналітичний метод. Дослідження базується на системологічному підході до розгляду природоохоронних територій як складних соціо-екологічних систем. Для оцінки взаємозв'язків і впливів застосовано когнітивні карти та матриці, що дозволило формалізувати структуру системи та визначити її стійкість. Розроблено концептуальну модель управління екосистемними послугами, яка інтегрує природний, соціально-економічний та управлінський рівні й передбачає використання сценарного моделювання для обґрунтування екологічно збалансованих управлінських рішень.

Результати та їх обговорення

За останні роки в Україні помітно активізувалися наукові дослідження, спрямовані на розвиток ринку екосистемних послуг та формування економічних механізмів їх запровадження. Значна увага приділяється визначенню стратегічних орієнтирів управління екосистемними послугами водних ресурсів (Коморін, 2023), лісових екосистем (Ткач та ін, 2023, Пелюх і Загвойська, 2025), та комплексному аналізу можливостей інтеграції цих підходів у систему природокористування.

Увага також зосереджена на вивченні теоретико-методологічних засад збалансованого функціонування природно-заповідного фонду України та управління екосистемними послугами (Микитин і Шершун, 2024).

Європейська комісія у Management Plan 2025 наголошує на інтеграції екосистемних послуг у сільськогосподарську політику для сталого розвитку аграрного сектору та збереження біорізноманіття (Hansen et al., 2025).

Основні напрями дослідження екосистемних послуг: розвиток термінології та теорії, удосконалення методів і підходів, вивчення екосистем у конкретних умовах, монетарна оцінка екосистемних послуг, розвиток соціоекологічних досліджень, впровадження концепції в управління та політику, дослідження екологічних аспектів (Жук, 2024).

Українські науковці працюють за такими напрямками:

1. Систематизація екосистемних послуг: розроблення теоретичних засад, їх класифікація та визначення ролі. (Н. Гавадзин, Л. Загвойська, І. Мельничук, Н. Дегтяр, Є. Мішенін, Н. Олійник).

2. Економіка та оцінювання екосистемних послуг: розгляд їх як природного капіталу, економічна оцінка та монетизація. (С. В. Арестов, А. Т. Башта, С. М. Бобильов, Л. О. Богінська, Ю. Губень, Н. І. Дучинська, Л. Д. Загвойська, Є. В. Мішенін, Н. В. Олійник, І. П. Соловій, М. В. Ільїна, Ю. Б. Шпильова)

3. Правове регулювання: формування правових засад використання та охорони екосистем. (Є. П. Суєтнов, В. І. Андрейцев, Г. В. Анісімова, М. Я. Ващишин, А. П. Гетьман, М. В. Краснова)

4. Управління екосистемними послугами: інтеграція екосистемного підходу в управління та політику сталого розвитку (О. П. Гавриленко, М. В. Ільїна, О. М. Коморна, Є. В. Мішенін, І. М. Сотник).

Попри розвиток галузевих підходів, комплексні дослідження управління екосистемними послугами на рівні цілісних екосистем залишаються недостатніми. Потрібен перехід до інтегрованого екосистемного менеджменту, що поєднує оцінювання з плануванням і регулюванням та орієнтується на превентивні й адаптивні підходи. Водночас недостатньо вивчені питання екологічної рівноваги, відновлення екосистем і поєднання економічної ефективності з екологічною стійкістю.

Екосистемні послуги

Відповідно до класифікації MEA (2005) екосистемні послуги поділяються на регулюючі, забезпечувальні, культурні та підтримувальні. Регулюючі послуги забезпечують стабільність екосистем і безпеку людини, зокрема регулювання клімату, контроль повеней, очищення води та стримування поширення хвороб. Забезпечувальні послуги включають ресурси, що надаються екосистемами для задоволення потреб суспільства, такі як продукти харчування, вода, деревина, паливо та інші матеріали. Культурні послуги охоплюють нематеріальні вигоди, пов'язані з естетикою, духовністю, освітою та рекреаційними можливостями. Підтримувальні послуги забезпечують фундаментальні екологічні процеси, зокрема кругообіг поживних речовин, ґрунтоутворення та первинне виробництво (Reid et al., 2005).

У проєкті TEEB (2010) послуги підтримки були інтегровані до категорії регулюючих, а окремо виділено послуги середовища існування. Сучасна система CICES (2018) пропонує три основні категорії – «Забезпечення», «Регулювання та підтримка» та «Культурні», деталізовані на 20 груп і 48 класів, що забезпечує стандартизовану оцінку екосистемних послуг і їх застосування в наукових дослідженнях та управлінні природними ресурсами (Sukhdev et al., 2010).

Відповідно до особливостей споживання, усі послуги екосистем розділяють за ознакою обмеження доступу до ресурсу – на конкурентні та неконкурентні, а за ознакою усунення від споживання ресурсу – на виключні й невиключні у споживанні.

Дослідження екосистемних послуг є важливим для прийняття рішень щодо збереження природних систем і підтримання їх екологічної рівноваги. Це сприяє відновленню довкілля, збереженню біорізноманіття та забезпеченню умов життя людини, а також підтримує ефективне функціонування природоохоронних територій (Василюк і Ільмінська, 2020).

При формуванні принципів суто екологічної пріоритетності прийняття управлінських рішень необхідно врахувати особливості класифікаційних груп екосистемних послуг за їх функціональними можливостями. Це важливо для розуміння вірогідності перебігу довільних процесів відновлення природних властивостей екосистем за результатами економічної діяльності на їх території.

1. Постачання як одна з груп послуг екосистем визначається споживанням матеріальних благ, що становлять складові екосистем, зокрема сировини, прісної води, ґрунту торфовищ, лісу, тварин для полювань тощо. При дотриманні умов екобалансу в підприємницькій діяльності експлуатовані ресурси

мають можливості відновитися. Для розрахунку збалансованого надання таких послуг варто використати системологію дослідження, щоб передбачити відсутність змін в цілісності експлуатованої системи та її функціональних можливостях. Наприклад, дослідження використання лікарських трав для задоволення попиту населення показало, що зважене управління такою діяльністю здатне залишати екосистеми довгий час в сталому стані. У роботі для прогнозування змін в експлуатованій системі використано когнітивний аналіз, що дозволило констатувати можливості відтворення природного різноманіття експлуатованих екосистем (рис. 1–2).

Для перевірки стійкості використовується критерій M <1, де M – це максимальне по модулю власне число матриці (корінь характеристичного рівняння): λ = 0, отже система (матриця) стійка.

2. Регулювання передбачає спектр процесів, що забезпечують стабільність і функціонування екосистем, які створюють сприятливі умови для існування біологічних видів, включаючи людину. Ці процеси включають регулювання клімату, погодних умов, підтримання якості повітря, управління кількістю та якістю прісної води, формування ґрунтів, запилення рослин та інші механізми, які сприяють підтримці природного балансу. Регулюючі екосистемні послуги забезпечують збереження екосистем і їх функцій.

3. До групи культурні та соціальні послуги відносять нематеріальні блага та вигоди, які люди отримують від природи, такі як можливість туризму та рекреації, духовне збагачення, натхнення для творчості, здобуття наукових знань та формування ідентичності соціальних і етнічних груп. Збереження природних територій, що приваблюють відвідувачів, забезпечує стабільність використання природних ресурсів без їх виснаження.

4. Послуги підтримання екосистем відіграють ключову роль у процесах формування атмосфери, кліматичних зон та кругообігу речовин у природі, що сприяє розвитку біорізноманіття і забезпечує стабільність екосистемних функцій.

Таким чином, у будь-якій класифікаційній системі екосистемних послуг важливим елементом стійкого розвитку взаємодії «соціально-економічна діяльність – екологічні системи» є збереження природної відтворюваності екосистем. Виходячи з цього екологічного положення, пропонується запровадити принципи екологічно-орієнтованого підходу при формуванні екосистемних послуг, визнати пріоритетними екологічні складові при формуванні рішень щодо діяльності на природоохоронних територіях (рис. 3).

Принципи управління

Порушення природних функцій екосистем знижує стабільність біосфери. Для запобігання цьому необхідно впроваджувати екосистемно-орієнтовані принципи управління, які були згруповані у 4 групи: екосистемно-екологічної орієнтації; управлінсько-організаційної інте-

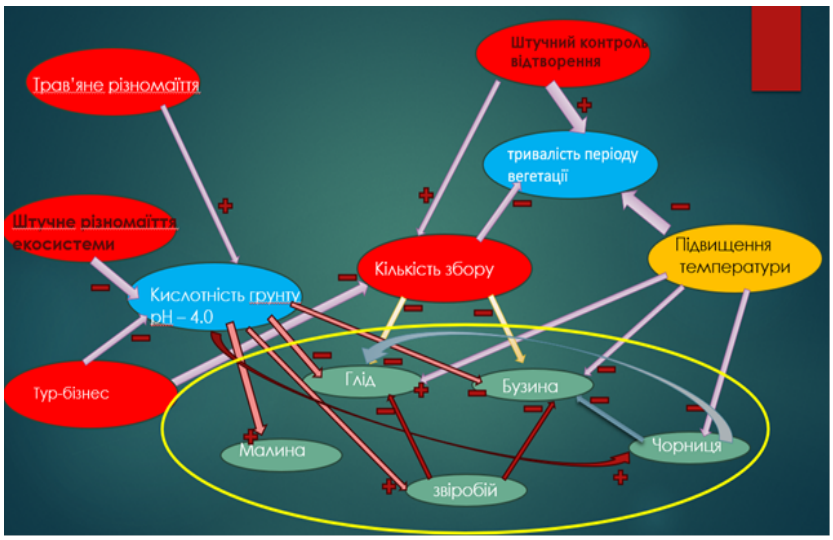


Рис. 1. Дослідження екологічної рівноваги на території надання екосистемних послуг (рослинний біом) (розробка автора)

Q=

	ТР	ШРЕ	ТБ	КГрН	КЗ	ШКВ	ТПВ	ПТ	М	Г	Б	Ч	З
ТР	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ШРЕ	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ТБ	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
КГрН	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	1	1
КЗ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
ШКВ	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
ТПВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПТ	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	-1	-1	0
М	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Г	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Б	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ч	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
З	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0

а

Q^2=

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	-1	-1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	2	2	-1	-1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

б

Q^3 =

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

в

Рис. 2. Оцінка стійкості аналізованої системи (розробка автора)
а – аналіз стійкості системи, характеристичне рівняння матриці; *б, в* – результат обчислювального експерименту по знаходженню характеристичного рівняння матриці відносин когнітивної карти

ТР – Трав'яне різноманіття, ШРЕ – Штучне різноманіття, екосистеми, ТБ – Тур-бізнес, КГрН – Кислотність ґрунту pH – 4.0, КЗ – кількість збору, ШКВ – Штучний контроль відтворення, ТПВ – тривалість періоду вегетації, ПТ – Підвищення температури, М – Rubus sp., Г – Crataegus L., Б – Sambucus nigra L., Ч – Vaccinium myrtillus L., З – Hypericum perforatum L..

Позначення: 0 – нейтральний вплив, 1 – позитивний вплив, -1 – негативний вплив; Q – стан початковий зафіксований для експлуатованої системи; Q^2, Q^3 – стан системи на другий і третій період експлуатації

грації; принцип відкритості, взаємодії та відповідальності; принцип оцінювання та ефективності.

1. Принцип екосистемно-екологічної орієнтації визначає базові засади екологічного функціонування природних територій, фокусуючись на збереженні екосистемної цілісності та підтримці природних процесів: В основі принципу покладений екосистемний підхід, що передбачає управління, зорієнтоване на підтримання структури, функцій та взаємозв'язків усіх компонентів екосистеми. Екосистемний підхід до природокористування можна розглядати, як управлінський напрям, що передбачає врахування складних взаємозв'язків у межах



Рис. 3. Класифікація екологічних послуг на природоохоронних територіях (розробка автора)

екосистеми та їхньої ролі у збереженні її стабільності, продуктивності й екологічних функцій (Хвесик і Ільїна, 2022).

Важливою складовою принципу є збереження біорізноманіття, зосередження на підтримці генетичного, видового та ландшафтного різноманіття як основи стабільності екосистемних послуг.

Принцип передбачає просторове планування з урахуванням екосистем і баланс між використанням ресурсів та їх довгостроковим збереженням. Екосистемний підхід є методологічною системою принципів, які включають адаптивне управління, моніторинг стану екосистем, баланс між збереженням і використанням ресурсів, а також залучення всіх зацікавлених сторін (Соловій і Жмурко, 2023).

Він направлений насамперед на збереження особливо цінних видів флори та фауни, ландшафтів, об'єктів природно-заповідного фонду, дотримання відповідного природоохоронного законодавства на території парку (Микитин і Шершун, 2024).

2. Принцип управлінсько-організаційної інтеграції відображає системний, міжгалузевий та міждисциплінарний характер екосистемного управління. Він включає адаптивне управління для забезпечення можливості коригування управлінських рішень відповідно до нових даних, змін середовища та результатів моніторингу.

В основі принципу покладено інтегроване управління, що визначає координацію дій між секторами, органами влади та рівнями управління для досягнення узгоджених цілей, та необхідність врахування взаємозв'язків між природними, соціальними та економічними компонентами. Наукові джерела підкреслюють, що інтегрований підхід забезпечує комплексний аналіз проблем, сприяє досягненню балансу інтересів та підтримує екологічну й соціальну справедливість (Станкевич-Волосянчук і Цап, 2025).

Принцип передбачає введення наукової обґрунтованості управлінських рішень на основі доказових даних та експертних оцінок проведених наукових досліджень. Превентивний підхід в межах принципу передбачає запобігання виникненню екологічних проблем шляхом завчасного аналізу потенційних впливів діяльності на довкілля та впровадження заходів мінімізації або усунення ризиків (Scolozzi et al., 2019).

Однак потрібно врахувати, що різні зацікавлені сторони по-різному оцінюють значення екосистемних послуг: місцеві громади надають перевагу одним видам послуг, тоді як представники влади та неурядових організацій високо оцінюють регулюючі, житлові й культурні аспекти (Koko et al., 2020).

3. Принцип відкритості, взаємодії та відповідальності формує соціальний вимір управління екосистемними послугами. Принцип передбачає прозорість і об'єктивність, відкритий доступ до інформації, прозорі процедури ухвалення рішень та об'єктивність оцінок.

Принцип базується на відповідальності та підзвітності всіх учасників управління, а також залученні громадськості, що підвищує довіру до рішень. Важливими є також міжнародна співпраця та узгодження з глобальними практиками.

4. Принципи оцінювання та ефективності визначають інструменти контролю, аналізу й удосконалення системи управління; передбачають регулярне відстеження стану екосистем, змін середовища та результатів управлінських заходів; оцінюють ефективність заходів і прийнятих рішень, та результативність застосованих підходів.

Запропоновані принципи забезпечують збереження екосистем, біорізноманіття та прозоре управління з постійним моніторингом. Вони формують основу сталого природокористування з урахуванням екологічної рівноваги та передбачають застосування автоматизованого прогнозування на базі інтегрованої системної моделі.

У межах створеної системної моделі забезпечуються такі операції при проведені прогнозних експериментів:

– ідентифікація ключових компонентів системи управління якістю надання екосистемних послуг, до яких відносяться природні ресурси, суб'єкти управління, механізми процесів відновлення екологічної рівноваги на експлуатованих територіях і механізми регулювання соціально-економічною діяльністю;

– визначення інформаційних зв'язків та потоків між елементами систем і міжсистемними компонентами для прогнозування наслідків управлінських рішень та оцінки впливу змін на стійкість екосистем;

– проєктування сценаріїв управління та проведення комп'ютерних експериментів для отримання оптимальних адаптаційних умов сполучення соціально-економічної активності на природоохоронних територіях і механізмів відтворення екологічних складових.

Концептуальна системологічна модель передбачає інтеграцію трьох рівнів системної функціональності досліджуваних експлуатованих систем.

Перший природний рівень включає компоненти екологічних об'єктів, що забезпечують надання послуг, зокрема біотичні та абіотичні складові екосистем, їх особливості щодо підтримки екологічної рівноваги і забезпечення відновлюваності екосистем після певних навантажень.

Другий соціально-економічний рівень охоплює впливи суспільства, такі як економічні, культурні та рекреаційні потреби, які модулюють використання ресурсів та впливають на рівень збереження екосистем.

Третій управлінський рівень передбачає включення в сценарії розвитку територіального системного комплексу елементів нормативного регулювання, адаптивних механізмів управління, що забезпечують баланс між експлуатацією ресурсів і їх відтворенням. Методологічні основи передбачають використання багатокритеріальних моделей, сценарного аналізу та інструментів моніторингу для оптимізації управлінських рішень (Scolozzi et al., 2019).

Для візуалізації та формалізації взаємозв'язків між компонентами системи застосовується метод когнітивного моделювання, який дозволяє відобразити структуру системи у вигляді мережі вузлів та зв'язків між ними. Вузли репрезентують ключові компоненти системи, включаючи екосистемні послуги, природні ресурси та соціальні елементи, тоді як зв'язки описують напрями та позитивний і негативний характер їх взаємодії. Когнітивна карта виступає інструментом формалізації знань, дозволяючи структурувати складні системи, ідентифікувати критично важливі елементи та визначати потенційні важелі впливу, що мають стратегічне значення для стійкості та ефективності функціонування екосистеми.

Методологічним продовженням когнітивного підходу є матриця когнітивного аналізу, яка забезпечує формалізоване подання взаємозв'язків компонентів системи. У матриці кожен рядок та колонка відповідає окремому компоненту системи, а клітинки відображають напрямок та характер впливу між ними. Використання матриці дозволяє здійснювати якісний аналіз структурної організації системи, оцінювати критичні взаємозв'язки, ідентифікувати зони потенційного ризику та розробляти концептуальні сценарії управлінського втручання. Такий підхід забезпечує можливість системного аналізу соціально-екологічної системи без необхідності чисельного моделювання, що робить його особливо цінним на етапі концептуального проєктування управлінських стратегій (див. рис. 1).

Сценарне прогнозування розвитку ситуацій на дослідній території відповідно до результатів імпульсного режиму когнітивного підходу дозволяє надати кількісну оцінку наслідків потенційних змін у ключових компонентах експлуатованої екосистеми.

Таким чином, системологічна модель виступає методологічною основою для формування концептуальної моделі управління екосистемними послугами, інтегруючи екологічні, соціальні та управлінські ком-

поненти у єдину систему. Використання когнітивного системного підходу формує науково-методологічну базу для розробки стратегій управління, спрямованих на підтримку сталого розвитку природоохоронних територій, збереження біорізноманіття та інтеграцію соціально-екологічних інтересів у процес управління природними ресурсами (рис. 4).

Для досягнення збалансованого використання природних ресурсів та управління розвитком території необхідно застосовувати екосистемний підхід. Він дозволяє розглядати взаємозв'язки між різними екосистемами та людьми, які є їх частиною (Станкевич-Волосянчук і Цап) (рис. 5).

Ця модель показує цілісну систему, у якій екосистема є основою для формування екосистемних послуг. Вони у свою чергу забезпечують еколого-економічну, соціальну та природоохоронну і наукову діяльності, які пов'язані між собою системою управління. Тут можна вже говорити про синергетичний підхід, який вимагає співпраці та партнерства між елементами системи. Для кращого узгодження діяльності людини з природним

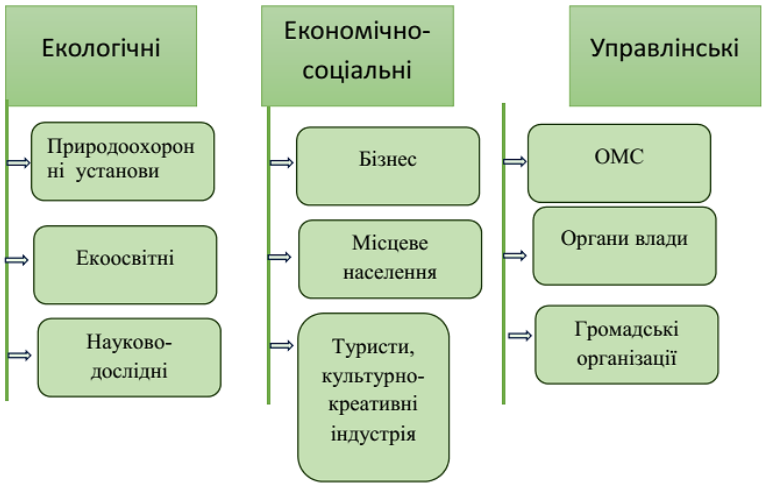


Рис. 4. Складові системи методології дослідження екосистемних послуг на природоохоронних територіях (розробка автора)



Рис. 5. Місце системи управління в циклі «Екосистема – екосистемні послуги еколого-економічна та соціальна діяльність – природоохоронна та наукова діяльність – система управління» (розробка автора)

середовищем застосовуються методи моделювання та аналізу, що дозволяють оцінювати вплив різних процесів (Ілюк та ін., 2024).

Одним із ключових інструментів запропонованих у дослідженні є екологічне моделювання, яке дозволяє оцінювати вплив різноманітних чинників на функціонування екосистем, прогнозувати потенційні зміни та формувати науково обґрунтовані рекомендації щодо управління природними ресурсами на національному та місцевому рівнях.

Використання моделювання та аналізу впливу на природні ресурси з застосуванням математичних моделей, симуляцій і методів аналізу даних, дозволяє науковцям і управлінцям оцінювати складну взаємодію між антропогенними чинниками та екосистемами, що є фундаментом для формування моделей відновлення екологічної рівноваги на природоохоронних територіях.

Подальший розвиток наукової роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні концепції екологічно-орієнтованого підходу при управлінні екосистемними послугами, практичне застосування запропонованої когнітивної моделі системологічного подання об'єкта дослідження для отримання інформаційної підтримки зваженого екологічного рішення з розвитку соціально-економічної діяльності на природоохоронних територіях.

Висновки

1. На основі аналітичного огляду наукових публікацій в сфері екологічного управління діяльністю з надання екосистемних послуг визначено, що пріоритетним показником ефективності зазначено економічну доцільність використання природних складових і економічну підтримку відновлюваних заходів. Такий підхід надає можливість розв'язку проблемної задачі екологічного управління експлуатованими природоохоронними територіями у вигляді концепції екологічно-орієнтованого підходу при формуванні екосистемних послуг.

2. За результатами оцінки соціально-економічної діяльності з використання екосистемних ресурсів на певних територіях запропоновано структуру принципів екологічно-орієнтованого підходу при формуванні екосистемних послуг, що дозволить апріорі встановлювати екологічні пріоритети щодо прийняття оптимальних рішень з введення діяльності на природоохоронних територіях за умови збереження їх природної екологічної рівноваги та сталості стану екосистем.

3. Запропонована комплексна системологічна модель оцінки наслідків введення соціально-економічної діяльності на природоохоронних територіях відповідно до застосування прогностичних властивостей когнітивного підходу з аналізу слабо структурованих систем і процесів. Визначено доцільним надати результати комп'ютерного експерименту щодо розвитку ситуації з надання екосистемних послуг певної інтенсивності для уникнення порушень екосистемної рівноваги та функціональності природних складових територіальних об'єктів. Наведено методологію дослідження використання екосистемних послуг на експлуатованих територіях, що дає змогу встановити умови сталості соціально-еколого-економічної діяльності територіальних громад.

Список використаної літератури

Василюк О., Ільмінська Л. Екосистемні послуги. Огляд. БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України», 2020. 84 с. [Електронний ресурс]. URL: https://dspace.organic-platform.org/xmlui/handle/data/427 (дата звернення: 07.02.2026).

Жук А. В. Екосистемні послуги, як об'єкт трансдисциплінарної колаборації. *Biological Systems: Theory and Innovation.* 2024. Том 15, № 2. С. 17–27. https://doi.org/10.31548/biologiya15(2).2024.002.

Ілюк Н., Костенко І., Бідолах Д. Вплив антропогенної діяльності на природні ресурси: пошук стійких моделей розвитку. *Biota. Human. Technology.*. 2024. № 2. С. 77–88. https://doi.org/10.58407/bht.2.24.7.

Коморін В. М. Теоретико-методологічні аспекти управління екосистемними ризиками моря. *Український гідрометеорологічний журнал.* 2023. № 31. С. 33–54. https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.03.

Микитин Т. Еколого-економічні основи розвитку територій національних природних парків: монографія / ред. М. Х. Шершун. Рівне : Волинські обереги, 2024. 400 с. ISBN 978-617-8161-17-4.

Пелюх О., Загвойська Л. Багатокритеріальна оптимізація сценаріїв менеджменту лісів Українських Карпат у дискурсі парадигми екосистемних послуг. *Наукові праці Лісівничої академії наук України.* 2025. № 29. С. 246–255. https://doi.org/10.36930/412535.

Соловій І., Жмурко Н. Наукові засади та теоретико-методологічні принципи впровадження концепції природоорієнтованих рішень. *Економіка та суспільство.* 2023. № 85. С. 1–8. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-85.

Станкевич-Волосянчук О. І., Цап І. Ю. Принципи екосистемного підходу до господарювання у Карпатському регіоні України (на прикладі Боржавського гірського масиву). *Екологічні науки.* 2025. Том 2, № 59. С. 347–354. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.52.

Ткач В. П. та ін. Економічна оцінка екосистемних послуг лісів України. Харків : УкрНДІЛГА, 2023. С. 28 [Електронний ресурс]. URL: https://uriffm.org.ua/static/main/files/EcoSys.pdf (дата звернення: 10.02.2026).

Хвесик М., Ільїна М. Екосистемні платежі як інструмент реалізації екосистемного підходу в управлінні природокористуванням. *Економіка України.* 2022. Том 65, № 10. С. 76–92. https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.10.076.

Koko I. A., Misana S. B., Kessler A., Fleskens L. Valuing ecosystem services: stakeholders' perceptions and monetary values of ecosystem services in the Kilombero wetland of Tanzania. *Ecosystems and People.* 2020. Vol. 16, № 1. P. 411–426 https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1847198

Hansen C., Werner E., Bascou P. Management Plan 2025. Directorate-General for Agriculture and Rural Development.. European Commission, 2025. 52 p. [Електронний ресурс]. URL: https://commission.europa.eu/document/download/26ee012e-69aa-4ba5-83d2-378e881129da_en?filename=agri-mp_2025_en.pdf&prefLang=de (access date: 05.02.2026).

Reid W. V., Mooney H. A., Cropper A., Capistrano D., Carpenter S. R., Chopra K. Ecosystems and human well-being: synthesis : a report of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC : Island Press, 2005. 137 p. [Електронний ресурс]. URL: https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf (access date 18.02.2026)

Scolozzi R., Schirpke U., Geneletti D. Enhancing ecosystem services management in protected areas through participatory system dynamics modelling. *Landscape Online*. 2019. № 73. P. 1–17. URL: https://doi.org/10.3097/LO.201973.

Sukhdev P., Wittmer H., Schröter-Schlaack C., Neßhöver C., Bishop J., Ten Brink P., Gundimeda H., Kumar P., Simmons B., Neuville N. Mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. Nairobi : United Nations Environment Programme, 2010. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/230743686_Mainstreaming_the_Economics_of_Nature_a_Synthesis_of_the_Approach_Conclusions_and_Recommendations_of_TEEB (access date 05.02.2026)

References

Vasyliuk, O., & Ilminska, L. (2020). Ekosystemni posluhy: ohliad [Ecosystem services: review]. BO "BF "Fond zakhystu bioriznomanittia Ukrainy" [Charitable Organization "Charitable Foundation 'Biodiversity Protection Fund of Ukraine'"], 84 p. [Electronic resource] URL: https://dspace.organic-platform.org/xmlui/handle/data/427 (access date 07.02.2026) [in Ukrainian].

Zhuk, A. V. (2024). Ekosystemni posluhy, yak obiekt transdystsyplinarnoi kolaboratsii. [Ecosystem services as an object of transdisciplinary collaboration]. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 15(2), 17–27. https://doi.org/10.31548/biologiya15(2).2024.002 [in Ukrainian].

Iliuk, N., Kostenko, I., & Bidolakh, D. (2024). Vplyv antropohennoi diialnosti na pryrodni resursy: poshuk stiikykh modelei rozvytku [Impact of anthropogenic activity on natural resources: search for sustainable development models]. *Biota. Human. Technology*, 2, 77–88 https://doi.org/10.58407/bht.2.24.7 [in Ukrainian].

Komorin, V. M. (2023). Teoretyko-metodolohichni aspekty upravlinnia ekosystemnymy ryzykamy moria [Theoretical and methodological aspects of marine ecosystem risk management]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 31, 33–54. https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.03 [in Ukrainian].

Mykytyn, T., & Shershun, M. Kh. (2024). Ekoloho-ekonomichni osnovy rozvytku terytorii natsionalnykh pryrodnykh parkiv [Ecological and economic foundations of development of national natural parks territories] Edited by Shershun M. Kh. Rivne: Volynski oberehy, 400. ISBN 978-617-8161-17-4. [in Ukrainian].

Peliukh, O., & Zahvoiska, L. (2025). Bahatokryterialna optymizatsiia stsenariiv menedzhmentu lisiv Ukrainskykh Karpat u dyskursi paradyhmy ekosystemnykh posluh [Multicriteria optimization of forest management scenarios in the Ukrainian Carpathians within the ecosystem services

paradigm]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine],* 29, 246–255. https://doi.org/10.36930/412535 [in Ukrainian].

Solovii, I., & Zhmurko, N. (2023). Naukovi zasady ta teoretyko-metodolohichni pryntsypy vprovadzhennia kontseptsii pryrodooriientovanykh rishen [Scientific foundations and theoretical-methodological principles of implementing nature-based solutions]. *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and Society]*, 55, 1–8. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-85 [in Ukrainian].

Stankevych-Volosiianchuk, O. I., & Tsap, I. Yu. (2025). Pryntsypy ekosystemnoho pidkhodu do hospodariuvannia u Karpatskomu rehioni Ukrainy (na prykladi Borzhavskoho hirskoho masyvu) [Principles of the ecosystem approach to management in the Carpathian region of Ukraine (case of the Borzhava mountain massif)]. *Ekolohichni nauky [Ecological Sciences],* 2(59), 348. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.52 [in Ukrainian].

Tkach, V. P., et al. (2023). Ekonomichna otsinka ekosystemnykh posluh lisiv Ukrainy [Economic valuation of ecosystem services of Ukrainian forests]. UkrNDILHA [Electronic resource] URL: https://uriffm.org.ua/static/main/files/EcoSys.pdf (access date 10.02.2026) [in Ukrainian].

Khvesyk, M., & Ilina, M. (2022). Ecosystem payments as a tool for implementing the ecosystem approach in natural resource management. *Ekonomika Ukrainy [Economy of Ukraine]*, 65(10), 76–92. https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.10.076 [in Ukrainian].

Koko, I. A., Misana, S. B., Kessler, A., & Fleskens, L. (2020). Valuing ecosystem services: Stakeholders' perceptions and monetary values of ecosystem services in the Kilombero wetland of Tanzania. *Ecosystems and People*, 16(1), 411–426. https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1847198 [in English].

Hansen, C., Werner, E., & Bascou, P. (2025). Management plan 2025. European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. [Electronic resource] URL: https://commission.europa.eu/document/download/26ee012e-69aa-4ba5-83d2-378e881129da_en?filename=agri-mp_2025_en.pdf&prefLang=de (access date: 05.02.2026) [in English].

Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press. [Electronic resource] URL: https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf (access date 18.02.2026) [in English].

Scolozzi, R., Schirpke, U., & Geneletti, D. (2019). Enhancing ecosystem services management in protected areas through participatory system dynamics modelling. *Landscape Online*, 73, 1–17. https://doi.org/10.3097/LO.201973 [in English].

Sukhdev, P., Wittmer, H., Schröter-Schlaack, C., Neßhöver, C., Bishop, J., Ten Brink, P., Gundimeda, H., Kumar, P., Simmons, B., & Neuville, N. (2010). Mainstreaming the economics of nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. United Nations Environment Programme. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/230743686_Mainstreaming_the_Economics_of_Nature_a_Synthesis_of_the_Approach_Conclusions_and_Recommendations_of_TEEB (access date 05.02.2026) [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 18.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

ЗМІСТ

БІОЛОГІЯ

Є. В. Асмаковський, О. І. Яковенко. Фіторемедіаційні властивості деревних видів рослин у складі полезахисних лісосмуг Чернігівської області.....7

Л. М. Мороз, С. І. Сорокіна, Л. Ю. Соболенко. Гніздування горлиці садової (*Streptopelia decaocto*) як прояв еволюційно зумовлених адаптацій до урбанізованого середовища.....21

О. А. Пономарьова. Посухо- та жаростійкість культиварів роду *Acer* L. за показниками асиміляційного апарату в урбоценозах північного степу (на прикладі м. Дніпро).....29

О. О. Протасов, І. О. Морозовська, П. М. Шкуро. Довгострокові зміни угруповань зооперифітону Канівського водосховища (басейн Дніпра).....38

ГЕОГРАФІЯ

В. В. Луцюк. Релокація підприємств України в умовах воєнного стану: суспільно-географічний аспект.....50

С. М. Остапчук, А. В. Прокопчук, О. П. Остапчук. Географічні центри територіальних громад Сарненського району Рівненської області як туристичні атракції.....59

О. В. Паланичко, О. О. Катринін. Оцінка водного режиму річки Сірет та її значення для управління водними ресурсами.....67

І. Р. Рудакевич, Б. В. Заблоцький. Сучасна геодемографічна характеристика приміських територіальних громад міста Тернопіль.....76

Ю. С. Ющенко, М. Д. Пасічник, А. А. Мельник. Природні хоричні річкові ландшафти та басейнові геосистеми (хорично-регіональна модель ландшафтного устрою районів річкових басейнів).....87

ХІМІЯ

V. M. Ischenko, N. P. Kvitkovska, I. V. Popova, M. V. Ischenko, V. S. Tanchyn. Determination of polyphenolic compounds in honey samples of different otanical origin.....96

N. V. Kusiak, K. P. Svyrydiuk. Functionalized Fe_3O_4 nanocomposites as platforms for bioactive molecule immobilization and targeted drug delivery.....106

О. І. Хижан, Л. О. Ковшун, О. І. Хижан, А. Г. Галстян. Оцінка елементного складу водних екосистем Київщини методом атомно-емісійної спектрометрії.....119

АГРОНОМІЯ

В. С. Бурлака, В. В. Волошина, Л. І. Білик. Шляхи збереження біорізноманіття культури яблуні в умовах кліматичних змін та його роль у покращенні екосистеми.....129

Є. Ю. Бутенко, Е. Г. Підлужний, О. Л. Шевченко, Л. М. Чернобай, М. С. Желдубовський. Залежність показників врожайності пшениці озимої від строків сівби в умовах Північно-східного Лісостепу України.....137

П. М. Вергелес, В. В. Мостовенко. Дослідження ефективності діючих речовин фунгіцидів за вирощування томатів у плівкових теплицях.....147

В. А. Гаврилюк, Р. Я. Мелимука. Моделі ландшафтної адаптації як спосіб підвищення продуктивності осушуваних ґрунтів Західного Полісся.....159

В. Д. Дімов, Л. М. Поташова. Формування продуктивності квасолі під дією сучасних біопрепаратів у Східному Лісостепу України.....168

Р. Г. Мешко, І. І. Ярчук. Реакція пшениці озимої Мудрість Одеська на комплексні препарати.....178

С. М. Михайлик, І. В. Смульська, О. О. Кічігіна, А. М. Гапоненко. Сортові особливості формування врожайності зерна нових середньоранніх гібридів кукурудзи звичайної у зоні Полісся України.....187

Р. О. М'ялковський, О. І. Мулярчук, В. В. Лапчинський, Д. П. Плахтій. Вплив агротехнічних заходів на формування структурних елементів урожайності кукурудзи на зерно в умовах Західного Лісостепу України.....198

В. В. Остапчук, Ю. М. Михайловин, Л. М. Кононенко. Особливості розвитку пшениці озимої на початкових етапах онтогенезу за внесення мінеральних добрив..... 206

В. З. Панчишин, Ю. С. Шелюк, Б. В. Матвійчук, Н. Г. Матвійчук, О. В. Гурєєв. Урожайність редису (*Raphanus Sativus L.*) залежно від удобрення та сорту в ґрунтових теплицях в умовах Полісся України..... 215

Я. Г. Цицюра, Б. О. Кирилюк. Ефективність використання кремнієвмісних мікродобрив для підвищення стресостійкості сої..... 224

В. В. Яценко, В. С. Горбенко. Формування структури врожаю та продуктивності сої за різних систем обробітку ґрунту в умовах Правобережного Лісостепу України..... 240

ЕКОЛОГІЯ

A. A. Bilushenko. Ecological and faunistic analysis of vertebrate fauna of the "Peremoghy" park in the city of Cherkasy..... 251

A. T. Dudynska, V. O. Romanko, L. O. Adamchuk. Dynamics of biodiversity parameters of acarid mites in apiaries of the Uzhhorod district of the Transcarpathia in lowland conditions..... 263

I. V. Khomiak. Plant communities of the *Artemisietea vulgaris* in spontaneous terraforming models of extraterrestrial ecosystems..... 275

А. П. Вакал, Ю. І. Литвиненко. Поширення раритетних видів судинних рослин у басейні річки Сула у межах Сумської області..... 286

М. В. Геков. Еколого-правове забезпечення реалізації цілей сталого розвитку міських громад в Україні з урахуванням міжнародного досвіду..... 300

Я. Т. Місик, Т. В. Козуля. Методологічні основи формування системи управління екосистемними послугами на природоохоронних територіях..... 309