

ISSN: 2306-9716 (Print)
ISSN: 2664-6110 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

5(62) ЧАСТИНА 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2025. – № 5(62). – Ч. 2. – 244 с.

Головний редактор: Бондар О.І., доктор біологічних наук

Заступник головного редактора-відповідальний редактор: Сікачина В.Г.

Науковий редактор: Машков О.А., доктор технічних наук

Редакційна колегія:

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Іващенко Т.Г., доктор технічних наук

Коніщук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук

Машков В.А., доктор технічних наук (Чехія)

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук.

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1408 від 25.04.2024 року. Ідентифікатор медіа R30-04036.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Державний заклад «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління» (вул. Митрополита Василя Липківського, буд. 35, м. Київ, 03035, dei2005@ukr.net, тел. (044) 206-31-32).

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1) журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі біологічних наук (Е1 – Біологія та біохімія), природничих наук (Е2 – Екологія, Е4 – Науки про Землю) та технічних наук (G2 – Технології захисту навколишнього середовища).

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та практичні здобутки в галузі екологічних наук.

Мови розповсюдження: українська, англійська, польська, німецька, французька, іспанська.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення [StrikePlagiarism.com](https://www.strikeplagiarism.com) від польської компанії [Plagiat.pl](https://www.plagiat.pl).

*Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International
(Республіка Польща)*

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ.....	7
Кірейцева Г.В., Хоменко С.В., Шомко О.М., Гнітецький О.М., Скорик М.А. Оцінка впливу пожеж на рослинність заповідника «Древлянський» в умовах військових дій.....	7
Серікова О.М. Актуальні проблеми визначення розміру шкоди, завданої довкіллю внаслідок воєнних дій.....	15
Шевченко Р.Ю. Оцінка впливу екологічної деградації, викликаной збройною агресією, на рекреаційні та еколого-освітні дестинації ПЗФ та зелених зон.....	20
ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ.....	25
Литвин Б.Б., Петльована В.Р., Таран Н.Ю. Екологічні та комерційні перспективи використання <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> у ревіталізаційних процесах.....	25
ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ.....	30
Бігун М.В. Сучасні геоморфологічні процеси Передкарпаття.....	30
Бунякова Ю.Я. Особливості екологічної стандартизації і сертифікації в Україні на шляху до євроінтеграції. Огляд.....	39
Добровольський О.С., Барабаш О.В., Покшевницька Т.В., Полушкін Ю.Ю. Комплексний підхід до вибору методів дослідження в процедурі оцінки впливу на довкілля.....	44
Івашенко І.В., Котюк Л.А., Тимошук Т.М., Бакалова А.В., Грицюк Н.В. Сировинна продуктивність <i>Glebionis coronaria</i> (L) Cass. ex Spach за умов інтродукції в Центральному Полісі України.....	49
Логвиненко Д.О., Кравченко І.В. Міждисциплінарний підхід як орієнтир для осучаснення освітньої програми з екології.....	57
Сіренко А.Г., Римарук П.В. Біотопічний розподіл бджіл-шахтарів (Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta) в умовах Національного природного парку «Верховинський» та прилеглих територій.....	64
Філенко О.М., Сакун А.О., Тихомирова Т.С., Босюк А.С. Практичний досвід формування екологічної культури школярів через участь в екологічних конкурсах.....	72
Фурсов В.М., Клименко С.І., Крешун Р.М. Розповсюдження інвазійного виду, азіатського шершня <i>Vespa velutina</i> (Hymenoptera: Vespidae) в Європі та можливості поширення в Україні як реальної загрози бджільництву.....	77
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	83
Гнєзділова В.І., Різничук Н.І., Миленька М.М., Козак І.І. Медичні властивості <i>Origanum vulgare</i> L.: фітохімічний склад та фармакологічний потенціал.....	83
Головач Ю.М. Гармонізація вимог документа про підтвердження відповідності нафтопродуктів, виданого іноземним суб'єктом до засад технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив.....	88
Євтушенко О.В., Сірик А.О., Шевченко О.Ю., Літвинчук С.І., Маринін А.І., Святненко Р.С. Екологічні особливості та безпека праці працівників об'єктів бджільництва.....	93
Кагукіна А.М., Пацева І.Г., Валерко Р.А., Герасимчук Л.О. Оксид вуглецю як компонент системи парникових газів: екологічні аспекти та динаміка викидів у місті Житомир.....	101
Калініченко О.О., Мельников А.Ю., Нікітіна С.В., Волков Ю.В. Дослідження форм вмісту важких металів в контексті законодавства Європейського Союзу.....	106
ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	111
Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Плотніков Є.О. Штучний інтелект у системах екологічної безпеки: від моніторингу до превентивного управління.....	111
ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГО-ЗБАЛАНСОВАНОГО РОЗВИТКУ.....	116
Bozhenko A. Problems of post-war use of wind energy in the South of Ukraine.....	116

Шестопалов О.В., Цейтлін М.А., Крючкова В.В., Кочетов М.С. Дослідження можливості вторинного використання мішків для транспортування кави в системі циркулярної економіки.....	122
УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ	129
Волошин В.С. Про один механізм прояви корисності металургійних відходів.....	129
Моїсєєв В.Ф., Манойло Є.В., Василенко А.О., Лук'яненко М.А. Зневоднення фільтрату в технології сухого зброджування відходів.....	138
Полушкін Т.І., Сафранов Т.А. Особливості поводження з відходами поліетилентерефталату в регіонах України.....	143
Сорочинська О.Л. Стратегії управління відходами від руйнацій як основа сталого розвитку та післявоєнної відбудови України.....	150
Тихомирова Т.С., Разно М.Р. Дослідження чинників, що впливають на морфологічний склад побутового компосту в Україні.....	155
Фролов В.Ф., Степова О.В., Кутний Б.А. Аналіз ресурсного потенціалу побутових відходів на прикладі Полтавської області.....	160
ЗМІНА КЛІМАТУ	165
Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М., Шевчук Л.М., Васильєва Л.А. Аналіз впливу кліматичних змін на структуру та динаміку природних ландшафтів.....	165
Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б., Прокопишин В.І. Варіації температури атмосферного повітря та їх зв'язок із геодинамічним та сейсмічним станами Карпатського регіону.....	170
Романчук Л.Д., Голуб В.О., Кравчук-Ободзінська Т.В. Біотехнологічні підходи до підвищення екологічної безпеки виробництва харчової продукції в умовах кліматичних змін (на прикладі злакових культур).....	179
Семергей-Чумаченко А.Б., Сич Н.Г. Динаміка річної суми опадів у Вінницькій області.....	183
Семергей-Чумаченко А.Б., Уманська О.В., Боровська Г.О. Грозова активність холодного сезону в Україні.....	190
Сірук І.М. Роль екодизайну в адаптації міського середовища до змін клімату: приклади з українських міст.....	198
РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ	205
Гордій Н.М. Сучасний стан заповідної справи в Україні та країнах Європейського Союзу.....	205
Пакуляк А.Ю., Григорчук І.Д., Любінська Л.Г. Еколого-біологічні особливості флори кар'єрів Національного природного парку «Подільські товтри».....	209
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	213
Бойчук В.Б., Різничук Н.І. Біоекологічна оцінка деревно-чагарникових насаджень скверу Валуний в Івано-Франківську: структура, життєвий стан та перспективи реконструкції.....	213
Герасимчук О.Л., Шевчук Л.М., Васильєва Л.А., Іськов С.С., Криворучко А.О. Ландшафтно-екологічна оцінка рекреаційного потенціалу Житомирщини за умов природних загроз.....	219
Коваленко Ю.О., Причепя М.В. Екологічне значення паркових водойм та природоорієнтовані підходи для підтримання біорізноманіття і екосистемних послуг в умовах міста.....	224
Фокшей С.І., Погрібний О.О. Видове різноманіття мікобіоти в природному угрупованні бука лісового та барвінку малого (Національний природний парк «Гуцульщина»).....	231
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	238

CONTENTS

ENVIRONMENTAL IMPLICATION OF MILITARY ACTIONS.....	7
Kireitseva H., Khomenko S., Shomko O., Hnitetskyi O., Skoryk M. Assessment of fire impact on vegetation in the Drevlyansky Nature Reserve under military action conditions.....	7
Sierikova O. Current problems to determine the damage size caused to the environment by the military actions.....	15
Shevchenko R. Assessment of the impact of environmental degradation caused by armed aggression on recreational and environmental educational destinations of the Nature Reserve Fund and green areas.....	20
GENERAL ECOLOGY.....	25
Lytvyn B., Petlovana V., Taran N. Ecological and commercial prospects for the use of <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> in revitalization processes.....	25
THEORETICAL ECOLOGY.....	30
Bihun M. Contemporary geomorphological processes of the Pre-Carpathian region	30
Bunyakova Yu. Features of environmental standardization and certification in Ukraine on the path to European integration. Review.....	39
Dobrovolskiy O., Barabash O., Pokshevnytska T., Polushkin Yu. Comprehensive approach to research methods selection in environmental impact assessment procedures	44
Ivashchenko I., Kotyuk L., Tymoshchuk T., Bakalova A., Hrytsiuk N. Raw material productivity of <i>Glebionis coronaria</i> (L) Cass. ex Spach under the condition of introduction in the Central Polissya of Ukraine.....	49
Lohvynenko D., Kravchenko I. An interdisciplinary approach as a guideline for modernizing the ecology education program.....	57
Sirenko A., Rymaruk P. Biotopic distribution of miner bees (Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta) in the conditions of the Verkhovynsky National Nature Park and adjacent territories.....	64
Filenko O., Sakun A., Tykhomyrova T., Bosiuk A. Practical experience in forming the environmental culture of schoolchildren through participation in environmental competitions.....	72
Fursov V., Klymenko S., Kreshun R. The spread of the invasive species, the Asian hornet <i>Vespa velutina</i> (Hymenoptera: Vespidae) in Europe and the possibility of its spread in Ukraine as a real threat to beekeeping industry.....	77
GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES.....	83
Gniezdilova V., Riznychuk N., Mylenka M., Kozak I. Medical properties of <i>Origanum vulgare</i> L.: phytochemical composition and pharmacological potential	83
Holovach Yu. Harmonization of the requirements for a document confirming the conformity of petroleum products issued by a foreign entity with the principles of the technical regulation on automotive gasoline, diesel, marine and boiler fuels.....	88
Yevtushenko O., Siryk A., Shevchenko O., Litvynchuk S., Marynin A., Svyatnenko R. Environmental features and occupational safety of beekeeping facilities employees.....	93
Kahukina A., Patseva I., Valerko R., Herasymchuk L. Carbon monoxide as a component of the greenhouse gas system: environmental aspects and emission dynamics in the city of Zhytomyr.....	101
Kalinichenko O., Melnykov A., Nikitina S., Volkov Yu. Research on forms of heavy metal content in the context of European Union legislation.....	106
INNOVATIVE ASPECTS OF THE LEVEL INCREASE OF ENVIRONMENTAL SAFETY.....	111
Valerko R., Herasymchuk L., Plotnikov I. Artificial intelligence in environmental safety systems: from monitoring to preventive management	111
ISSUES OF ECOLOGICALLY SUSTAINABLE DEVELOPMENT.....	116
Bozhenko A. Problems of post-war use of wind energy in the South of Ukraine.....	116

Shestopalov O., Tseitlin M., Kryuchkova V., Kochetov M. Research on the possibility of reusing coffee transportation bags in a circular economy.....	122
WASTE MANAGEMENT	129
Voloshyn V. On one mechanism of manifestation of the usefulness of metallurgical wastes.....	129
Moiseev V., Manoilo E., Vasylenko A., Lukianenko M. Filtrate dewatering in dry waste fermentation technology.....	138
Polushkin T., Safranov T. Features of Polyethylene Terephthalate Waste management in the regions of Ukraine.....	143
Sorochynska O. Strategies for managing debris waste as a basis for sustainable development and post-war reconstruction of Ukraine	150
Tykhomyrova T., Razno M. Research on factors affecting the morphological composition of household compost in Ukraine.....	155
Frolov V., Stepova O., Kutnyi B. Analysis of the resource potential of household waste on the example of the Poltava region.....	160
CLIMATE CHANGE	165
Herasymchuk O., Kahukina A., Shevchuk L., Vasilieva L. Analysis of the impact of climate change on the structure and dynamics of natural landscapes.	165
Ihnatyshyn V., Malyskyi D., Izsák T., Molnar D., Rats A., Ihnatyshyn A., Ihnatyshyn M., Prokopyshyn V. Variations in atmospheric air temperature and their relationship to geodynamic and seismic conditions in the Carpathian region.....	170
Romanchuk L., Holub V., Kravchuk-Obodzinska T. Biotechnological approaches to improving the environmental safety of food production in the context of climate change (on the example of cereal crops).....	179
Semerhei-Chumachenko A., Sych N. Dynamics of annual precipitation in the Vinnytsia region.....	183
Semerhei-Chumachenko A., Umanska O., Borovska H. Thunderstorm activity in the cold season in Ukraine	190
Siruk I. The role of ecodesign in adapting the urban environment to climate change: examples from Ukrainian cities.....	198
DEVELOPMENT OF THE UKRAINIAN NATURE RESERVE FUND	205
Hordii N. Current status of the conservation in Ukraine and European Union countries.....	205
Pakulyak A., Hryhorchuk I., Lyubinska L. Ecological and biological features of the flora of the quarries of the National Nature Park “Podilski Tovtry”.....	209
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	213
Boichuk V., Riznychuk N. Bioecological assessment of the tree and shrub plantings in Valovyi Square in Ivano-Frankivsk: structure, condition, and prospects for reconstruction.....	213
Herasymchuk O., Shevchuk L., Vasilieva L., Iskov S., Kryvoruchko A. Landscape and ecological assessment of the recreational potential of Zhytomyr region under the conditions of natural threats.....	219
Kovalenko Yu., Prychepa M. Ecological significance of park ponds and nature-based approaches to maintaining biodiversity and ecosystem services in urban environments.....	224
Fokshei S., Pohribnyi O. Species diversity of mycobiota in a natural community of forest beech and small periwinkle National Nature Park “Hutsulshchyna”.....	231
AUTHORS’ CREDENTIALS	238

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ

УДК 504.054:502.175:528.8(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.1>

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОЖЕЖ НА РОСЛИННІСТЬ ЗАПОВІДНИКА «ДРЕВЛЯНСЬКИЙ» В УМОВАХ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Кірейцева Г.В.¹, Хоменко С.В.¹, Шомко О.М.², Гнітецький О.М.¹, Скорик М.А.¹

¹Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

²Пармський університет

Парко Ареа делле Шенце, 43124, Парма, Італія

gef_kgv@ztu.edu.ua, org_hsv@ztu.edu.ua, phd184231_gom@student.ztu.edu.ua,

phd184232_sma@student.ztu.edu.ua, ke_miyu@ztu.edu.ua

Стаття присвячена дослідженню стану рослинності природного заповідника «Древлянський» за допомогою індексу NDVI з використанням супутникових знімків Sentinel-2. Актуальність дослідження зумовлена значним впливом військових дій на екосистеми України, зокрема через пожежі, спричинені бойовими діями. За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у 2023 році лісові пожежі охопили в 3 рази більшу територію порівняно з 2022 роком, а площа постраждалих лісових земель склала 51 тис. га, що в 170 разів перевищує довоєнні показники. Щільність пожеж у прифронтових зонах виявилася у 49 разів вищою порівняно з іншими територіями України. Природний заповідник «Древлянський», розташований у Житомирській області, площею 30872,84 га, є унікальним природним комплексом Українського Полісся з 516 видами фауни та 973 видами флори. У роботі проаналізовано супутникові знімки за 2021–2023 роки для трьох сезонів: весна (квітень), літо (серпень) та осінь (жовтень), що дозволило охопити весь вегетаційний період від початку до завершення. Використання індексу NDVI, розрахованого за формулою $(NIR-RED)/(NIR+RED)$ з використанням червоного (Band 4) та ближнього інфрачервоного (Band 8) діапазонів, дозволило оцінити стан рослинного покриву та виявити зміни, спричинені пожежами та іншими наслідками військових дій. Результати показали значне зниження показників NDVI у 2022 році порівняно з 2021 роком: у квітні максимальне значення знизлося з $>0,3645$ до $>0,3511$, у серпні – з $>0,5777$ до $>0,5569$, у жовтні – з $>0,5446$ до $>0,5251$, що свідчить про погіршення стану рослинності після бойових дій. Внаслідок окупації та активних бойових дій на території заповідника у 2022 році було зафіксовано 22 пожежі, які охопили 2100 гектарів, знищивши лісові насадження та торфовища. Дослідження демонструє ефективність використання технологій дистанційного зондування Землі для моніторингу лісового покриву в умовах обмеженого фізичного доступу до постраждалих територій. Отримані результати є основою для розробки ефективних стратегій відновлення та реабілітації постраждалих екосистем, планування природоохоронних заходів та оцінки довгострокових екологічних наслідків військових дій на природно-заповідні території України. *Ключові слова:* дистанційний моніторинг, нормалізований різницевий вегетативний індекс, природоохоронні території, пожежі, екологічна безпека, зміна клімату.

Assessment of fire impact on vegetation in the Drevlyansky Nature Reserve under military action conditions. Kireitseva H., Khomenko S., Shomko O., Hnitskyi O., Skoryk M.

The article is dedicated to the study of vegetation conditions in the Drevlyansky Nature Reserve using the NDVI index derived from Sentinel-2 satellite imagery. The relevance of the study is determined by the significant impact of military operations on Ukrainian ecosystems, particularly through fires caused by combat activities. According to the State Emergency Service of Ukraine, in 2023 forest fires covered three times larger area compared to 2022, with the affected forest land area reaching 51 thousand hectares, which is 170 times higher than pre-war indicators. Fire density in frontline zones was 49 times higher compared to other territories of Ukraine. The Drevlyansky Nature Reserve, located in Zhytomyr Oblast and covering an area of 30,872.84 hectares, represents a unique natural complex of Ukrainian Polissya with 516 fauna species and 973 flora species. The study analyzed satellite images for 2021–2023 across three seasons: spring (April), summer (August), and autumn (October), which enabled comprehensive coverage of the entire vegetation period from beginning to end. The application of the NDVI index, calculated using the formula $(NIR-RED)/(NIR+RED)$ with red (Band 4) and near-infrared (Band 8) spectral ranges, allowed for the assessment of vegetation cover conditions and identification of changes caused by fires and other consequences of military operations. The results demonstrated a significant decrease in NDVI values in 2022 compared to 2021: in April, the maximum value declined from >0.3645 to >0.3511 , in August from >0.5777 to >0.5569 , and in October from >0.5446 to >0.5251 , indicating deterioration of vegetation conditions following combat activities. As a result of occupation and active combat operations on the reserve territory in 2022, 22 fires were recorded, affecting 2,100 hectares and destroying forest plantations and peatlands. The study demonstrates the effectiveness of Earth remote sensing technologies for monitoring forest cover under conditions of limited physical access to affected territories. The obtained results provide a foundation for developing effective strategies for restoration and rehabilitation of damaged ecosystems, planning conservation measures, and assessing long-term environmental consequences of military operations on nature conservation areas of Ukraine. *Key words:* remote monitoring, normalized difference vegetation index, protected areas, fires, environmental safety, climate change.

Постановка проблеми. Військові дії в Україні, що розпочалися у 2014 році повномасштабне вторгнення росії у 2022 році, спричинили численні пожежі, які завдали значної шкоди навколишньому середовищу та екосистемам. Особливо загрозливою є ситуація з лісовими пожежами: якщо у 2021 році зареєстровано 660 пожеж на площі 0,3 тис. га, то у 2023 році їх кількість зросла до 1278 на площі 51 тис. га, що в 170 разів перевищує довоєнні показники. Щільність пожеж у прифронтових зонах виявилася у 49 разів вищою порівняно з іншими територіями. Природні заповідники зазнають особливо значних втрат, оскільки містять унікальні екосистеми з рідкісними видами, відновлення яких може виявитися незворотним процесом. Оцінка масштабів та характеру шкоди є складним завданням через обмежений доступ до постраждалих територій та брак даних моніторингу. Тому використання технологій дистанційного зондування, зокрема нормалізованого різницевого вегетаційного індексу (NDVI) на основі супутникових знімків Sentinel-2, стає критично важливим інструментом для своєчасного моніторингу стану рослинності, виявлення змін у лісових екосистемах та розробки ефективних стратегій відновлення природних територій в умовах військових дій.

Актуальність дослідження. Згідно з різними експертними оцінками, від 20 до 30 % території України вже постраждали від військових дій наслідками яких є: забруднення ґрунтів важкими металами в результаті розриву снарядів та мін, забруднення повітря внаслідок вибухів та пожеж, лісові пожежі внаслідок загорянь після обстрілів, знищення природоохоронних територій, та як наслідок порушення міграційних шляхів тварин та знищення біорізноманіття, забруднення мінами та нерозірваними боєприпасами [1].

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2023 році лісові пожежі охопили в 3 рази більшу територію в порівнянні з 2022 роком. На рисунку 1 представлено інформація щодо кількості пожеж в Україні за 2021–2023 роки.

Аналізуючи дані рисунку, варто відмітити, що кількість пожеж у 2023 році на 21,5% більша від 2022 року та на 93,6% більша від 2021 року. Для порівняння: у 2022 році сталося 1052 лісових пожежі, а у 2021 році – 660. У 2023 році площа лісових земель, пройдена пожежами, склала 51 тис. га. Це в 3,2 рази більше від 2022 року та в 170 разів більше від 2021 року. Для порівняння: у 2022 році це було 15,8 тис. га, а у 2021 році – 0,3 тис. га. У 2023 році збитки через лісові пожежі склали близько 2,05 млрд грн. Це в 6,8 рази більше від 2022 року та в 975 разів більше від 2021 року. Для порівняння: у 2022 році збитки через лісові пожежі становили 302,4 млн грн, а у 2021 році – 2,1 млн грн [2].

Особливо небезпечними є пожежі на територіях природно-заповідного фонду, адже на цих територіях містяться рідкісні та унікальні екосистеми, які формувалися протягом тривалого часу та їх втрата може бути незворотною. Пожежі можуть призвести до загибелі цілих популяцій рідкісних видів, що перебувають під загрозою зникнення. Оскільки природно-заповідні території часто слугують генетичним резервуаром для багатьох видів то втрата цього генетичного різноманіття може мати довгострокові наслідки для еволюції та адаптації видів [3].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України в галузі екологічної безпеки та охорони навколишнього природного середовища. Робота узгоджується з Основними засадами (стратегією) державної екологічної політики України на період до 2030 року та Стратегією національної безпеки України, які передбачають необхідність оцінки екологічних наслідків військових дій та розробки заходів щодо відновлення постраждалих природних територій.

З практичної точки зору, дослідження вирішує актуальне завдання розробки ефективних методів дистанційного моніторингу природно-заповідних

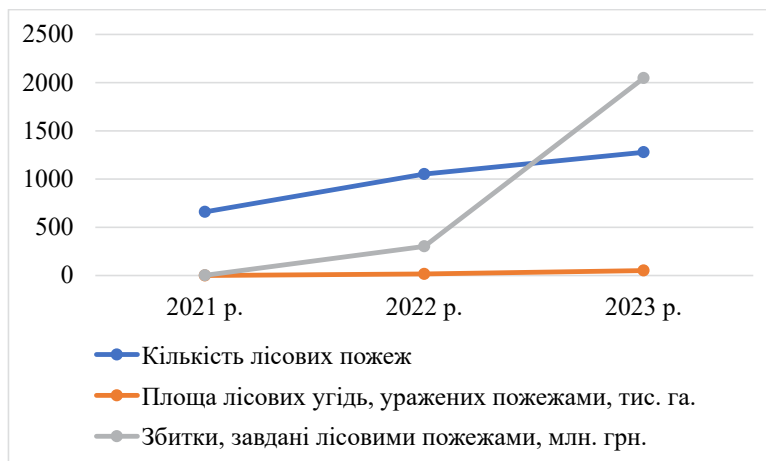


Рис. 1. Дані щодо лісових пожеж в Україні за 2021–2023 роки

територій в умовах обмеженого або відсутнього фізичного доступу через активні бойові дії, що є критично важливим для своєчасного виявлення та оцінки масштабів екологічних порушень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання впливу військових дій на природні екосистеми та методів їх моніторингу розглядаються у низці сучасних наукових досліджень. Зокрема, Роман Л.Ю. проаналізував екологічні загрози об'єктів природно-заповідного фонду України у воєнний період [1]. Спрягайло О.В., Безсмертна О.О., Гаврилук М.Н. та інші здійснили оцінку впливу воєнних дій на стан природно-заповідних територій та біорізноманіття [2]. Кузик А.Д. та Товарянський В.І. дослідили вплив військових дій на лісові екосистеми та перспективи їх відновлення [4]. Удовенко І.О., Мамчур В.В. та Сержантова Ю.Ю. провели аналіз наслідків війни для природно-заповідного фонду [3]. Методологічні аспекти використання дистанційного зондування розглянуті у працях Zhukova M.V., Zatserkovnyu V.I., Trofimenko P.I., які обґрунтували створення регіональних центрів обробки просторових даних [5]. Однак комплексний аналіз стану рослинності природно-заповідних територій України в умовах активних військових дій з інтеграцією даних про викиди забруднюючих речовин під час пожеж залишається недостатньо вивченим, що обґрунтовує актуальність дослідження.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна. Незважаючи на наявність досліджень впливу військових дій на природні екосистеми, залишаються не вирішеними питання комплексної оцінки стану рослинності природно-заповідних територій в умовах активних бойових дій з використанням технологій дистанційного зондування. Не розроблено методики сезонного моніторингу лісових екосистем на основі індексу NDVI, яка дозволяла б виявляти кумулятивні ефекти тривалих військових дій та пожеж. Не розроблено інтегрований підхід до оцінки екологічних наслідків військових дій, який би поєднував дані дистанційного моніторингу з аналізом емісії забруднювачів для прогнозування тривалості процесів відновлення екосистем. Наукова значущість роботи полягає у внеску в розвиток методології дистанційного моніторингу природних екосистем в екстремальних умовах, розширенні наукових знань про вплив військових дій на лісові екосистеми та процеси їх відновлення, а також у формуванні методологічної бази для довгострокового екологічного моніторингу постраждалих від війни природних територій України.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Для дослідження була обрана територія природного заповідника «Древлянський», який знаходиться в Житомирській області, на південь і схід від смт Народичі, вздовж річки Уж та її правих при-

ток – Лозниця, Ослів, Звіздаль. Площа заповідника 30872,84 га та він охоплює землі державної та комунальної власності. Створений заповідник з метою збереження унікальних лісових і водно-болотних природних комплексів Українського Полісся, охорони реліктових та ендемічних рослин і тварин та відтворення і збагачення природних лісів регіону [6].

На даний час Древлянський природний заповідник перебуває у фазі збереження та відновлення біорізноманіття (516 видів фауни та 973 види флори), а тому представляє величезну цінність для дослідження природних процесів. Його особлива цінність полягає у тому, що в цих лісах не проводились комерційні рубки після аварії на Чорнобильській АЕС. Це дозволяє відслідковувати та досліджувати природні процеси, що відбуваються в умовах, де людський вплив на природу мінімальний. Така унікальна ситуація створює сприятливі умови для відновлення та розвитку різноманітних форм життя [7].

Розподіл біотопів заповідника за площею є специфічним: ліси – 54,68 % площі, і вона буде збільшуватися з часом за рахунок спонтанного та штучного заліснення перелогів; луки – 34,58 %, в т.ч. сіножаті – 14,66 %, пасовища – 19,92 %. Заповідник характеризується значною участю перелогів (7,87 %) та земель населених пунктів (2,75 %), відселених та покинутих внаслідок значного радіоактивного забруднення. Невелика частка площі заповідника представлена заболоченими землями та чагарниками – 0,05 та 0,07 % відповідно [8].

На території заповідника за останні роки було декілька серйозних пожеж. У 2020 році пожежа спалахнула через надзвичайно суху погоду та сильний вітер, що сприяло швидкому поширенню вогню. Пожежа охопила понад 6 тисяч гектарів території заповідника, включаючи найбільш радіоактивно забруднені ділянки. Також в результаті ракетно-бомбових ударів у 2022 році, вогнем було знищено понад 2100 гектарів лісових насаджень. Ці події підкреслюють важливість заходів з попередження пожеж та керування ними на таких унікальних територіях, особливо враховуючи радіаційні ризики та їх можливі наслідки [9].

Забезпечення якісного моніторингу пов'язане з двома основними проблемами: своєчасність отримання інформації та просторове охоплення території. Необхідність їх вирішення зумовила розвиток методів дистанційного моніторингу, серед яких особливе місце посідає супутниковий моніторинг, який останнім часом починає відігравати дедалі важливішу роль у виявленні небезпечних явищ та оцінюванні їх наслідків. Сьогодні вже величезна кількість штучних супутників Землі здійснюють безперервний моніторинг найрізноманітніших компонентів природного середовища. Причому, чим більше природних процесів вдається охопити, тим більш вузькоспеціалізованими стають супутники, що дає можливість поглибити розуміння взаємопов'язаності

природних процесів, складності формування небезпечних явищ, зокрема їх взаємозалежності з антропогенними процесами [10].

Супутникові дані високого просторового розділення, які надаються такими супутниками, як Landsat та Sentinel, виявляються надзвичайно корисними для деталізованого вивчення лісів на локальному рівні. Адже, вони дозволяють не лише оцінювати зміни в розподілі лісового покриву, але й виявляти втрату лісів через вирубку, зміни природних умов чи інші фактори, такі як військові дії. Це надає можливість розуміти, які саме ділянки потребують уваги для збереження природних ресурсів та здоров'я екосистем [10].

Супутникові дані дають змогу оцінити масштаби пожеж, їх шкідливий вплив, а також отримати вихідні дані для підрахунку збитків, заподіяних пожежами. Крім того, є можливість ідентифікувати пожежі, визначити райони активних бойових дій. Сучасні технології дистанційного зондування Землі дозволяють виконувати інфрачервоне (теплове), спектрозональне сканування і зйомку у видимому діапазоні. Їх поєднання дає змогу фіксувати пожежі та визначати їх параметри: випромінювану потужність, видимий вплив (задимлення), а також випалені землі (за обчисленим вегетаційним індексом). Саме за допомогою супутникових знімків стало можливим визначати відновлення рослинності за допомогою нормалізованого різницевого вегетативного індексу (NDVI) [11].

Використання нормалізованого різницевого вегетаційного індексу (NDVI), розрахованого за допомогою супутникових знімків, є надзвичайно важливим інструментом для моніторингу стану лісової рослинності, оскільки супутникові знімки дозволяють охопити великі площі лісів, включаючи важкодоступні райони, що неможливо зробити традиційними наземними методами, супутники можуть надавати дані з високою часовою роздільною здатністю, дозволяючи проводити моніторинг змін у лісах протягом сезону та років, це, в свою чергу, дає можливість швидко виявляти аномалії та зміни у стані лісів. NDVI ефективний для моніторингу відновлення лісів після пожеж, вирубок, або інших порушень, дозволяючи оцінити швидкість та якість регенерації. Порівняно з наземними дослідженнями, супутниковий моніторинг є більш економічно ефективним, особливо для великих територій [12]. Отже, використання NDVI, розрахованого за допомогою супутникових знімків, є потужним, ефективним та багатостороннім інструментом для моніторингу стану рослинності.

Виклад основного матеріалу. Першим етапом дослідження є визначення необхідних дат та сезонів, оскільки рослинність має чіткі сезонні цикли росту, цвітіння та в'янення і NDVI значно варіюється залежно від сезону, відображаючи ці природні цикли. Для уникнення помилкових висновків про відновлення рослинності та для коректного аналізу

змін у часі необхідно порівнювати знімки, зроблені в один і той же сезон різних років.

В даному дослідженні були використані знімки зроблені в квітні, серпні та жовтні 2021–2023 роках. Вибір саме цих місяців зумовлений тим, що квітень це початок вегетаційного періоду в помірному кліматі України. Він відображає стан рослинності після зимового періоду та дозволяє оцінити швидкість відновлення рослинного покриву навесні, а отже є важливим для виявлення ранніх ознак пошкоджень або змін в екосистемі. У серпні відбувається пік вегетаційного періоду для більшості видів рослин та максимальна фотосинтетична активність рослинності, дозволяє оцінити стан рослинності в найбільш продуктивний період. Саме серпень є важливим для виявлення аномалій у розвитку рослин (наприклад, вплив посухи або пожеж). Жовтень є важливим для виявлення змін у сезонній динаміці рослинності та дозволяє оцінити тривалість вегетаційного періоду та стан рослинності перед входом у період спокою. Таким чином, обрані місяці охоплюють початок, пік та кінець вегетаційного періоду, що дає повну картину сезонної динаміки рослинності. Порівняння даних за ці місяці дозволить виявити відхилення від нормального циклу розвитку рослин. У контексті дослідження наслідків пожеж, ці місяці дозволяють оцінити по перше, весняне відновлення після пожеж попереднього року, по друге – максимальний вплив на рослинність у пік сезону та довгострокові наслідки та здатність до відновлення.

Наступним етапом є підготовка та завантаження різночасових супутникових знімків з Sentinel-2. Цей етап є важливим в контексті аналізу змін у земному покриві, оскільки він забезпечує нашу основну джерельну інформацію для подальших досліджень. За допомогою Copernicus Open Access Hub – онлайн-платформи, яка надає безкоштовний та відкритий доступ до супутникових даних, зібраних в рамках програми Copernicus Європейського космічного агентства (ESA) був виконаний пошук і вибір конкретних зображень з урахуванням потрібних дат та регіонів. Завантажені зображення зберігаються для подальшого аналізу та обробки, де вони стануть основою для дослідження змін у земному покриві на наступних етапах дослідження. Для аналізу використовувалися знімки з просторовою роздільною здатністю 10 та на яких було безхмарне небо над територією природного заповідника «Древлянський».

Після того, як всі необхідні знімки були знайдені вони були завантажені в програму QGIS для розрахунку Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI було розраховано з використанням (Sentinel-2) червоного (канал B4) та ближнього інфрачервоного (канал B8) діапазонів [13].

Розрахунок NDVI проводився на основі даних знімків супутника Sentinel-2, використовуючи формулу [1] [14, 15]:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (1)$$

де NIR – відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні спектра (Band 8),

RED – відбиття в червоному діапазоні спектра (Band 4).

Значення NDVI варіюється від -1 до +1. Значення близько 0 і нижче зазвичай відповідають неживим об'єктам (вода, гірські породи, будівлі). Значення від 0,2 до 0,8 зазвичай відповідають рослинності.

За допомогою калькулятора растрів в програмі QGIS були розраховані NDVI на території природного заповідника «Древлянський» протягом трьох сезонів (весна, літо, осінь) за 2021, 2022, 2023 роки (таблиця 1).

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, по-перше, про сезонні зміни стану лісової рослинності природного заповідника «Древлянський». Найнижчі значення NDVI спостерігаються у квітні (весна), що вказує на початок вегетаційного періоду, найвищі значення NDVI зафіксовані в серпні (літо), що свідчить про пік фотосинтетичної активності. У жовтні (осінь) значення NDVI знижуються порівняно з серпнем, але залишаються вищими, ніж у квітні. Щодо річної динаміки то у квітні 2021 році максимальне значення становить >0,3645, а у 2022 році максимальне значення становить >0,3511, що вказує на незначне зниження максимального значення NDVI порівняно з 2021 роком. Аналізуючи дані за серпень 2021 року та за серпень 2022 року можна побачити, що максимальне значення NDVI у 2022 році (>0,5569) також нижче, ніж у 2021 році (>0,5777). Це свідчить про меншу

фотосинтетичну активність або меншу кількість біомаси на піку вегетаційного сезону. Осінні показники 2022 року (>0,5251) також нижчі порівняно з 2021 роком (>0,5446), що продовжує тенденцію, спостережену влітку.

На рисунках 2–4 представлені карти території заповідника з використанням індексу NDVI за квітень, серпень, жовтень 2021, 2022, 2023 років.

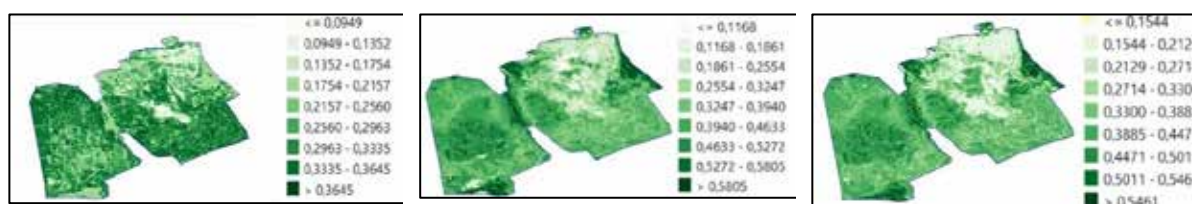
На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що за всі досліджувані місяці 2022 року спостерігається зниження максимальних значень NDVI порівняно з 2021 роком. Отже, 2022 рік характеризувався дещо нижчою фотосинтетичною активністю та меншою кількістю біомаси порівняно з 2021 роком. Причинами цього є пожежі, що були на території природного заповідника «Древлянський» восени 2022 року, спричинені бойовими діями. Внаслідок окупації ворожими військами декількох населених пунктів у Житомирській області, а також просування ворожих бойових машин піхоти до східних меж Древлянського заповідника, на його території розгорнулися активні бойові дії. В подальшому це призвело до масштабних пожеж – зафіксовано 22 пожежі за період з 24 лютого. Горіли не лише ліси, а й торфовища. Загальна площа згорілої території становить 2100 гектарів. Це спричинило пошкодження рослинного покриву, зокрема деревостанів, була знищена рослинність на великих територіях, що призводить до зниження NDVI. Найбільша різниця у показниках NDVI між 2021 та 2022 роками спостерігається у серпні та жовтні, що може відповідати кумулятивному ефекту тривалих бойових дій. Навіть якщо пожежі не охопили всю територію, дим та попіл можуть впливати на

Таблиця 1

Значення NDVI території природного заповідника «Древлянський»

Квітень 2021 р.	Квітень 2022 р.	Квітень 2023 р.	Серпень 2021 р.	Серпень 2022 р.	Серпень 2023 р.	Жовтень 2021 р.	Жовтень 2022 р.	Жовтень 2023 р.
<0,0949	<0,1202	<0,0665	<0,1306	<0,1551	<0,1168	<0,1249	<0,1425	<0,1544
0,0949- 0,1352	0,1202- 0,1547	0,0665- 0,1277	0,1306- 0,1974	0,1551- 0,2151	0,1168- 0,1861	0,1249- 0,1876	0,1425- 0,1997	0,1544- 0,2129
0,1352- 0,1754	0,1547- 0,1892	0,1277- 0,1889	0,1974- 0,2642	0,2151- 0,2752	0,1861- 0,2554	0,1876- 0,2503	0,1997- 0,2568	0,2129- 0,2714
0,1754- 0,2157	0,1892- 0,2237	0,1889- 0,2501	0,2642- 0,3311	0,2752- 0,3352	0,2554- 0,3247	0,2503- 0,3130	0,2568- 0,3140	0,2714- 0,3300
0,2157- 0,2560	0,2237- 0,2582	0,2501- 0,3112	0,3311- 0,3979	0,3352- 0,3953	0,3247- 0,3940	0,3130- 0,3757	0,3140- 0,3712	0,3300- 0,3885
0,2560- 0,2963	0,2582- 0,2927	0,3112- 0,3724	0,3979- 0,4647	0,3953- 0,4553	0,3940- 0,4633	0,3757- 0,4385	0,3712- 0,4284	0,3885- 0,4471
0,2963- 0,3335	0,2927- 0,3246	0,3724- 0,4289	0,4647- 0,5263	0,4553- 0,5108	0,4633- 0,5272	0,4385- 0,4963	0,4284- 0,4811	0,4471- 0,5011
0,3335- 0,3645	0,3246- 0,3511	0,4289- 0,4760	0,5263- 0,5777	0,5108- 0,5569	0,5272- 0,5805	0,4963- 0,5446	0,4811- 0,5251	0,5011- 0,5461
>0,3645	>0,3511	>0,4760	>0,5777	>0,5569	>0,5805	>0,5446	>0,5251	>0,5461

Джерело: розроблено автором

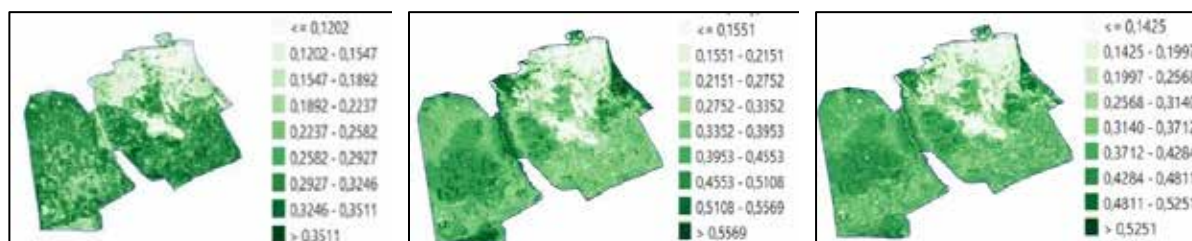


а) квітень

б) серпень

в) жовтень

Рис. 2. Карти території заповідника з використанням індексу NDVI за вегетаційний період 2021 року

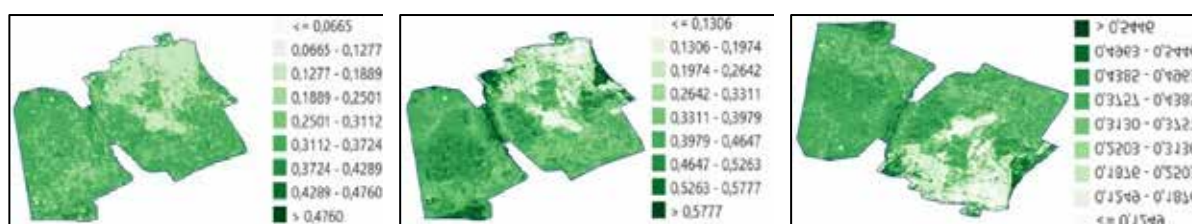


а) квітень

б) серпень

в) жовтень

Рис. 3. Карти території заповідника з використанням індексу NDVI за вегетаційний період 2022 року



а) квітень

б) серпень

в) жовтень

Рис. 4. Карти території заповідника з використанням індексу NDVI за вегетаційний період 2023 року

відбиття світла рослинами, змінюючи показники NDVI.

Вибухи, рух важкої техніки та інші наслідки бойових дій пошкодили верхній шар ґрунту, що негативно вплинуло на ріст рослин. За даними спостережень у 2022 році, забруднюючі речовини, що вивільнилися під час бойових дій та пожеж призвели до забруднення повітря, негативно впливаючи на рослинність. Для кількісної оцінки екологічного впливу пожеж на території заповідника було проведено аналіз викидів забруднюючих речовин, що утворюються під час горіння лісових масивів. Розрахунки здійснювалися на основі загальноприйнятих коефіцієнтів емісії для різних типів забруднювачів при лісових пожежах. Враховуючи, що загальна площа згорілої території становила 2100 гектарів, було визначено обсяги викидів основних забруднюючих речовин та їх потенційний вплив на рослинність заповідника. Особливу увагу приділено аналізу речовин, які можуть мати як безпосередній негативний вплив на фотосинтетичну активність рослин, так і довгостро-

ковий кумулятивний ефект на екосистему в цілому. Важливо зазначити, що деякі забруднювачі, зокрема важкі метали, здатні накопичуватися в ґрунті та проникати в кореневу систему рослин, спричиняючи системні порушення життєдіяльності. Результати розрахунків дозволяють оцінити не лише масштаби забруднення, але й спрогнозувати тривалість впливу різних забруднювачів на процеси відновлення рослинного покриву (таблиця 2).

Аналізуючи дані таблиці можна зробити висновок, що найбільша кількість викидів припадає на вуглецю діоксид (CO_2) – 1 496 880 тонн, значні викиди також спостерігаються для твердих речовин (11,340 т) та вуглецю оксиду (CO) (6,300 т). Присутні викиди важких металів (свинець, кадмій, ртуть), хоча й у малих кількостях. Високі викиди CO_2 та твердих речовин суттєво впливають на стан рослинності в заповіднику, що відображається на значеннях NDVI. Викиди важких металів (свинець, кадмій, ртуть) накопичуються в ґрунті та рослинах, впливаючи на відновлення рослинності. Таким

Таблиця 2

Викиди забруднюючих речовин під час лісових пожеж та їх вплив на рослинність

Назва забруднюючої речовини	Коефіцієнт при лісових пожежах та інших насадженнях, т/га	Площа пожежі, га	Маса викиду, т	Негативний вплив на рослинність
Азоту діоксид	0,1	2100	210	пригнічення фотосинтезу
Аміак	0,02	2100	42	порушення азотного обміну
Ангідрид сірчистий	0,02	2100	42	пошкодження листя
Вуглецю діоксид	712,8	2100	1496880	-
Вуглецю оксид	3	2100	6300	кисневе голодування
Неметанові леткі органічні сполуки	0,3	2100	630	порушення росту
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом	5,4	2100	11340	блокування проростів
Свинцеві і його неорганічні сполуки (у перерахунку на свинець)	0,000097	2100	0.2037	пригнічення ферментів
Кадмію оксид (у перерахунку на кадмій)	0,000008	2100	0.0168	порушення фотосинтезу
Ртуті оксид (у перерахунку на ртуть)	0,000007	2100	0.0147	ураження кореневої системи

чином, вплив цих викидів може проявлятися не лише в короткостроковій перспективі, але й протягом кількох років після пожежі, що відобразатиметься в динаміці NDVI та загальному стані екосистеми заповідника.

Головні висновки. Використання індексу NDVI, розрахованого за допомогою супутникових знімків Sentinel-2, виявилось ефективним методом моніторингу стану рослинності на територіях природно-заповідного фонду, особливо в умовах обмеженого доступу через військові дії. Аналіз NDVI за 2021–2023 роки показав значне зниження показників у 2022 році, що свідчить про негативний вплив бойових дій та пожеж на рослинний покрив заповідника «Древлянський». Найбільш виражені зміни спостерігалися в літній та осінній періоди, вказуючи на кумулятивний ефект тривалих воєнних дій. Пожежі, спричинені військовими діями, призвели до значних викидів забруднюючих речовин, зокрема вуглецю діоксиду, твердих речовин та вуглецю оксиду, що негативно вплинуло на екосистему заповідника.

Сезонна динаміка NDVI дозволила оцінити не лише загальний стан рослинності, але й особливості її відновлення після пошкоджень. Комбінування даних NDVI з інформацією про викиди забруднюючих речовин забезпечило комплексну оцінку впливу пожеж на екосистему та дало можливість прогнозувати довгострокові наслідки для біорізноманіття. Така інтегрована оцінка поглибила розуміння взаємозв'язку між забрудненням та здатністю екосистеми до регенерації.

Перспективи використання результатів дослідження. Метод дистанційного зондування з використанням NDVI виявився особливо цінним для моніторингу екологічного стану територій, постраждалих від військових дій, через обмежений фізичний доступ. Отримані результати можуть слугувати основою для розробки ефективних стратегій відновлення та збереження природних комплексів заповідника, а також оцінки довгострокових екологічних наслідків військових дій на території природно-заповідного фонду.

Література

1. Роман Л.Ю. Аналіз екологічних загроз об'єктів ПЗФ України у воєнний період. Екологічні науки. 2022. 3 (42). С. 84-88. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.13>
2. Спрягайло О.В., Безсмертна О.О., Гаврилюк М.Н., Ілюха О.В., Осипенко В.В., Спрягайло О.А., Шевчик В.Л. Перші кроки до оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду та їхнє біорізноманіття. Екологічні науки. 2023. № 6 (51). С. 142-147. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.23>
3. Кузик А.Д., Товарянський В.І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення. Вісник ЛДУБЖД. 2023. 27. С. 16-22. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02>
4. Удовенко І.О., Мамчур В.В., Сержантова Ю.Ю. Об'єкти природно-заповідного фонду: аналіз наслідків українсько-російської війни. Український журнал природничих наук. 2023. № 5. С. 126-139. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.14>

5. Zhukova M.V., Zatserkovnyy V.I., Trofimenko P.I., Trofimenko N.V. Regional centers of protection and spatial data processing as a way to improve agriculture efficiency. 17th International Conference on Geoinformatics-Theoretical and Applied Aspects. 2018. Vol. 2018, No. 1. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801839>
6. H. Jones, R. Vaughan Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications. 2010. OUP Oxford. URL: <https://books.google.it/books?id=sTmcAQAAQBAJ> (дата звернення: 21.09.2025)
7. Van Leeuwen W.J.D. et al. Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. Remote Sensing of Environment. 2006. Vol. 100, No. 1. P. 67-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.002>
8. Pettorelli N. et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. Trends in Ecology & Evolution. 2005. Vol. 20, No. 9. P. 503-510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
9. Мартиненко В.В., Конішук В.В. Типологічна характеристика вкритих лісовою рослинністю деревостанів природного заповідника «Древлянский». Агроекологічний журнал. 2020. № 3. С. 33-40. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2020.211524>
10. Ustymenko V. Vascular plants diversity in forests of nature reserve «Drevlyansky». Наукові горизонти. 2019. № 7. С. 75-79. DOI: [10.33249/2663-2144-2019-80-7-75-79](https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-80-7-75-79)
11. Фурдичко О.І., Кучма Т.Л., Ільєнко Т.В. Оцінювання екосистемних послуг лісів за даними дистанційного зондування Землі. Агроекологічний журнал. 2019. № 4. С. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2019.189436>
12. Пацева І.Г., Барабаш О.В., Мельник-Шамрай В.В., Пацев І.С. Екологічна оцінка впливу пожеж у природних екосистемах на стан екологічної безпеки Житомирської області. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. № 3. С. 59-65. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-8>
13. Kshetri T. Ndpi, ndbi & ndwi calculation using landsat 7, 8. GeoWorld. 2018. No. 2. P. 32-34.
14. Andini W.T., Nurlina N., Ridwan I. Monitoring Vegetation Change Using Forest Cover Density Model. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2024. Vol. 25, No. 9. P. 370-379. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/190928>
15. Susila K.D., Trigunasih N.M., Saifulloh M. Monitoring Agricultural Drought in Savanna Ecosystems Using the Vegetation Health Index – Implications of Climate Change. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2024. Vol. 25, No. 9. P. 54-67. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/190108>

Дата першого надходження рукопису до видання: 23.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ ШКОДИ, ЗАВДАНОЇ ДОВКІЛЛЮ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ

Серікова О.М.^{1,2}¹Національний науковий центр «Інститут судових експертиз
імені Заслуженого професора М.С. Бокаріуса»
вул. Золочівська, 8а, 61177, м. Харків²Національний університет цивільного захисту України
вул. Онопрієнка, 8, 18034, м. Черкаси
sierikova_olena@ukr.net

Проблема визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій на території України є складною та багатогранною. Військові дії завдають серйозної шкоди екосистемам, відбувається втрата біорізноманіття, зміна природних ареалів проживання рослин і тварин, забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря. Визначення розміру збитків довкіллю ускладнюється через недостатню інформацію про масштаби та характер пошкоджень, особливо в зонах активних бойових дій, відсутність стандартизованих методів оцінювання та комплексних підходів до вирішення подібних проблем. Витрати на відновлення ушкоджених екосистем і поновлення природних ресурсів можуть бути величезними, що негативно вплине на економічну ситуацію в країні. Для відновлення природного середовища України може знадобитися міжнародна допомога із залученням міжнародних інвестицій і програм відновлення. Відсутність чітких оцінок ускладнює процес визначення винних у завданій шкоді, що може вплинути на правові наслідки та компенсації. Необхідним є визначення рівня заповідності для кожного об'єкту природно-заповідного фонду (міжнародний, національний, регіональний, місцевий), що зазнав ураження. Розподілити рівні заповідності на декілька категорій (наприклад, високий, середній, низький), або встановити коефіцієнт заповідності регіону, або відсоток заповідності регіону. В роботі пропонується науково-теоретичний підхід до визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій для території України проводити за алгоритмом, який на відміну від інших враховує при оцінках розміру шкоди довкіллю від впливів воєнних дій наявність та стан об'єктів природно-заповідного фонду та ступінь ураження різних видів об'єктів природно-заповідного фонду на уражених територіях. Розробка заходів із ліквідації наслідків впливів воєнних дій на довкілля проводиться залежно від визначення розміру шкоди довкіллю, із врахуванням впливів пролонгованої дії на основі оцінок та прогнозів стану довкілля уражених територій. Отже, алгоритм визначення шкоди довкіллю від воєнних дій є важливою інструментом для оцінювання, моніторингу та відновлення, який допоможе Україні подолати наслідки конфлікту і стабілізувати екологічну ситуацію в країні. *Ключові слова:* екологічна безпека, розмір шкоди довкіллю від воєнних дій, навколишнє середовище, техногенний вплив, довкілля.

Current problems to determine the damage size caused to the environment by the military actions. Sierikova O.

The problem to determine the damage size caused to the environment by the military actions on the territory of Ukraine is complex and multifaceted. Military operations cause serious damage to ecosystems, there are losses of biodiversity, a change in the natural habitats of plants and animals, pollution of soils, surface and groundwater, and atmospheric air. Determining the environmental damage extent has complicated by insufficient information about the scale and nature of damage, especially in active military operations areas, the lack of standardized assessment methods and comprehensive approaches to solve such problems. The costs to restore damaged ecosystems and restore natural resources could be enormous, which will negatively affect the economic situation in the country. To restore the natural environment, Ukraine may need international assistance with the involvement of international investments and restoration programs. The lack of clear assessments complicates the process to determine those responsible for the damage, which may affect legal consequences and compensation. It is necessary to determine the protection level for each affected nature reserve fund object (international, national, regional, local). To distribute the protection levels into several categories (for example, high, medium, low), or to establish a regional protection coefficient, or a percentage of the region's protection. The paper proposes a scientific and theoretical approach to determine the environmental damage amount of military actions for the territory of Ukraine using an algorithm that, unlike others, takes into account the presence and condition of nature reserve fund objects and the degree of damage to various types of nature reserve fund objects in the affected territories when assessing the amount of environmental damage from the effects of military actions. The development of measures to eliminate the consequences of the military actions effects on the environment has been carried out depending on the determination of the amount of environmental damage, taking into account the effects of prolonged action based on assessments and forecasts of the environment state of the affected territories. Therefore, the algorithm to determine environmental damage from military actions is an important tool for assessment, monitoring and restoration, which will help Ukraine overcome the consequences of the conflict and stabilize the environmental situation in the country. *Key words:* environmental safety, environmental damage amount from military actions, environment, technogenic impact, environment.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Проблема визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій на території України є складною та багатогранною. Військові дії завдають серйозної шкоди екосистемам, відбувається втрата

біорізноманіття, зміна природних ареалів проживання рослин і тварин, забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря.

Визначення розміру збитків довкіллю ускладнюється через недостатню інформацію про масштаби

та характер пошкоджень, особливо в зонах активних бойових дій, відсутність стандартизованих методів оцінювання та комплексних підходів до вирішення подібних проблем.

Витрати на відновлення ушкоджених екосистем і поновлення природних ресурсів можуть бути величезними, що негативно вплине на економічну ситуацію в країні. Для відновлення природного середовища України може знадобитися міжнародна допомога із залученням міжнародних інвестицій і програм відновлення. Відсутність чітких оцінок ускладнює процес визначення винних у завданій шкоді, що може вплинути на правові наслідки та компенсації.

Отже, проблема визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій в Україні є складною та потребує комплексного підходу, включаючи наукові дослідження, розробку нових методик оцінювання, а також активне залучення міжнародних партнерів для вирішення екологічних проблем, викликаних конфліктом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботі [1] пропонується поняття шкоди навколишньому природному середовищу визначати не тільки як погіршення стану навколишнього середовища, а і враховуючи опосередкований негативний вплив на здоров'я людини.

Стаття [2] присвячена аналізу стану правового забезпечення визначення шкоди, завданої землі, внаслідок збройної агресії та бойових дій, а також виокремленню основних проблем у цій сфері та розробці пропозицій щодо їх подолання. Доведено необхідність перегляду у бік збільшення коефіцієнтів, що застосовуються при обчисленні розміру шкоди довкіллю внаслідок техногенних впливів в довоєнний період.

Дослідження [3] пропонують розглянути можливість створення судів екологічної юрисдикції задля притягнення винних у вчиненні еко-злочинів осіб яких затримано на території України і на яких поширюється національна юрисдикція.

Автори Романенко М.М., Крисінська [4] зазначають, що нагальною потребою сьогодення є розробка чітких та зрозумілих процедур оцінювання матеріальних та фізичних ресурсів для відновлення компонентів довкілля, яким завдана шкода внаслідок воєнних дій та організація постійного моніторингу в зоні впливу, зокрема моніторингу ґрунтів, підземних та поверхневих вод, де небезпечні наслідки воєнних дій будуть проявлятися ще багато років.

Існуючі методики [5-7] не враховують при оцінках розміру шкоди довкіллю від впливів воєнних дій наявність територій та об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) в зоні ураження. А Методика визначення шкоди та збитків, завданих територіям та об'єктам природно-заповідного фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації визначає порядок розрахунку розміру шкоди та збитків, зав-

даних природно-заповідному фонду України внаслідок збройної агресії. Ці методики не корелюють між собою і є необхідним встановлення конфіцієнту заповідності, або відсотку заповідності на території ураження.

В багатьох статтях Герасимчук Л.О. [8], Кононенко В.П. [9], Кучер В.О. [10,11], Трегуб О.А. [12], Polukarov Yu. [13] досліджено впливи збройних конфліктів на стан довкілля та оцінено ці впливи на довкілля [14].

Правові питання регулювання компенсації екологічної шкоди розглянуто в роботах Кошеленко К.В. [15], Краснової М.В. [16] та інших.

Особливості техногенного впливу рідких вуглеводнів, що зберігаються в резервуарах на довкілля під час сейсмічних навантажень, викликаних в тому числі міліарними впливами досліджено в роботах Серікової О.М. [17-21].

Не зважаючи на значну кількість досліджень та розроблених методик, що стосуються визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій, підходи, що розроблені враховують окремі компоненти довкілля, врахування стану об'єктів природно-заповідного фонду і їх наявність на територіях мілітарного впливу не враховано, а лише оцінюється за окремою методикою.

Новизна. Удосконалено науково-теоретичний підхід до визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій для території України шляхом врахування наявності об'єктів природно-заповідного фонду в зоні ураження.

В роботі пропонується науково-теоретичний підхід до визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій для території України проводити за алгоритмом, який на відміну від інших враховує при оцінках розміру шкоди довкіллю від впливів воєнних дій наявність та стан об'єктів ПЗФ та ступінь ураження різних видів об'єктів ПЗФ на уражених територіях.

Алгоритм представлено на рис. 1.

На рис. 1 нами запропоновано алгоритм визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій для території України, який на відміну від інших враховує при оцінках розміру шкоди довкіллю від впливів воєнних дій стан ПЗФ та ступінь ураження різних видів об'єктів ПЗФ.

Першочерговим є визначення видів об'єктів природно-заповідного фонду, які були уражені внаслідок воєнних дій (ландшафти, ґрунти, рослини, тварини), з'ясування режиму територій та об'єктів ПЗФ.

Після визначення видів об'єктів природно-заповідного фонду, які були уражені внаслідок воєнних дій, необхідно провести детальний аналіз характеру та ступеня ураження цих територій. Це включає в себе оцінювання рівня забруднення територій, а також визначення пошкоджень ландшафтів, ґрунтів, рослинного та тваринного світу. Наступним кроком є визначення площі уражених територій та їх класифікація за ступенем ураження.

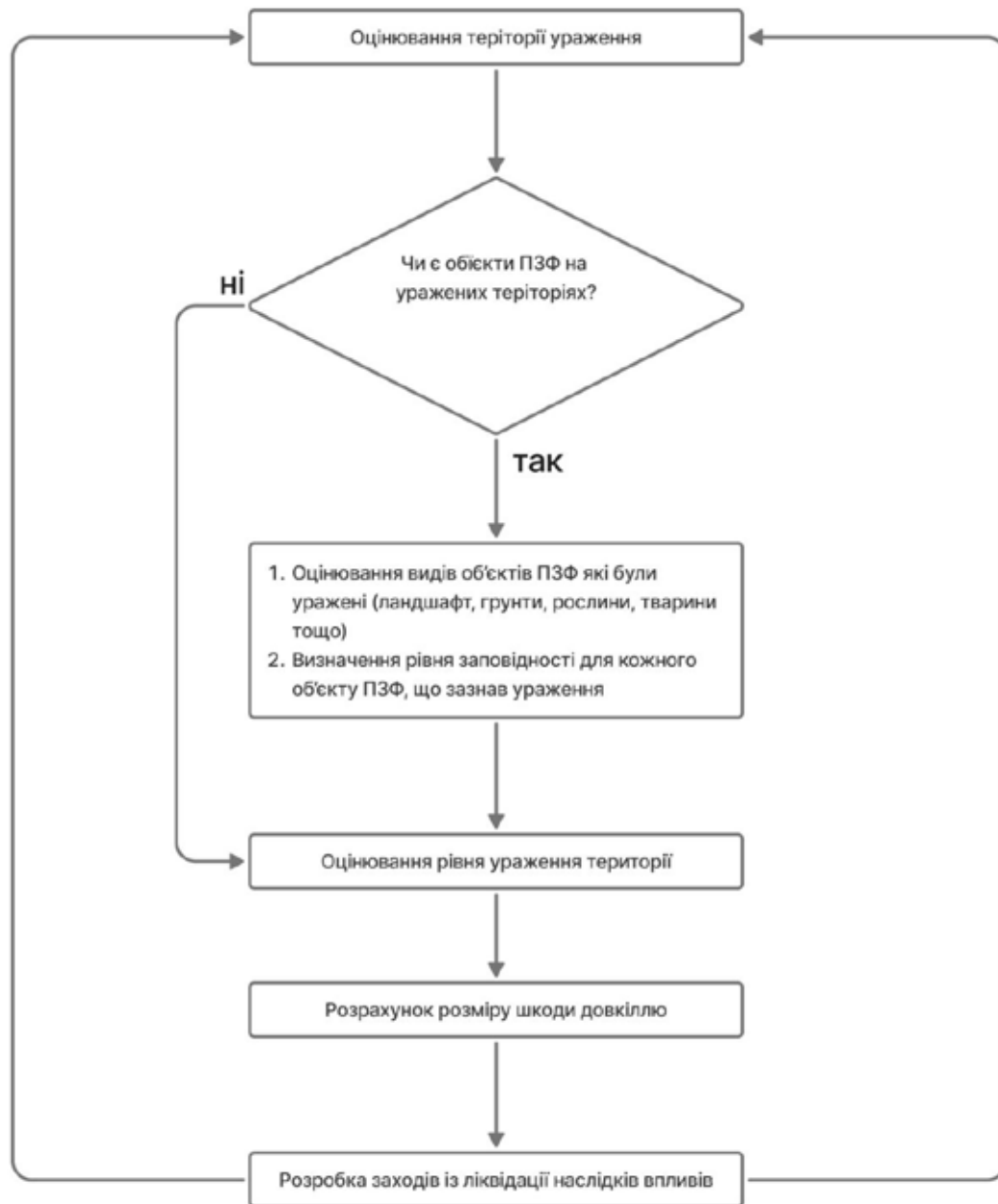


Рис. 1. Алгоритм визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій для території України

У результаті дослідницького пошуку ми пропонуємо структуру оцінювання ступеня ураження територій, зокрема:

1. Визначення категорій об'єктів ПЗФ, які були піддані впливу воєнних дій.
2. Збір даних про характер та ступінь ураження цих об'єктів.
3. Проведення аналізу зібраних даних та оцінювання площі уражених територій.
4. Класифікація територій за ступенем ураження (критичне, значне, помірне, мінімальне).

Оцінювання території ураження воєнними діями проводиться з метою визначення площі та ступеня ураження території внаслідок воєнних дій, для визначення шкоди нанесеної довкіллю та для визна-

чення потреб у відновленні і реабілітації території для забезпечення екологічної безпеки уражених територій і подальшого їх використання за цільовим призначенням.

Відповідно до ст. 14 ЗУ «Про природно-заповідний фонд України» режим територій та об'єктів природно-заповідного фонду – це сукупність науково обґрунтованих екологічних вимог, норм і правил, які визначають правовий статус, призначення цих територій та об'єктів, характер допустимої діяльності на таких територіях та об'єктах, порядок охорони, використання і відтворення їх природних комплексів [22]. Слід вказати, що території природно-заповідного фонду є важливими об'єктами й для проведення наукових досліджень. У зв'язку з цим

проведення постійного моніторингу і контролю за станом цих територій є обов'язковими для своєчасного реагування на можливі загрози [23, 24].

У рамках нашого дослідження, ми вважаємо за необхідністю визначення рівня заповідності для кожного об'єкту ПЗФ (міжнародний, національний, регіональний, місцевий), що зазнав ураження. Розподілити рівні заповідності на декілька категорій (наприклад, високий, середній, низький), або встановити коефіцієнт заповідності регіону, або відсоток заповідності регіону. Така класифікація дозволить об'єктивно оцінити масштаб екологічних втрат та пріоритетність відновлювальних робіт. для постраждалих природоохоронних територій.

Питання оцінювання рівня ураження території, ми пропонуємо визначити рівень ураження для кожного регіону або зони, розподілити рівні ураження на декілька категорій (наприклад, високий, середній, низький).

Для розрахунку розміру шкоди довкіллю необхідно розрахувати розмір шкоди для кожного регіону або зони на основі рівня заповідності, виду об'єктів

природно-заповідного фонду та рівня ураження за формулою:

розмір шкоди = (Рівень заповідності x вид об'єктів x рівень ураження) x територія ураження.

Розробка заходів із ліквідації наслідків впливів воєнних дій на довкілля проводиться залежно від визначення розміру шкоди довкіллю, із врахуванням впливів пролонгованої дії на основі оцінок та прогнозів стану довкілля уражених територій.

Висновок. На підставі викладеного вище, застосування алгоритму визначення шкоди довкіллю від воєнних дій є важливою інструментом для оцінювання, моніторингу та відновлення, який допоможе Україні стабілізувати екологічну ситуацію в країні.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблений науково-теоретичний підхід до визначення розміру шкоди довкіллю від воєнних дій для території України шляхом врахування наявності об'єктів природно-заповідного фонду в зоні ураження дозволить вдосконалити існуючі методики та розробити перспективний план для відновлення довкілля у післявоєнний час.

Література

1. Сірант М.М. Доктринальний підхід до визначення екологічної шкоди у Європейському Союзі та в Україні. Юридичний бюлетень. 2020. № 14. С. 76–84. DOI: <https://doi.org/10.32850/LB2414-4207.2020.14.09>.
2. Новак Т. С., Шовкун В. В. Визначення шкоди, завданої землі, внаслідок збройної агресії та бойових дій: правові питання. Аналітично-порівняльне правознавство. 2024. № 4. С. 276–281. <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.04.43>
3. Квашук Д.О., Войтенко А.І. Актуальні питання правового регулювання компенсації екологічної шкоди, завданою війною рф проти України. Юридичний науковий електронний журнал. 2022. № 5. С. 333–336. DOI <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2022-5/77>
4. Романенко М.М., Крисінська Д.О., Тимченко І.В. Аналітичне дослідження методик розрахунку збитків довкіллю від воєнних дій. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». 2024. 3(54). С. 127–138. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.19>
5. Про Порядок визначення та відшкодування збитків власникам землі та землекористувачам: постанова Кабінету Міністрів України від 19 квітня 1993 р. № 284. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/284-93-%D0%BF#Text>.
6. Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації: постанова Кабінету Міністрів України від 20.03.2022 р. № 326. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-%D0%BF#Text>.
7. Методика визначення шкоди та збитків, завданих територіям та об'єктам природно-заповідного фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації, затверджена Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 13 жовтня 2022 року № 424, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 16 листопада 2022 р. за № 1416/38752. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1416-22#Text>
8. Герасимчук Л.О. Військові дії як чинник утворення відходів. Таврійський науковий вісник 2023. № 133. С. 305–312. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.41>
9. Кононенко В.П., Новікова Л. В. Вплив регіональних збройних конфліктів на міжнародну екологічну безпеку. Альманах міжнародного права. 2020. № 24. С. 214–221. DOI: <https://doi.org/10.32841/ILA.2020.24.25>.
10. Кучер В.О., Євхутіч І. М., Парасюк В. М. Забезпечення екологічної безпеки на території окупованого Донбасу. Юридичний науковий електронний журнал. 2021. № 9. С. 115–118. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2021-9/27>.
11. Kucher A. Methodology for assessing damages and losses caused by the armed aggression to the land fund and soils: problems and directions of improvement. Journal of Innovations and Sustainability. 2022. Vol. 6. № 2. DOI: <https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10>.
12. Трегуб О.А. Правове забезпечення екологічного відновлення міст на пост-конфліктних територіях. Вісник ЛДУВС ім. Е. О. Дідоренка. 2020. № 4(92). С. 273–285. DOI: 10.33766/2524-0323.92.273-285.
13. Polukarov Yu., Kachynska N., Polukarov O., Zemlyanska O., Mitiuk L. Impact of the full-scale war in Ukraine on the environment: Environmental damage assessment. Law. Human. Environment. 2024. № 15(1). С. 85–100.
14. Балук С.А., Кучер А.В., Солоха М.О., Соловей В.Б. Оцінювання впливу збройної агресії рф на ґрунтовий покрив України. Український географічний журнал. 2024. № 1(125). С. 7–18.
15. Кошеленко К. В. Юридична відповідальність за шкоду навколишньому природному середовищу як елемент механізму захисту права на безпечне навколишнє природне середовище / за ред. Ю.М. Бисага. Ужгород : Видавничий дім «Гельветика», 2017. Т. 2. С. 74–77.

16. Краснова М.В. Методи підрахунку шкоди, заподіяної навколишньому природному середовищу, та їх правові засад. Юридичний вісник. Повітряне і космічне право. 2008. № 2. С. 66–70.
17. Серікова О. М. Особливості техногенного впливу резервуарів з рідкими вуглеводнями на довкілля під час сейсмічних навантажень. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2024. 34(2). С. 54–60. DOI: 10.36930/40340207
18. Серікова О.М. Дослідження впливу сейсмічних навантажень на резервуари для зберігання рідких вуглеводнів, виготовлених з нанокompозитних матеріалів. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2024. 15(1/2024). С. 62-66. DOI: 10.52363/2522-1892.2024.1.6
19. Серікова О.М. Попередження екологічних небезпек резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин при сейсмічних навантаженнях. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук. 2023. № 5 (142). С. 42-48. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.5.5>
20. Серікова О.М. Підвищення рівня екологічної безпеки території, прилеглої до місць розташування резервуарів рідких вуглеводнів. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2023. 14(2/2023). Харків. С. 50-57. DOI: 10.52363/2522-1892.2023.2.6
21. Серікова О.М. Підвищення рівня екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин при сейсмічних навантаженнях. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. Київ. 2023. № 6 (51). С. 130-135. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.есо.6-51.21>
22. ЗУ від 16.06.1992 № 2456-ХІІ «Про природно-заповідний фонд України». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text>
23. Про основні засади (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 р. Закон України від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2019. № 16. Ст. 70.
24. Веклич О.О. Базові інноваційні підходи до формування компенсаційного механізму відшкодування збитків від погіршення/знищення екосистемних послуг. Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка». 2019. № 5. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.5.1.

Дата першого надходження рукопису до видання: 07.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ, ВИКЛИКАНОЇ ЗБРОЙНОЮ АГРЕСІЄЮ, НА РЕКРЕАЦІЙНІ ТА ЕКОЛОГО-ОСВІТНІ ДЕСТИНАЦІЇ ПЗФ ТА ЗЕЛЕНИХ ЗОН

Шевченко Р.Ю.

Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України»
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
azimut90@ukr.net

У сучасних соціально-екологічних умовах повномасштабної агресії РФ проти України значна увага приділяється проблемам екологічної безпеки та екологічної деградації природоохоронних територій України під час організації туристичної, рекреаційної та еколого-освітньої діяльності. Безпека екологічного туризму під час війни, у тому числі екологічної, через кількісне уявлення небезпеки, дозволяє виявити рівень ризику та ймовірність виникнення небезпечної ситуації. Отже, ефективне розв'язання проблеми можливе із застосуванням геоінформаційних методів, сутність яких полягає у з'ясуванні причинно-наслідкових зв'язків, небезпечних наслідків деградації природних комплексів під впливом військово-антропогенних явищ та процесів, а також їх прогнозування для ухвалення управлінських рішень.

Мета дослідження – розробка алгоритмічного підходу та методичних рекомендацій щодо формування системи екологічної безпеки виявлення та подолання наслідків екологічної деградації рекреаційних та еколого-освітніх дестинацій Природно-заповідного фонду України та зелених зон населених пунктів, а також запровадження оновлених програм туристсько-рекреаційного природокористування в умовах воєнного стану. Об'єкт дослідження – визначення наукової дефініції «екологічна деградація дестинацій». Предмет дослідження – алгоритмізація оцінки екологічної деградації дестинацій та визначення її залежності від військових загроз та військово-техногенних ризиків при організації рекреаційного природокористування під час воєнного стану.

Науковим результатом дослідження є геоecological алгоритм оцінки екологічної деградації дестинацій, рівнів екологічної безпеки туристсько-рекреаційного природокористування під час війни, заснований на комплексі соціально-економічних та екологічних методик. Новий алгоритмічний підхід ведення туристично-рекреаційної діяльності під час воєнного часу заснований на організаційних та географічних характеристиках дестинацій, що дозволяє отримати показники військово-антропогенного навантаження на відповідні території. *Ключові слова:* дестинація, екологічна деградація, рекреаційне навантаження, воєнний стан.

Assessment of the impact of environmental degradation caused by armed aggression on recreational and environmental educational destinations of the Nature Reserve Fund and green areas. Shevchenko R.

In the current socio-ecological conditions of the Russian-Ukrainian war, considerable attention is paid to the problem of ecological safety and ecological degradation of nature-protected areas of Ukraine when organizing tourist, recreational and ecological-educational activities. The safety of ecological tourism during war, including ecological, through a quantitative representation of danger, allows us to identify the level of risk and the probability of a dangerous situation. Thus, an effective solution to the problem can be obtained using geoinformation methods, the essence of which is to identify cause-and-effect relationships, dangerous consequences of the degradation of natural complexes under the influence of military-anthropogenic phenomena and processes, as well as their forecasting for making management decisions.

The purpose of the study is to develop an algorithmic approach and methodological recommendations for the formation of an ecological safety system for identifying and overcoming the consequences of ecological degradation of recreational and ecological-educational destinations of the Nature Reserve Fund of Ukraine and green zones of settlements, as well as the introduction of updated programs for tourist and recreational nature use in conditions of martial law. The object of the study is to determine the scientific definition of «ecological degradation of destinations». The subject of the study is the algorithmization of the assessment of ecological degradation of destinations and the determination of its dependence on military threats and military-technological risks in the organization of recreational nature use during martial law.

The scientific result of the study is a geoeological algorithm for assessing the ecological degradation of destinations, levels of ecological safety of tourist and recreational nature use during wartime, based on a complex of socio-economic and environmental methods. A new algorithmic approach to conducting tourist and recreational activities during wartime is based on the organizational and geographical characteristics of destinations, which allows obtaining indicators of military-anthropogenic load on the relevant territories. *Key words:* destination, ecological degradation, recreational load, martial law.

Постановка проблеми. Актуальність дослідження. Дестинаціями називають екологічно привабливі території, акваторії, геотерії та аеротерії над ними, що використовуються для потреб екологічного туризму та рекреації й мають значний попит на ринку послуг сфери обслуговування.

Рекреаційні та еколого-освітні дестинації природно-заповідного фонду (далі – ПЗФ) та зелених зон – це новий напрямок сучасних еколого-географічних наукових досліджень в системі «суспільство-природа». Сучасна наука визначає їх як складові ойкумени релаксаційного сприйняття

геопростору Землі як пізнавальної та оздоровлювальної системи.

Військова агресія сусідньої країни змінила географію туристично-рекреаційних послуг в Україні на нанесла непоправної шкоди рекреаційним та еколого-освітнім DESTИНАЦІЯМ. Визначення та оцінка впливу екологічної деградації постає важливою задачею екологічного відновлення та розвитку України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наукове дослідження включено в програму наукової роботи Науково-освітнього центру перепідготовки та підвищення кваліфікації Державної наукової установи «Інститут екологічного відновлення та розвитку України» на 2025 р. Тема відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки та стратегічним пріоритетним напрямкам інноваційної діяльності в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Геоекологічний підхід до оцінки екологічної деградації та трансформації рекреаційної діяльності у природоохоронному довіллі представлений у роботах Chytry M., Tichy L., Hennekens S. M., Knollova I. [1].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проведений літературний огляд підтверджує, що у цих дослідженнях відсутня комплексна оцінка екологічної деградації та впливу на природні рекреаційні комплекси антропогенних військових небезпек у процесі організації рекреаційної та еколого-освітньої діяльності на відповідних природоохоронних DESTИНАЦІЯХ природно-заповідного фонду та зелених зон населених пунктів під час воєнного стану.

Новизна. Ефективним інструментом дослідження проблем екологічної деградації постає розроблений геоекологічний алгоритм на основі концепції просторового аналізу, розроблений Raynolds M. K., Walker D. A., Balser A. [7]. На основі попередніх досліджень складений алгоритм геоекологічної оцінки екологічної деградації та рівнів екологічної небезпеки туристсько-рекреаційного та еколого-освітнього природокористування під час воєнного стану.

Методологічне або загальнонаукове значення. Вперше розроблено алгоритм визначення та оцінки рівнів екологічної деградації рекреаційних та еколого-освітніх DESTИНАЦІЙ (класифікаційна схема), що включає два види моніторингу довкілля (картографічний та статистичний) та вивчення чотирьох підвидів факторів (абіотичні, біотичні, соціальні та екологічні) загроз та ризиків, характерних при організації туристсько-рекреаційної діяльності під час воєнного стану в Україні.

Викладення основного матеріалу. Для того, щоб забезпечити максимально можливий ступінь екологічної безпеки на глобальному, регіональному та локальному рівнях, потрібно, в першу чергу,

виявити джерела екологічної небезпеки, дати їм детальну характеристику та позначити методи зниження їх негативного впливу. Україна має регіональний статус території, що потерпає від надзвичайної ситуації воєнного характеру. В нашому випадку, під негативний вплив потрапили рекреаційні та еколого-освітні DESTИНАЦІЇ природно-заповідного фонду України та зелені зони (блакитно-зелена інфраструктура) населених пунктів.

Під джерелом небезпеки (екологічної деградації) слід розуміти військово-техногенні умови та антропогенні фактори, які потенційно таять у собі і за певних умов розвитку ситуації на фронті, мають різну сукупність шкідливих властивостей та деструктивну природу. З цього випливає більш зрозуміла та практична визначена наукова дефініція і поняття «екологічна деградація».

При обґрунтуванні ознак класифікації категорії «екологічна деградація» необхідно визначити наступне:

- *екологічна деградація DESTИНАЦІЙ*, яка виникає внаслідок військової агресії, розглядається як можливість заподіяння шкоди людським, матеріальним та природним ресурсам. В її складовій розрізняють: небезпека природну – процес, властивість чи стан певних частин літосфери, гідросфери, атмосфери або космосу, що становлять загрозу для об'єктів еколого-освітньої інфраструктури, економіки сфери обслуговування та/або навколишнього середовища;
- *екологічна деградація військово-антропогенна* – стан, при якому негативні фактори виникають внаслідок помилкових чи несанкціонованих дій окупаційного командування чи груп військовослужбовців (корпусів/бригад).

Передбачається, що екологічна редеградація DESTИНАЦІЙ досягається лише при захисті антропогенних об'єктів еколого-туристичної інфраструктури від усіх загроз. Тут слід враховувати, що абсолютної екологічної безпеки в природі не буває, оскільки завжди залишається ймовірний ризик будь-чого.

Наголошуючи на екологічній деградації як наслідок бойових дій, мається на увазі система, що зазвичай включає руйнування складових довкілля «суспільство-природа» та загроз, як носіїв актуалізованої небезпеки. Загрозами для системи рекреаційних та еколого-освітніх DESTИНАЦІЙ ПЗФ та зелених зон вважаються всі перешкоди при задоволенні важливих для рекреанта/туриста індивідуальних, соціальних та духовних потреб. При цьому розрізняють:

- *ризик природної екологічної деградації DESTИНАЦІЙ* – це ймовірнісний коефіцієнт відповідної природної небезпеки (сукупності небезпек), яка виявлена для певного об'єкта (DESTИНАЦІЙ) у вигляді можливих втрат за певний час;
- *ризик антропогенної екологічної деградації DESTИНАЦІЙ* – це ймовірність виникнення втрат та збитків, пов'язаних із впливом військово-технічної діяльності та впливу на довкілля при перемі-

щенні військової техніки та особового складу противника та ЗСУ.

Отже, очевидно, що існують принципові відмінності в поняттях «екологічна деградація дестинацій» та «ризик руйнування дестинації». Так, екологічна деградація – це дія чи явище, що завдає потенційну шкоду довкіллю та навколишнім інфраструктурним об'єктам. Масштаби шкоди визначаються як величина екологічної деградації, що виражається числом деградованих/трансформованих складових екосистеми або окремих представників фори та фауни, які можуть зазнавати дії із серйозними наслідками. Ризик є кількісною мірою екологічної деградації дестинацій щодо ймовірності того, що пов'язані з ними знищення рекреаційних екосистем або коли відповідні ймовірності фактори небажаних наслідків стають реальністю.

Військово-політична нестабільність у рекреаційних та туристичних регіонах України (Автономна республіка Крим, Південна Донщина – Приазов'я, Причорномор'я, Слобожанщина, Сіверщина) є вагомим мотивом відмови від подорожів. Отже, необхідною умовою під час організації рекреаційної та еколого-освітньої діяльності/туризму на природоохоронних територіях й зелених зонах – є забезпечення безпеки, зокрема техногенно-екологічної під впливом військових дій.

Для розробки системи екологічного виявлення деградації дестинацій необхідно визначити основні ризики та загрози на основі існуючих небезпек у рекреаційній діяльності прифронтових територій, лінії зіткнення та на окупованих територіях. На основі матеріалів наукових праць [2-6, 8-10] означено низку основних реальних екологічних небезпек для туристів (рекреантів) на прикладі рекреаційного зонування території України.

Виходячи з причинно-наслідкової обумовленості шкоди дестинаціям, внаслідок бойових дій, виділено дві групи існуючих небезпек щодо їх екологічної деградації, що виникають при організації рекреаційного природокористування: об'єктивні – абіотичні та біотичні, які становлять пряму загальну загрозу для життєдіяльності туристів і суб'єктивні – соціальні та екологічні, що становлять непряму загрозу, наприклад, в результаті забруднення навколишнього середовища при вибухах, БПЛА- та ракетних обстрілах.

У методичному плані оцінки ступеня екологічної деградації дестинацій всі загрози, які існують у полі рекреаційної діяльності, наприклад, на морських узбережжях України, можна класифікувати за: природними явищами, патогенної ролі всіх збройних формувань та вплив інженерної техніки; ймовірності виникнення небезпечної природно-техногенної ситуації.

Логічно, що для розробки системи заходів для організації екологічно безпечного рекреаційного природокористування у прибережно-морській зоні

потрібне поглиблене вивчення та систематизація впливу факторів природного та військово-антропогенного середовища на довкілля та здоров'я (життя) людини (рекреанта/туриста) при організації рекреаційної та екскурсійної діяльності на територіях ПЗФ та зелених зонах.

Наукове вивчення проблематики взаємодій військової людини з навколишнім середовищем та виявлення небезпек/загроз під час війни для рекреаційного природокористування засноване на міждисциплінарному комплексі знань технічних, соціальних, географічних, екологічних напрямів, що ґрунтуються на науковій концепції системи «людина – довкілля – екологічна безпека». Таким чином, розробка основних положень щодо оцінки екологічної деградації у рекреаційному та еколого-освітньому природокористуванні ґрунтується на вивченні різноманітного впливу основних видів природних та антропогенних небезпек під час воєнного стану для конкретної території (акваторії, аероторії, космосфери, підземних просторів) з урахуванням існуючих методів загальнонаукових дисциплін.

Як робоче визначення ми приймаємо наступну дефініцію – «екологічна деградація рекреаційних та еколого-освітніх дестинацій ПЗФ та зелених зон», як систему визначення стану небезпеки туристсько-рекреаційного довкілля (середовища) та патогенний вплив на здоров'я туриста/рекреанта від військових загроз та військово-технічних ризиків, створених у трансформованих війною природному та антропогенному середовищі під впливом активних бойових дій, внаслідок яких припиняється або корегується рекреаційна діяльність, а також оптимізується потенціал використання туристично-рекреаційних ресурсів та послуг.

Зважаючи на це, під час оцінки екологічної деградації дестинацій необхідно враховувати ступінь військово-інженерного впливу на території рекреаційної та еколого-освітньої діяльності взагалі та на довкілля із зворотним впливом його на здоров'я людини (рекреанта/туриста), а також вивчення місцевих феноменів природного характеру зокрема.

Вивчення зміни природного середовища під впливом військово-інженерного впливу, у тому числі на рекреаційні дестинації ПЗФ, а також оцінювання стану та динаміки розвитку природно-антропогенних систем, розробка рекомендацій та заходів щодо розв'язання екологічних проблем різних рівнів є актуальними питаннями, що вивчаються в рамках військової екології сьогодення. У нашій роботі представлено дослідження природних та антропогенних процесів у просторовому аспекті, а саме проблеми, що виникають у процесі рекреаційного природокористування в межах природоохоронних ділянок, що знаходяться у прифронтових зонах та на межі зіткнення. Дестинації на окупованих територіях можливо дослідити лише за даними аерокосмічної зйомки. Головною складовою у дослідженні є оцінка

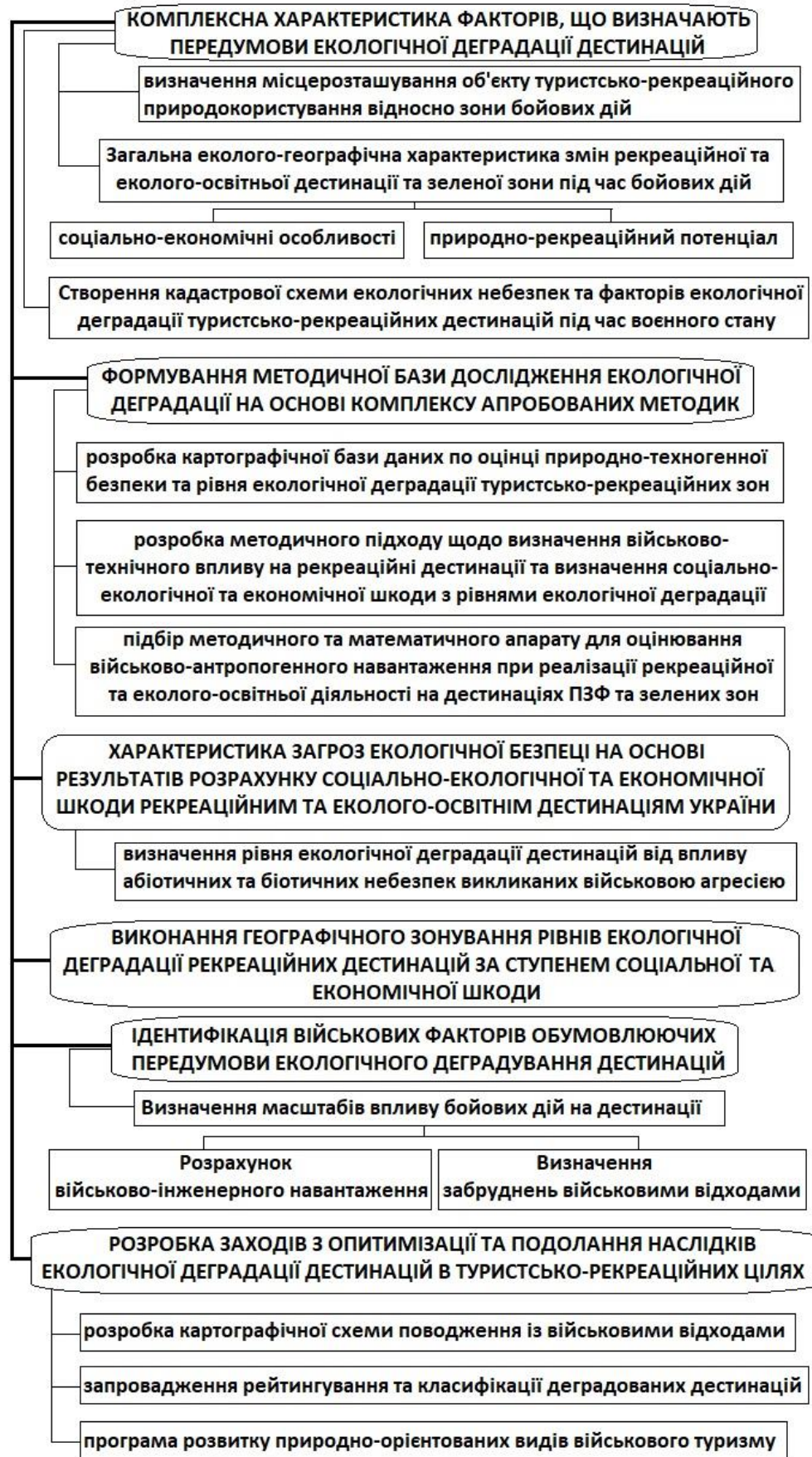


Рис. 1. Алгоритм визначення екологічної деградації дестинацій під впливом бойових дій

впливу військової агресії на природні та антропогенні фактори формування рекреаційного довкілля конкретних регіонів. Це місто Київ та його агломерація, зокрема області столичного економічного та суспільно-географічного районів.

Оцінка екологічної деградації рекреаційних та еколого-освітніх дестинацій ПЗФ та зелених зон – це процес систематичного аналізу екологічних та пов'язаних з ними соціально-економічних, техногенних та інших наслідків впливу бойових дій, а також облік результатів екологічного моніторингу. На їх основі укладаються проекти рекомендованих рішень про здійснення туристсько-рекреаційної діяльності в умовах воєнного стану картографічними методами. Розроблений алгоритм досліджень представлений на рис. 1.

Головні висновки. Проаналізувавши комплекс методик, розроблено геоекологічний алгоритм оці-

нювання рівня екологічної деградації дестинацій (складається з послідовних етапів), що дозволяє визначити ступінь впливу кожного з видів небезпек.

Пропонуються необхідні заходи щодо моніторингу негативних наслідків. Залежно від фізико-географічних умов визначаються деградовані рекреаційні ділянки за рівнем екологічної небезпеки та отримуються оцінки рівнів екологічної безпеки туристсько-рекреаційного та еколого-освітнього природокористування на відповідних дестинаціях ПЗФ та зелених зон.

Перспективи використання результатів дослідження. Сформульований алгоритм щодо оцінки рівня екологічної деградації та оптимізації системи поводження з військовими відходами може бути застосований при рейтинговій оцінці безпечності дестинацій та комбінування природно-орієнтованих видів військового туризму у повосенній Україні.

Література

1. Chytry M., Tichy L., Hennekens S. M., Knollova I. and others. EUNIS Habitat Classification: Expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats. *European Nature Information System Appl. Veg. Sci.* 2024. Vol. 121. P. 18-28.
2. Gendaram O., Damdinsuren A. Comparison of Spectral Signatures in Hyperspectral and Multispectral Data. *Advances in Engineering Research.* 2021. Vol. 206. P. 116-120.
3. Grivei A. C., Neagoe I. C., Georgescu F. A. and others. Multispectral Data Analysis for Semantic Assessment – A SNAP Framework for Sentinel-2 Use Case Scenarios. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing.* 2020. Vol. 13. P. 442-444.
4. Ichter J., Savio L., Poncet L. Synthèse des expériences européennes de cartographie de la végétation (Programme CarHAB), *SPN-MNHN, MEDDE.* Paris. 2012. 126 p.
5. Izco J. Symphytosociological nomenclature: new proposals. *Lazaroa.* 2014. Vol. 35. P. 191–194.
6. Janssen J. A. M., Rodwell J. S., Garcia Criado M. and others. European Red List of Habitats. Part 2. *Terrestrial and freshwater habitats.* 2016. 44 p.
7. Raynolds M. K., Walker D. A., Balser A. and others. A raster version of the Circumpolar Arctic Vegetation Map (CAVM). *Remote Sensing of Environment.* 2019. Vol. 232. P. 1-12.
8. Rodwell J. S., Schaminee J. H. J., Mucina L. and others. The Diversity of European Vegetation. *An overview of phytosociological alliances and their relationships to EUNIS habitats.* Wageningen. NL. Report EC-LNV nr. 2002/054. 125 p.
9. Santesson R., Moberg R., Nordin A., Tønsberg T., Vitikainen O. Lichenforming and lichenicolous fungi of Fennoscandia. Uppsala. 2004. 359 p.
10. Schaminee J.H.J., Chytrý M., Hennekens S.M., and others. Development of vegetation syntaxa crosswalks to EUNIS habitat classification and related data sets. *Final report EEA/NSV/12/001.* 2014. 135 p.

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ЕКОЛОГІЧНІ ТА КОМЕРЦІЙНІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ *CHLAMYDOMONAS REINHARDTII* У РЕВІТАЛІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСАХ

Литвин Б.Б., Петльована В.Р., Таран Н.Ю.

Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
пр. Академіка Глушкова, 2, 02000, м. Київ
lytvynbogdan164@gmail.com, petlovana@knu.ua, nataliya.taran@knu.ua

Вступ. Актуальність і мета дослідження. Одноклітинна зелена водорість *Chlamydomonas reinhardtii* демонструє значний потенціал для комерційного використання у ревіталізаційних процесах, зокрема фікоремедіації – методі біоремедіації за допомогою водних рослин і водоростей. Фікоремедіація, на відміну від фіторемедіації (яка в основному використовує наземні рослини), використовує унікальні метаболічні можливості водоростей для видалення, розкладання або іммобілізації різних забруднювачів, включаючи важкі метали, органічні забруднювачі та поживні речовини з водою. **Мета** – ремедіація ґрунтів на територіях, які були пошкоджені внаслідок активних воєнних дій, індустріальної недбалості або понаднормового аграрного використання, і подальша ревіталізація зі створенням нових територій за необхідним цільовим призначенням. **Матеріали та методи.** Методи пошуку інформації в друкованих та електронних виданнях, пошукових наукових базах даних, а також методи аналізу, порівняння та узагальнення. **Результати.** Аналіз *C. reinhardtii* в бібліографічних джерелах презентує її як рослину надзвичайно толерантну до широкого спектру важких металів, включаючи кадмій, мідь, свинець, цинк, і здатною їх накопичувати. Ця здатність виникає завдяки кільком механізмам, включаючи внутрішньоклітинну секвестрацію, позаклітинне осадження та біосорбцію. Крім того, ця водорість може ефективно розкладати та детоксикувати органічні забруднювачі, пестициди та вуглеводні. **Висновки.** *C. reinhardtii* при правильному використанні може бути повноцінною альтернативою хімічним добривам і її фікомеліоративна цінність може бути використана як головний інструмент в відновленні понівечених ґрунтів без агресивного впливу на навколишнє середовище. Важливо продовжувати ці дослідження та демонструвати переваги використання цих водоростей у сільськогосподарському секторі. Однією з найперспективніших перспектив є дослідження симбіотичних можливостей цих водоростей з гіперакумулятивними культурами, що може прискорити процес відновлення, забезпечуючи як постачання макроелементів, так і поглинання CO₂, що буде корисним як довгострокова техніка. **Ключові слова:** Фікомеліорація, макроелементи, секвестрація, відновлення ґрунтів, важкі метали, біодобрива.

Ecological and commercial prospects for the use of *Chlamydomonas reinhardtii* in revitalization processes. Lytvyn B., Petlovana V., Taran N.

Introduction. Relevance and purpose of the study. The single-celled green algae *Chlamydomonas reinhardtii* shows significant potential for commercial use in revitalization processes, particularly phytoremediation—a method of bioremediation using aquatic plants and algae. Phytoremediation, unlike phytoextraction (which mainly uses terrestrial plants), utilizes the unique metabolic capabilities of algae to remove, decompose, or immobilize various pollutants, including heavy metals, organic pollutants, and nutrients from water bodies. **The goal** is to remediate soils in areas that have been damaged by active warfare, industrial negligence, or excessive agricultural use, and then revitalize them by creating new areas for the necessary purposes. **Materials and methods.** Methods of searching for information in printed and electronic publications, scientific databases, as well as methods of analysis, comparison, and generalization. **Results.** Analysis of *C. reinhardtii* in bibliographic sources presents it as a plant that is extremely tolerant to a wide range of heavy metals, including cadmium, copper, lead, and zinc, and capable of accumulating them. This ability arises from several mechanisms, including intracellular sequestration, extracellular precipitation, and biosorption. In addition, this algae can effectively decompose and detoxify organic pollutants, pesticides, and hydrocarbons. **Conclusions.** When used correctly, *C. reinhardtii* can be a viable alternative to chemical fertilizers, and its phytomeliorative value can be used as a key tool in the restoration of degraded soils without aggressive impact on the environment. It is pivotal to continue this research and to showcase the merits of using this algae in agricultural sector. One of the most promising prospects is to explore symbiotic capabilities of this algae with hyper accumulative crops that could expedite remediation process by providing both macro-element supply and CO₂ sequestration that would be beneficial as a long-term technique. **Key words:** Phytomelioration, macroelements, sequestration, soil restoration, heavy metals, biofertilizers.

Вступ. На підставі сучасних міжнародних наукових і практичних розробок ревіталізацію розглядають як мультидисциплінарний комплекс заходів пов'язаний з процесами відновлення життя, зокрема фіторевіталізація (від гр. *phyton* – рослина, лат. *re* ... – відновлення та *vita* – життя, дослівно:

повернення життя) – термін, який вказує на процеси повернення життя завдяки рослинним організмам. Принципом фіторевіталізації є не просто медіація та стабілізація понівечених війною територій, а реабілітація контамінованих зон для створення нових функціональних середовищ. Використання водо-

ростей для відновлення довкілля, або фікоремедіація, є потенційним екологічно безпечним способом зменшення забруднюючих речовин в оточуючому середовищі і являє собою одну з складових ревіталізаційних процесів. Організми, що використовуються в ремідаційних технологіях, є однією з основних відмінностей між фіторемедіацією та фікоремедіацією. Наземні рослини є основним інструментом фіторемедіації для вилучення, розщеплення або іммобілізації забруднювачів з ґрунту, в той час як фікоремедіація використовує особливі метаболічні властивості водоростей, такі як швидкий ріст, велика біомаса та різноманітність метаболічних шляхів, для очищення довкілля від різних забруднювачів. Окрім процесів біосеквстрації важких металів в своїх клітинах [1,2], водорості можуть бути й необхідним добривом для відновлення макроелементного складу ґрунту [3]. Завдяки широкому поширенню по всьому світу і здатності до дуже швидкої реколонізації забруднених територій [4] представники виду *Chlamydomonas*, є перспективними об'єктами для розробки екологічно безпечних та комерційно обґрунтованих фікоремедіаційних технологій в програмах ревіталізації забруднених воєними діями територій.

Метою даної роботи є визначити екологічну та комерційну доцільність використання водоростей у фіторевіталізаційних процесах.

Методи дослідження ревалентний аналіз ремідаційних технологій за участю водоростей. Об'єкт дослідження – представник виду *Chlamydomonas*, Хламідомонада *C. reinhardtii*. – одноклітинний організм з майже сферичною клітинною стінкою навколо цитоплазми і центральним ядром. Хламідомонада може виживати в багатьох середовищах існування. Їх можна знайти в морській, прісній воді, льоду, а іноді і в ґрунті. Деякі види хламідомонад добре переносять і активно функціонують в екстремально холодних або екстремально кислих умовах.

C. reinhardtii є достатньо добре вивченим біологічним модельним організмом, частково завдяки простоті культивування та можливості генетичних трансформацій.

Результати. Аналіз об'єктів з ремідаційним потенціалом показав, що *C. reinhardtii* є перспективним кандидатом для створення фікоремедіаційних технологій, зокрема тих що пов'язані з ремідацією важких металів. *C. reinhardtii* надзвичайно добре накопичує такі важкі метали як кадмій, мідь, свинець, цинк завдяки встановленим механізмам виведення металів які базуються на їх внутрішньоклітинній секвстрації, синтезі захисних ензимів (тіоредоксину та плутаредоксину) та осадженні сполук у вакуолі [1,5]. Окрім того, показана здатність *C. reinhardtii* прискорювати процеси деградації органічних забруднювачів. Так, при додаванні суспензії *C. reinhardtii* до стічних вод підприємства по створенню біомаси, відмічена більш інтенсивна дегра-

дація органічних забруднювачів – азоту на 42,2% – 55,0% та фосфору на 12,5% – 15,4% після 10 днів аналізу [6].

Такі функціональні властивості *C. reinhardtii*, в свою чергу, можуть бути корисними і для процесів фікоревіталізації ґрунтів, які через воєнні дії були забруднені важкими металами та які потребують більш дешевого та масового підходу до вилучення забруднюючих сполук задля подальшого користування.

За даними літератури комерційний потенціал *C. reinhardtii* у фікоремедіації є значним і виражається у таких показниках як:

- *універсальність* – вони є толерантними до різних умов навколишнього середовища та здатні відновлювати різні забруднювачі [1];

- *економічна ефективність* – *C. reinhardtii* є низьковитратною культурою при вирощуванні на біоплівках первинних партій з подальшим внесенням у субстрат (7), для широкомасштабного та промислового застосування;

- *продукти з доданою вартістю* – подальше використання біомаси може бути ефективним для виробництва біопалива, а також кормів для тварин і фармацевтичних виробів [8];

- *комерційна вартість* – безпосередньо комерційна вартість використання *C. Reinhardtii* для фіторемедіації оцінюються на основі економічної життєздатності, технічної здійсненності, екологічної стійкості, тощо. Сучасна схема, узагальнююча потенційні функції ціанобактерій у сталому сільському господарстві та навколишньому середовищі, представлена у наведеному рисунку (Рис. 1).

Багатогранність функцій ціанобактерій регламентується певними технологічними процесами які потребують спеціального дослідження. Вони передбачають, зокрема, визначення та оцінку важливих бар'єрів на шляху комерціалізації технологій фіторемедіації на основі *C. reinhardtii*, що пов'язані з такими викликами як оптимізація умов вирощування, розробка ефективних методів збору біомаси та її довгострокову стійкість в фіторемедіаційній системі. Необхідно враховувати і можливі синергії між використанням *C. reinhardtii* у фіторемедіаційних процесах з іншими сферами застосування, наприклад, виробництвом біопалива або вирощування агрокультур. Можливості використання ціанобактерій ґрунтах для підвищення складу макроелементів, разом з можливістю вступати в реакції з іншими представниками мікробіоти в симбіотичному форматі, роблять оптимальним вибір *C. reinhardtii* для фікоремедіації та розширеного дослідження самих принципів відновлення екосистем і антропоморфного впливу на них.

В більшості випадків, водорості *C. Reinhardtii* використовувалися в системах очищення стічних вод через свою здатність швидко розмножуватись саме у водних середовищах. У цьому агрегатному стані,

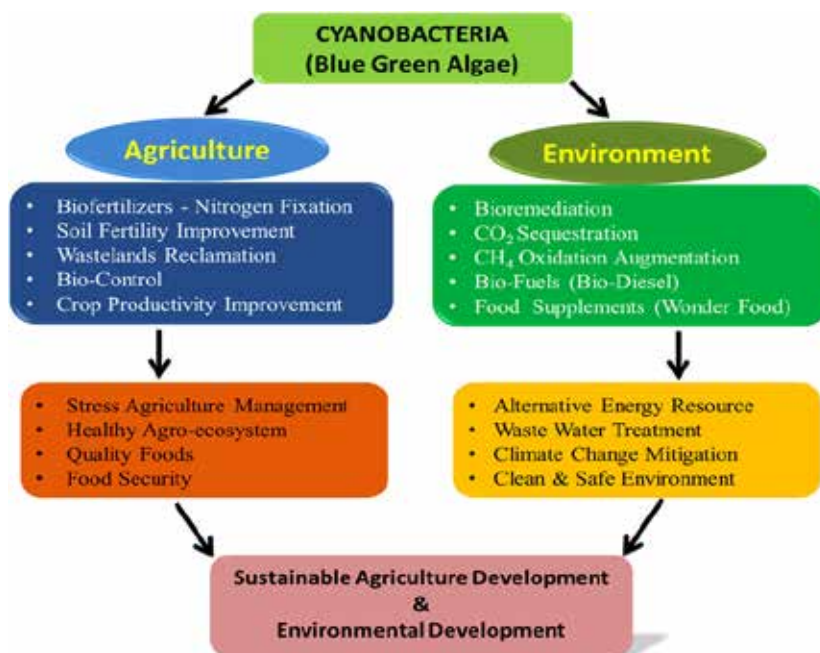


Рис. 1. Узагальнююча схема функцій ціанобактерій у сталому сільському господарстві та навколишньому середовищі [3]

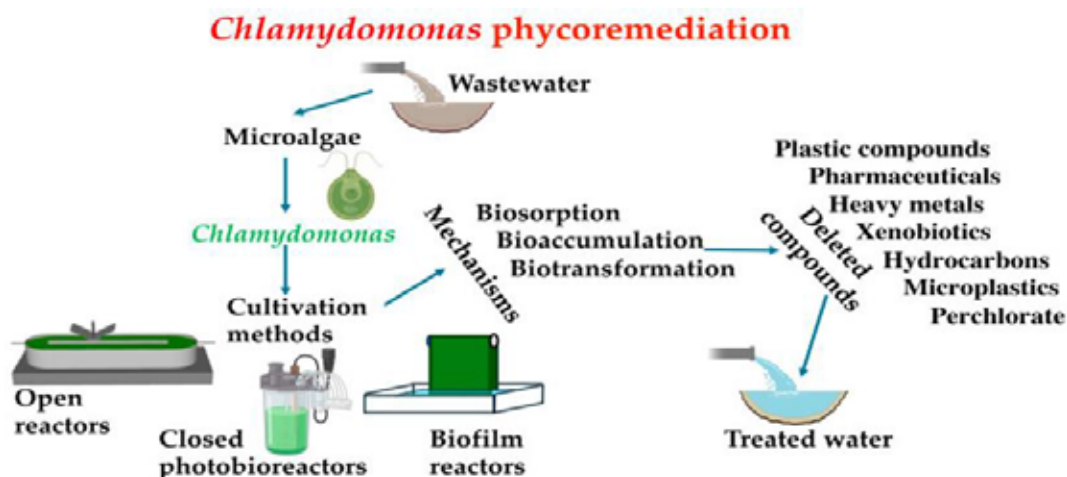


Рис. 2. Схема процесу очищення стічних вод за допомогою хламідомонадо-бактеріальних консорціумів [4]

клітини мають майже прямий доступ до хімічних сполук, які треба розкласти, і подальше видалення залишків забруднення і контамінованих частинок водоростей реалізується поверхневою фільтрацією (Рис. 2).

Такий технологічний процес є доцільним за необхідності подальшого використання водоростей для реалізації у технологіях виробництва біопалива [9] і біогідрогену [10], де необхідна висока продуктивність за дуже малих початкових інвестицій і де контаміновані представники очищаються під час каталітичних процесів утворення палива.

Для використання представників *C. Reinhardtii* в фікоремедіації ґрунту, необхідно створити симбіотичні зв'язки між водоростями та бактеріями, які б

допомагали у відновленні макроелементного складу ґрунту. Так, було проаналізовано, що комбінація з *Methylobacterium aquaticum* дозволила водоростям наростити більше біомаси у середовищі з високим вмістом проліну, де бактерії передавали водорості частину NH₄⁺, отриманого в результаті свого метаболізму (Рис. 3). У свою чергу, *C. reinhardtii* передає частину свого фіксованого вуглецю у вигляді гліцерину *M. aquaticum*, яка використовує його як джерело вуглецю [11].

Іншим симбіотичним прикладом є комбінація *Chlamydomonas*–*Azotobacter*, де *Chlamydomonas* розкладає наявні в субстраті вуглеводні для росту *Azotobacter*, який, в свою чергу, секвеструє нітроген

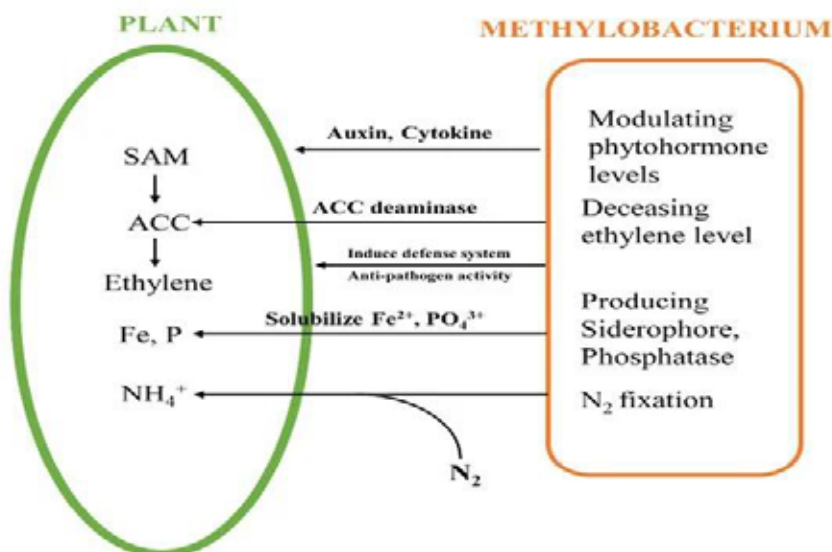


Рис. 3. Механізми, за допомогою яких *Methylobacterium* spp. сприяють росту рослин [16]

та диоксид вуглецю з повітря для росту водорості [12]. Така комбінація дозволяє акумулювати в ґрунті необхідний для росту рослин азот після декомпозиції клітин водоростей.

Наукові дослідження показують, що фікоремедіація коштує дешевше, ніж традиційні методи боротьби із забрудненням довкілля. Фінансування біовідновлення за допомогою рослин коштує від \$20 до \$40 за тону сміття, тоді як хімічні методи вимагають від \$100 до \$500 [13].

Для порівняння, процес очищення нафтових вуглеводнів за допомогою фіторемедіації коштує від \$2500 до \$15000 за гектар, мікробіологічна обробка – від \$20 000 до \$60 000 за гектар, а мікробіологічна обробка *in situ* – від \$7500 до \$20 000 за гектар [14].

Використання водоростей допомагає уникнути використання хімічних добрив вартістю приблизно \$5584 (доларів США) на акр на рік, використовуючи їх біомасу як гній [15].

Дискусія і висновки. Наш огляд показує, що *Chlamydomonas reinhardtii* дуже добре підходить для використання водоростей у ревіталізаційних технологіях та здійсненні екологічних послуг з відновлення порушених просторів. Ця водорість має багато переваг для очищення забруднених місць: вона видаляє важкі метали, розщеплює шкідливі органічні забруднювачі та добре росте у великих кількостях.

Серед головних переваг у використанні *C. reinhardtii* у фікоремедіації можна зазначити наступне:

- Висока ефективність: Швидкість росту та здатність утворювати велику кількість біомаси надає велику перевагу в порівнянні зі стандартними методами хімічного та механічного очищення.

- Універсальність: Водорість може справлятися з різними типами забруднень і рости здоровою в широкому спектрі несприятливих умов.

- Економічна доцільність: Розсіювання водорості потребує мінімальних витрат і швидкість розповсюдження дозволяє проводити фікоремедіацію на більших площах за короткі терміни.

- Додана вартість біомаси: Біомаса з *C. reinhardtii* може бути перетворена на кілька різних товарних продуктів, включаючи біопаливо, корм для тварин тощо.

Серед основних питань, які потребують ретельного дослідження можна визначити:

- Оптимізація умов вирощування: Проведення додаткових досліджень для створення оптимальних умов вирощування водоростей в умовах *in situ*

- Розробка ефективних методів збору продуктивної біомаси: Знайти кращі способи збору біомаси водоростей, щоб процеси екстракції з ґрунту були максимально не інтрузивними

- Дослідження взаємодії з іншими організмами: Вивчити, як *C. reinhardtii* взаємодіє з більшою добірною організмів для створення більш ефективних симбіотичних ланцюгів.

В подальших дослідженнях будуть розглянуті такі питання:

- Вивчення методів модифікації генів *C. reinhardtii*, задля покращення її здатності поглинати певні забруднювачі довкілля.

- Створення кращих процедур вирощування та збору водоростей у великих масштабах.

- Створення бізнес-моделі, яка буде прикладом для подальших проектів по відновленню територій від антропогенних забруднювачів.

З розвитком досліджень і розробок використання *Chlamydomonas reinhardtii* для очищення може допомогти захистити наше довкілля та сприяти кращому майбутньому розвитку.

Література

1. Howe, Gregg, Sabeeha Merchant. Heavy Metal-Activated Synthesis of Peptides in *Chlamydomonas reinhardtii*. 1992. *Plant Physiology*, Vol. 98, № 1, P. 127–136
2. Samadani, Mahshid, David Dewez. Cadmium accumulation and toxicity affect the extracytoplasmic polyphosphate level in *Chlamydomonas reinhardtii*. 2018 *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 166, P. 200–206
3. Chittoraa, Deepali, Mukesh Meenaa, Tansukh Barupala, Prashant Swapnilb, Kanika Sharmaa. Cyanobacteria as a source of biofertilizers for sustainable agriculture. 2020. *Biochemistry and Biophysics Reports*. Volume 22, 100737
4. Torres, María J., Carmen M. Bellido-Pedraza and Angel Llamas. Applications of the Microalgae *Chlamydomonas* and Its Bacterial Consortia in Detoxification and Bioproduction. 2024. *Life*, Vol. 14 № 8, P. 940
5. Gillet, Sylvie, Paulette Decottignies. Cadmium response and redoxin targets in *Chlamydomonas reinhardtii*: A proteomic approach. 2006. *ORIGINAL PAPER* Vol. 89, P. 201–211
6. Kong Q.X., Li L., Martinez B., Chen P., Ruan R. (2010) Culture of Microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* in Wastewater for Biomass Feedstock Production. 2010. *Applied Biochemistry and Biotechnology* Vol. 160, P. 9–18.
7. Moreno Osorio J.H., Pollio A., Frunzo L., Lens P.N.L., Esposito G. A Review of Microalgal Biofilm Technologies: Definition, Applications, Settings and Analysis. 2021. *Frontiers in Chemical Engineering*. Volume 3. 737710
8. Scranton, Melissa A, Joseph T Ostrand, Francis J Fields, Stephen P Mayfield. *Chlamydomonas* as a model for biofuels and bio-products production. 2015. *The Plant Journal*. Vol. 82, P. 523–531
9. Work VH, Radakovits R, Jinkerson RE, Meuser JE. Increased lipid accumulation in the *Chlamydomonas reinhardtii* sta7–10 starchless isoamylase mutant and increased carbohydrate synthesis in complemented strains. 2010. *ASM Journals*. Vol. 9, №. 8
10. Melis A, Zhang L, Forestier M, Ghirardi ML. (2000). Sustained photobiological hydrogen gas production upon reversible inactivation of oxygen evolution in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. 2010. *Plant Physiology*, Volume 122, № 1, P. 127–136
11. Torres, M.; Gonzalez-Ballester, D.; Gomez-Osuna, A.; Galván, A.; Fernandez, E.; Dubini, A. *Chlamydomonas*-*Methylobacterium Oryzae* Cooperation Leads to Increased Biomass, Nitrogen Removal, and Hydrogen Production. 2022. *Bioresource Technology*. Vol. 352, 127088
12. Preininger, Eva, Tamas Ponyi, Livia Sarkadi, Peter Nyitrai, and Istvan Gyurjan. Long-living *Azotobacter*-*Chlamydomonas* association as a model system for plant-microbe interactions. 2006. *Symbiosis*. Vol. 42 № 1, P. 45
13. Salt, D. E., R. D. Smith, and I. Raskin. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. 1998. *Plant Physiology*. Vol. 49 № 643 P.68
14. Cunningham, S. D., T. A. Anderson, A. P. Schwab and F. Hsu, Adv. Agron. Phytoremediation of Soils Contaminated with Organic Pollutants. 1996. *Advances in Agronomy*. Vol. 56, P. 55–114
15. Sengupta, Swagata Laxmi, Rajib Ghosh Chaudhuri, Susmita Dutta (2023). A critical review on phycoremediation of Pollutants from Wastewater – A Novel Algae Based Secondary Treatment with the Opportunities of Production of Value-Added Product. 2023. *Research Square*.
16. Zhang, Cong, Meng-Ying Wang (2021) Potentials, Utilization, and Bioengineering of Plant Growth-Promoting *Methylobacterium* for Sustainable Agriculture. 2021. *Cells*. Vol. 13. 1137

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

СУЧАСНІ ГЕОМОРФОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

Бігун М.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, 79000, м. Львів

mykola.v.bihun@lpnu.ua

Дана публікація присвячена висвітленню сучасних геоморфологічних процесів, які відбуваються на території Передкарпаття. Передкарпаття – це передгірська зона Українських Карпат, яка характеризується складною геологічною та геоморфологічною будовою. Сучасні геоморфологічні процеси Передкарпаття є прямим результатом геодинамічних умов регіону. Встановлено, що найбільш частими процесами тут є зсуви ґрунту, селі, ерозії, карстові утворення. Причинами виникнення та посилення інтенсивності згаданих процесів є вплив, як природних, так і антропогенних чинників. До природних чинників, які сприяють виникненню зсувів та селів на території Передкарпаття належать кліматичні зміни (почастішання виникнення злив, сильних вітрів, паводків). До антропогенних – кар'єри, штольні, шахти, будівництво тунелів, терасування схилів, вирубування лісів, руйнування дамб, нераціональне ведення сільського та лісового господарства, використання важкої техніки при перевезенні деревини, нераціональне розорювання схилів тощо.

Проаналізовано дані за кількістю та інтенсивністю зсувів, селів та ерозійних процесів на території Передкарпаття за 2018–2023 роки. З'ясовано, що значні зсуви ґрунту та селі характерні для територій, що належать до Чернівецької та Івано-Франківської областей, а карстові утворення – Львівської області. Для того, щоб нівелювати вплив згаданих негативних силових явищ та ефективно запобігти їхнім наслідкам необхідно застосовувати інтегрований підхід, який би включав як заходи на загальнодержавному рівні, так і на місцях.

Оцінено соціально-економічні наслідки: деградація ґрунтів, зниження продуктивності агроландшафтів, забруднення водних об'єктів, збитки для населення. Запропоновано комплекс профілактичних і відновлювальних заходів, серед яких: регулювання господарської діяльності, інженерне укріплення небезпечних ділянок, впровадження водовідвідних систем, обмеження рубок і видобування ресурсів. Актуальність теми зумовлена необхідністю запровадження ефективної системи управління природними процесами у передгірських регіонах України з урахуванням кліматичних викликів та збереження екосистемної рівноваги. *Ключові слова:* геоморфологічні процеси, Передкарпаття, Передкарпатський прогин, геодинаміка, екзогенні процеси, неотектоніка, зсув, ерозія, суфозія, карст, тектоніка, сейсмічна активність, агроландшафт, геодезичний моніторинг.

Contemporary geomorphological processes of the Pre-Carpathian region. Bihun M.

This publication is devoted to the analysis of contemporary geomorphological processes occurring in the territory of the Pre-Carpathians. The Pre-Carpathian region represents the foothill zone of the Ukrainian Carpathians and is characterized by a complex geological and geomorphological structure. The current geomorphological processes in the Pre-Carpathians are a direct result of the region's geodynamic conditions. It has been established that the most frequent processes include landslides, mudflows, erosion, and karst formation. These processes are intensified by both natural and anthropogenic factors. Natural drivers contributing to the emergence of landslides and mudflows in the Pre-Carpathians include climate change, particularly the increased frequency of heavy rainfall, strong winds, and floods. Anthropogenic factors comprise quarrying, mining, tunneling, slope terracing, deforestation, dam destruction, unsustainable agricultural and forestry practices, the use of heavy machinery for timber transportation, and the inappropriate cultivation of slopes.

The publication analyzes data on the number and intensity of landslides, mudflows, and erosion processes in the Pre-Carpathians for the period 2018–2023. It was revealed that significant landslides and mudflows are typical for the territories of Chernivtsi and Ivano-Frankivsk regions, whereas karst formations are predominantly found in the Lviv region. To mitigate the impact of these adverse natural phenomena and effectively prevent their consequences, an integrated approach is necessary. This approach should encompass measures at both the national and local levels.

The socio-economic consequences have also been assessed, including soil degradation, reduced productivity of agro-landscapes, contamination of water bodies, and financial losses for the population. A comprehensive set of preventive and restorative measures is proposed, including the regulation of economic activity, engineering stabilization of hazardous areas, implementation of drainage systems, restrictions on logging and resource extraction. The relevance of this topic is determined by the need to establish an effective system for managing natural processes in the foothill regions of Ukraine, taking into account climate challenges and preserving ecosystem balance. *Key words:* geomorphological processes, Pre-Carpathians, Pre-Carpathian depression, geodynamics, exogenous processes, neotectonics, landslide, erosion, suffosion, karst, tectonics, seismic activity, agro-landscape, geodetic monitoring.

Вступ. Останнім часом по всьому світу відбуваються зміни клімату, рельєфів, ландшафтів, які зумовлені як природними, так і антропогенними чинниками. У більшості регіонів світу через зміни температурного режиму та вологості повітря, інтен-

сивності опадів та шквальних вітрів створюються передумови для виникнення екстремальних геологічних та геоморфологічних процесів, таких як зсуви, селі, карстоутворення, посилення ерозійних процесів тощо.

В Україні такі процеси найбільше проявляються у гористій місцевості Українських Карпат та Передкарпатті через відповідну геологічну будову території та особливості рельєфу.

Останні десять років Передкарпатський регіон характеризувався почастищенням екстремальних погодних умов, таких як сильні вітри, зливи, паводки, тощо. Також в межах цього регіону часто ведеться нераціональне господарювання, вирубування лісів на схилах, висаджування монокультур, які не сприяють дренажу тощо. Все згадане вище призводить до почастищення зсувних процесів, виникнення селевих потоків, посилення ерозійних процесів, а відповідно, і процесів деградації ґрунтів та порушень на рівні екосистем.

Перелічені вище негативні схилі процеси призводять до таких наслідків:

1. Деградації природних систем гірської частини Передкарпаття.

2. Деградації ґрунтового покриву.

3. Забруднення русел річок.

4. Зменшення кількості орних земель.

5. Значних економічних збитків тощо.

Отже, вивчення геоморфологічних процесів, які відбуваються на території Передкарпаття на сучасному етапі є надзвичайно важливим питанням, оскільки збір та аналіз актуальної інформації про місця утворення екстремальних геоморфологічних явищ, їх інтенсивність та вивчення передумов їх виникнення є запорукою успішного реагування на такі явища.

Метою даної роботи є збір та аналіз актуальної інформації про сучасні геоморфологічні процеси, які відбуваються на території Передкарпаття.

Матеріал та методи. Основними матеріалами дослідження сучасних геоморфологічних процесів Передкарпаття були дані статистичних звітів Державної служби геології, ДНВП «Геоінформ», геологічні та топографічні карти, матеріали дистанційного зондування, регіональні доповіді обласних адміністрацій за період 2013–2023 рр., метеорологічні дані, дані польових спостережень. Методика дослідження передбачала комплексний підхід, що поєднував в собі польові спостереження, дистанційні технології, картографічні та статистичні методи.

Результати дослідження. Передкарпаття розміщене між південно-західним краєм Подільської височини і північно-східними схилами Українських Карпат. Область відрізняється великим горизонтальним і вертикальним розчленуванням території. До цього регіону входять окремі території таких адміністративних областей: Івано-Франківської, Чернівецької та Львівської.

Терени Передкарпаття знаходяться в межах єдиної геотектонічної структури – Передкарпатського передового прогину, основу якого становить значна товща осадових порід міоценового віку. Ці відклади переважно складені різноманітними глинисто-піщаними та мергелевими породами. На більшості площі регіону міоценові породи перекриті четвертинними відкладами, серед яких домінують гравій,

пісок та суглинки. Як зазначали А. М. Маринич і М. М. Койнов, до геологічної будови Передкарпаття також належать неогенові утворення, включаючи глини, глинисті сланці та пісковики.

Передкарпатське низькогір'я характеризується глибоким розчленуванням, зумовленим притоками Дністра, які орієнтовані вздовж зон поперечних тектонічних розломів. Формування схилів міжрічкових просторів, їх крутизна та висота визначаються складом міоценових порід, характером терас різного віку та поширенням зсувних процесів. Тут поширені терасові, уступчасті або стрімкі схили з осипами та делювіальними відкладами біля основи. Значну частину рельєфу займають улоговини, дна яких розташовані на 80–150 м нижче за вододіли (рис. 1).

У межах Внутрішньої зони прогину вирізняються височинні форми: Присвіцька, Болевська, Свіче-Чечвинська, Рожнятівська, Прилуквинська, Бистрицько-Прутська, а також низькогірні масиви: Майданський, Надвірнянський, Слободи Рунгурської та Покутський. Сучасна морфологія регіону є результатом дії різних природних процесів, зокрема водної ерозії, денудації, гравітаційних зсувів, що тісно пов'язані з геотектонічною активністю та літологічними особливостями місцевості [8, 9].

Кліматичні умови Передкарпаття відзначаються значною варіативністю, що зумовлено як складним рельєфом (нааявність гір, височин, рівнин, річкових долин), так і присутністю великих лісових масивів. Через це забезпечення тепловою енергією та вологою в різних частинах регіону суттєво відрізняється. Найбільша кількість опадів за рік на Передкарпатті випадає в передгірних районах – 700–750 мм, а в рівнинних районах – 550–650 мм. 70% випадає в теплий період року. Стійкий сніговий покрив утворюється тільки в передгір'ї. На решті території він переважно нестійкий. Середня висота снігового покриву коливається в межах 20–47 см, при мінімальних значеннях 5–10 см. В окремі роки формується значний за висотою сніговий покрив 40–60 см [9].

Виходячи з геологічних, геоморфологічних та кліматичних умов Передкарпаття для цієї території характерні такі геоморфологічні процеси: тектонічні, ерозія, зсуви, селі та супілі, формування карсту тощо. Розглянемо сучасні тенденції розвитку згаданих процесів на території Передкарпаття (рис. 2).

Території, що відносяться до Передкарпаття характеризуються значним розчленуванням рельєфу за рахунок великої кількості річок. Тут знаходяться верхні течії Дністра, Прута та їхні притоки (Стрий, Свіча, Лімниця, Бистриця). За рахунок процесів руслоформування та сезонних паводків відбуваються творення ландшафтних форм. Останнім часом все більшої ваги в ландшафтоутворюючих процесах набуває вплив антропогенного фактору: розорюваності земель, зміни природних русел річок, вирубування лісового покриву, застосування важкої техніки на територіях зі значним нахилом поверхні тощо [3].

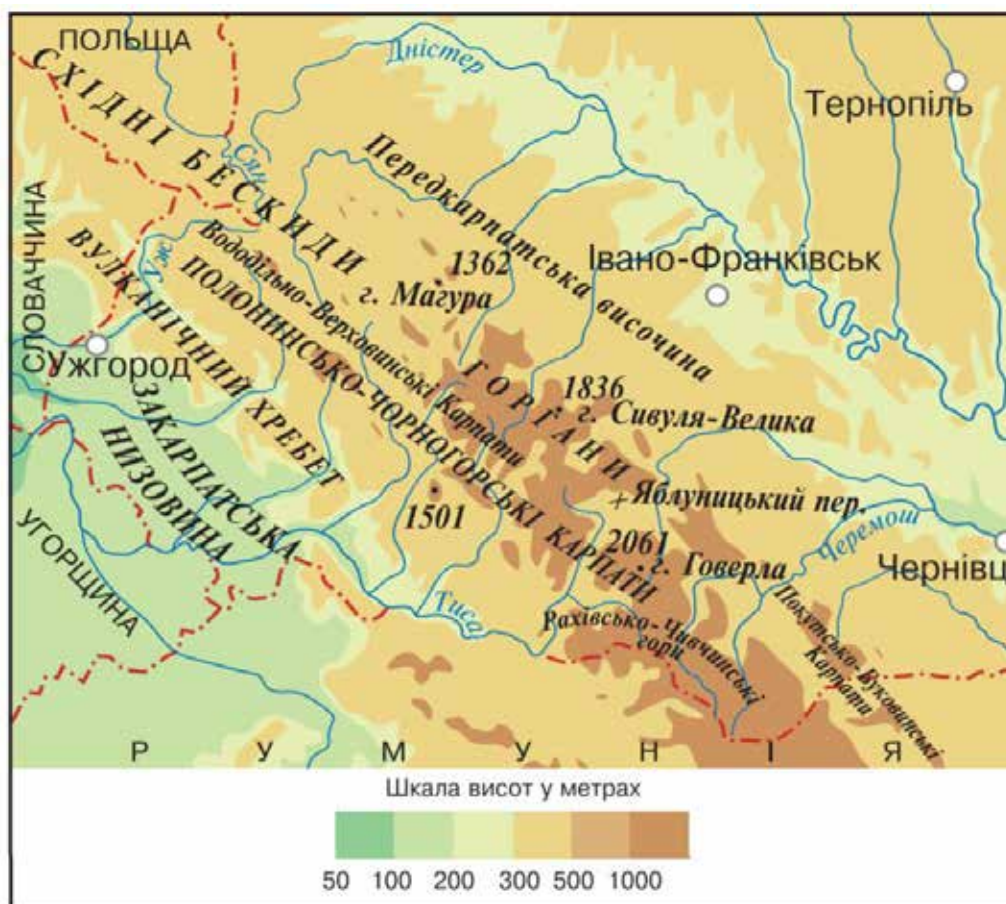


Рис. 1. Фізико-географічне районування Карпат

**Зсувні процеси**

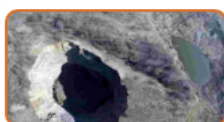
- поширені на крутих, зволжених схилах. Часто виникають у зонах з глинистими відкладами.
- активізуються після інтенсивних опадів.

**Ерозійні процеси**

- Площинна та лінійна ерозія.
- Формування ярів і балок.
- Посилюється через вирубку лісів, орне землеробство.

**Суффозія**

- Підземне вимивання дрібних часток ґрунту.
- Призводить до осідання поверхні, формування тріщин.

**Карстові процеси**

- Формуються у вапнякових і гіпсових породах.
- Призводять до створення воронок, тріщин, печер.

**Антропогенні впливи**

- Забудова, вирубка, прокладання доріг.
- Активізують природні процеси, спричиняють деградацію рельєфу.

Рис. 2. Сучасні тенденції розвитку геоморфологічних процесів Передкарпаття

Антропогенна діяльність, накладаючись на природні умови, інтенсифікує процеси площинного та лінійного змиву ґрунту, що зумовлено значною розораністю території та насиченням сівозмін просапними культурами, використання застарілих технологій, недостатнім внесенням органічних добрив.

Водної ерозії зазнають ґрунти, приурочені до схилів вододілів та плакорів, долин річок та балок крутизною понад 1°. Вітрової ерозії зазнають ґрунти легкого гранулометричного складу, сформовані на водно-льодовикових, давньоалювіальних відкладах. Відповідно, території, що відносяться до Передкарпаття, знаходяться в зоні ризику [4].

Встановлено, що ерозійні втрати ґрунту порівняно з еталоном у слабоеродованих ґрунтах становлять від 541,8 до 2112,1 т/га, середньоеродованих – 2527,3–5563,2 т/га, у сильноеродованих – від 3753,8 до 7200,6 т/га [3, 4] (рис. 3).

Гідрологічна деградація проявляється у ґрунтах Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької областей через такі процеси, як аридизація, підтоплення і вторинне заболочення.

Зміни кліматичних умов також є суттєвим фактором, що впливає на геоморфологічні процеси. Так посиленню ерозійних процесів в Передкарпатському регіоні сприяє збільшення інтенсивності дощів, особливо, в літньо-весняний період, що спричиняє почастищення паводків та селів, які, в свою чергу, значно посилюють ерозію ґрунтового покриву [11].

Територія Чернівецької області характеризується значною еродованістю ґрунтів, особливо це стосується орних земель. Цьому сприяють геолого-геоморфологічні і кліматичні умови області. Еродованість орних земель сягає від 18,2 до 66%. Всього такі землі займають 59,7% від загальної площі с/г угідь області. При відсутності застосування ґрунтозахисних заходів ерозійні процеси збержуть тенденцію до розповсюдження. В середньому в області щорічно змивається майже 32 тонни ґрунтів з гектара, а під час злив високої інтенсивності (1,8–2,0 м/хв) на схилах

5°, зайнятих просапними культурами, змив ґрунту сягає 400–500 т/га [14].

Схожа ситуація також і в межах Івано-Франківської області.

Найбільший вплив на еродованість ґрунтів серед погодних чинників становлять паводки та сильні вітри.

Останні 5–6 років характеризувались значним почастищенням випадків паводків та шквальних вітрів в районах, що належать до Передкарпатського регіону. Пік паводкових явищ припав на 2019–2020 роки [6] (рис. 5).

Згідно зі статистичними даними за кількістю сильних вітрів в Передкарпатті стає зрозуміло, що кількість та інтенсивність цього явища поступово зростає, що призводить також і до інтенсифікації ерозій ґрунту [11] (рис. 6).

Почастищення випадків екстремальних погодних явищ та нераціонального використання природних ресурсів призводить до почастищення виникнення зсувів ґрунту та селів. В Передкарпатті ці явища набувають значного поширення, оскільки їм сприяють склад ґрунтів та підстилаючої поверхні, а також різкі перепади висот. Особливо це помітно в гірських районах Передкарпаття Івано-Франківської та Чернівецької областей, де інтенсивність та частота виникнення зсувів є суттєвою (рис. 7).

Найбільшою частотою виникнення зсувів ґрунту за період 2018–2023 рр. характеризувалась територія Чернівецької області, особливо часто зсуви виникали безпосередньо в м. Чернівці. Також достатньо часто зсувні явища можна було помітити в гірській частині Івано-Франківської області. Цікаво, що в Чернівецькій області основними причинами утворення зсувних мас є склад підстилаючої поверхні, часті підтоплення та тенденція до виникнення карстів, а в Івано-Франківській області таке явище викликалося антропогенним впливом, а саме нафто-та газовидобутком [6].

У зв'язку з кліматичними змінами та почастищенням підтоплень та паводків у Передкарпатському

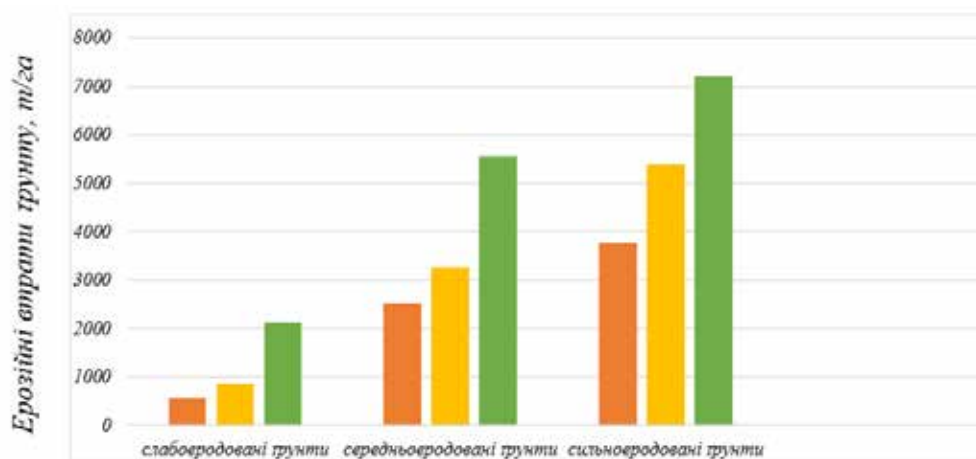


Рис. 3. Ерозійні втрати ґрунту порівняно з еталоном у Передкарпатському регіоні

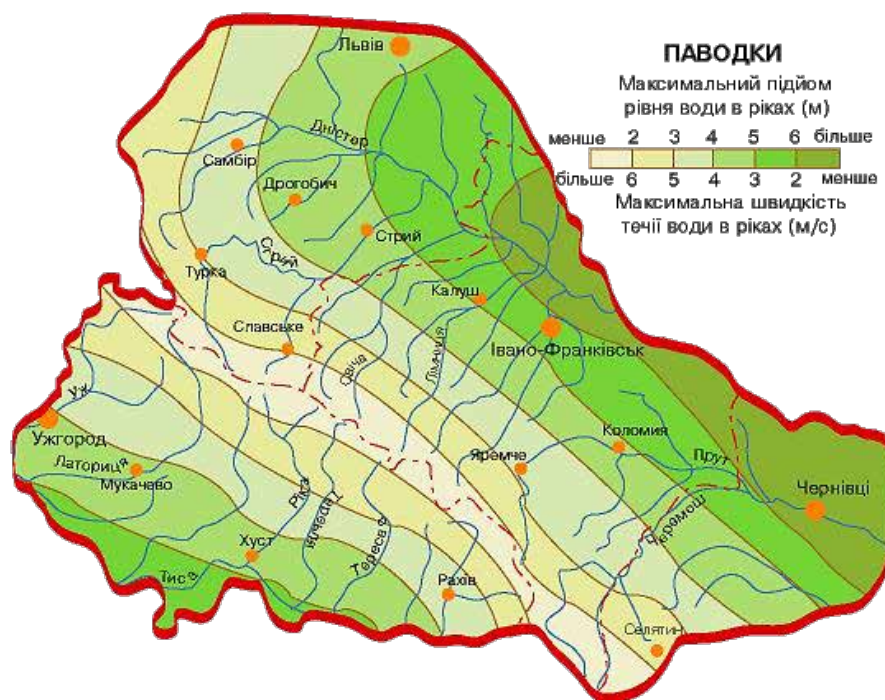


Рис. 4. Схема небезпеки паводків на території Заходу України

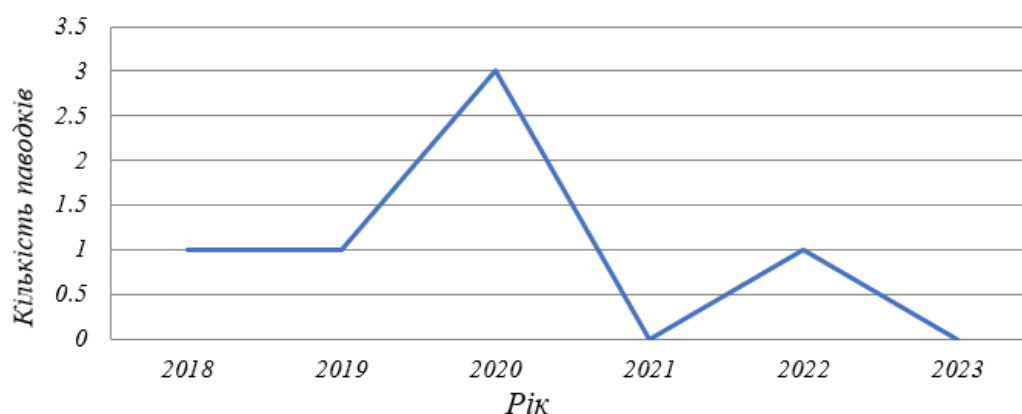


Рис. 5. Кількість випадків наводків в Передкарпатському регіоні

регіоні почастішали і випадки селевих потоків. Найбільш розповсюджене це явище в гірських районах Івано-Франківської області та на території Покутсько-Буковинських Карпат (рис. 8) [6, 10].

В Передкарпатті також достатньо часто зустрічається таке екзогенне геологічне явище як карстоутворення. Особливо часто ці процеси відбуваються на території Львівської області (рис. 9).

На значній частині території Львівської області поширені карстові процеси. Породи, що карстуються, розповсюдженні в межах південно-західного краю Східно-Європейської платформи (до 90% території) і в Передкарпатському прогині – загальному до 30% території. Основні закономірності розвитку карсту пов'язані з просторовим розповсюдженням

порід, що карстуються, їх літологічним складом, потужністю перекриваючих порід, ступенем і умовами водопроникливості, умовами і дією поверхневих і підземних вод на породи, що карстуються, а також з антропогенним чинником.

Окремі території Львівської та Івано-Франківської областей характеризується значним просторовим розповсюдженням порід, сприятливих для розвитку карстових процесів, що обумовлює розвиток карстових явищ на значних територіях. Уражені поверхні відмічаються в межах солевидобувних гірничих виробітках, які експлуатували шахтним методом [10].

Всі згадані екзогенні геологічні процеси суттєво впливають на сучасне ландшафтотворення, змінюючи звичний для Передкарпатського регіону рельєф.

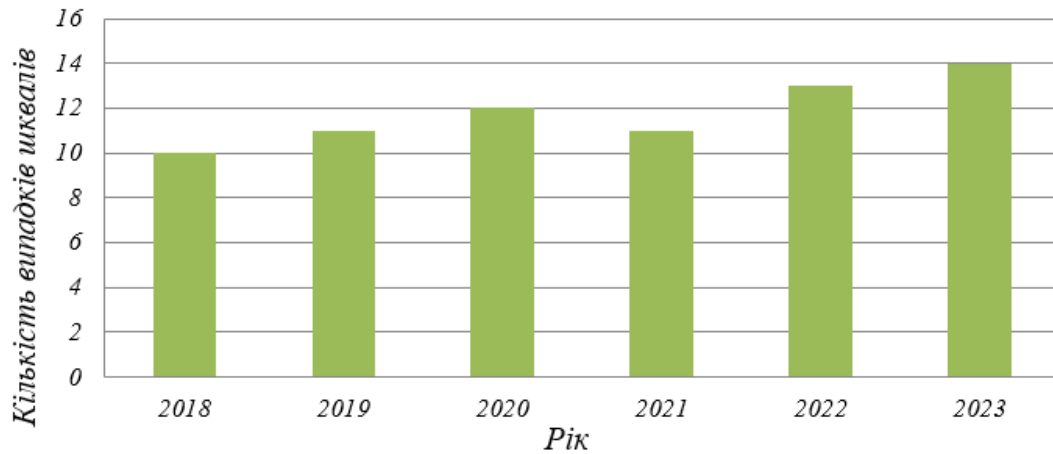


Рис. 6. Кількість випадків сильних вітрів в Передкарпатському регіоні

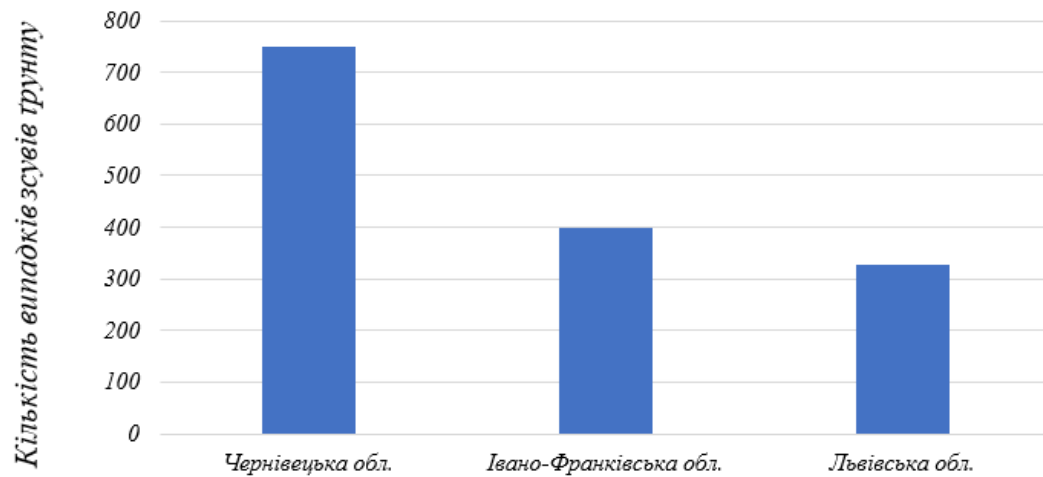


Рис. 7. Кількість випадків зсувів ґрунту в Передкарпатському регіоні (2018–2023 рр.)

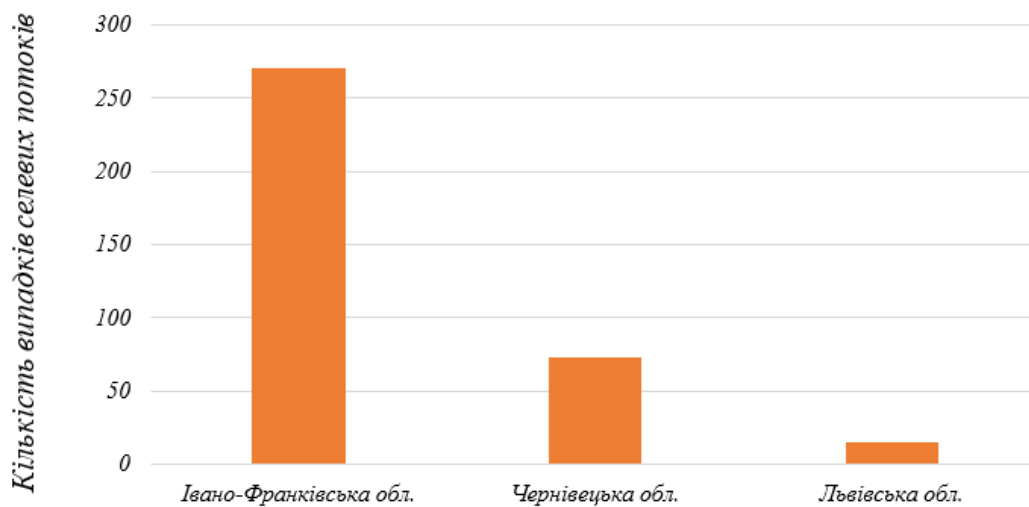


Рис. 8. Кількість випадків селевих потоків в Передкарпатському регіоні (2021–2023 рр.)

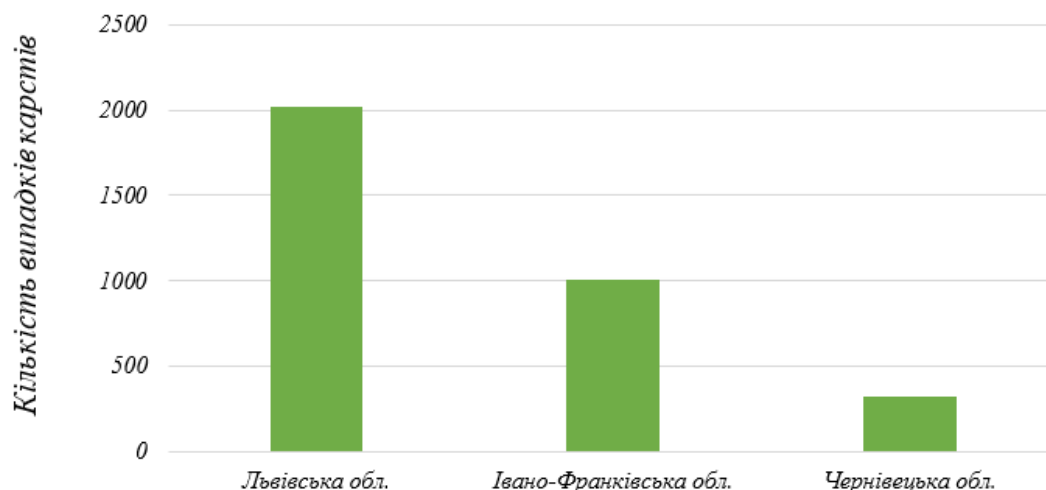


Рис. 9. Кількість випадків карстів в Передкарпатському регіоні (2021–2023 рр.)

Також ці явища є однією з основних причин деградації ґрунтового покриву в регіоні. Особливий внесок у деградацію ґрунтів вносять зсуви, селі та ерозії [1].

Поряд з природними чинниками, які активізують згадані схилі процеси (метеорологічні, гідрогеологічні, сейсмічні тощо) слід відмітити також і вплив антропогенних чинників, відсоток якого, в порівнянні з природними факторами, останніми десятиліттями значно збільшився.

На територіях, які належать до Передкарпаття, безпосередній вплив на деградацію ґрунтового покриву становить навантаження та підрізання схилів під час будівництва доріг, ліній електропередач, трубопроводів тощо.

Згадані господарчі роботи створюють прямий вплив на розорювання ґрунтів в регіоні, а опосередкований відбувається через зниження природної дренажної здатності зсувонебезпечних районів, розорювання схилів, вирубування лісів при порушенні природоохоронних норм тощо.

На посилення антропогенно спровокованих екзогенних геологічних процесів значно впливає нерациональне ведення сільського господарства, необґрунтоване і неправильне розорювання схилів та розчищення їх від лісових насаджень під сільськогосподарські потреби. Зокрема, це стосується Буковинського Передкарпаття, що характеризується розвитком горбисто-грядового, структурно-ерозійного рельєфу з активними сучасними екзогенними процесами, що призводить до дефіциту сільськогосподарських угідь в цій місцевості. В середньому в Чернівецькій області на душу населення припадає лише 0,53 га сільгоспугідь, в тому числі 0,38 га орної землі. Також, використання земель в умовах передгір'я Чернівецької області ускладнюється ще й дрібно-контурністю полів, густою гідрографічною сіткою та перезволоженням ґрунтів [14].

Активізації зсувних та ерозійних процесів в Передкарпатті значно сприяли катастрофічні повені

2010, 2018, 2020 років, спричинені змінами клімату та почастішанню екстремальних погодних умов в регіоні, що було підсилено антропогенно порушеним лісовим покривом в гірській місцевості, який не зміг забезпечити захист водозаборів від паводків [11].

Також деякі райони Передкарпаття характеризуються підвищеною сейсмічною активністю, що також сприяє активізації негативних силових процесів.

Передкарпатський прогин демонструє найвищу сейсмічну активність серед усіх структурних елементів Карпатського регіону [12, 13]. За період інструментальних спостережень виділяються три основні епізоди активізації, пов'язані з нафтогазовими районами (Долинський (1974–1976 рр.), Надвірнянський (1996–2013 рр.) та Бориславський (2014–2017 рр.)). Часова кореляція між початком інтенсивного видобутку та сейсмічною активізацією підтверджує техногенну природу більшості місцевих землетрусів (рис. 10).

Типовий цикл включає початкову фазу активізації через 2–16 років після початку видобутку газу та 7–30 років для нафтових родовищ, що узгоджується з міжнародним досвідом [12].

Серед причин антропогенного характеру, які також впливають на активність зсувних та селевих процесів в досліджуваному регіоні є надмірна вирубка лісів, створення некорінних типів насаджень, в основному, монокультурних, що призвело до погіршення укріплення та дренажу схилів. Також значний вплив мають відсутність належного берегоукріплення, демонтаж гребель, надмірний забір гравію та каменю, засмічення русел річок рештками деревини від порубок тощо (рис. 11).

Всі згадані фактори створюють передумови для подальшого поширення негативних схилісних процесів в Передкарпатському регіоні. Для покращення ситуації необхідно вживати відповідні заходи, які змогли б позитивно вплинути на стан ландшафтних систем.

При плануванні таких заходів необхідно враховувати, що в створенні та підтриманні ландшафту велике значення має взаємодія різних екосистем, відповідно, потрібно враховувати вплив кожної з них. Наприклад, недостатньо буде тільки поновити оптимальну лісистість схилу, необхідно також звертати увагу на стан ґрунтового покриву місцевості тощо.

На погляд автора, необхідно починати з запровадження на практиці управлінських рішень щодо здійснення першочергових заходів щодо еколо-

гічно збалансованого та комплексного управління природними ресурсами гірських та передгірських районів. Необхідно гармонізувати управлінські рішення, які приймаються на державному рівні з можливостями та потребами на місцях. Оскільки проблема деградації ґрунтів та почастішання негативних схилових процесів є міжгалузевою, то потрібно привести у відповідність природоохоронні стандарти та першочергові заходи між всіма задіяними відомствами [2, 4, 9].

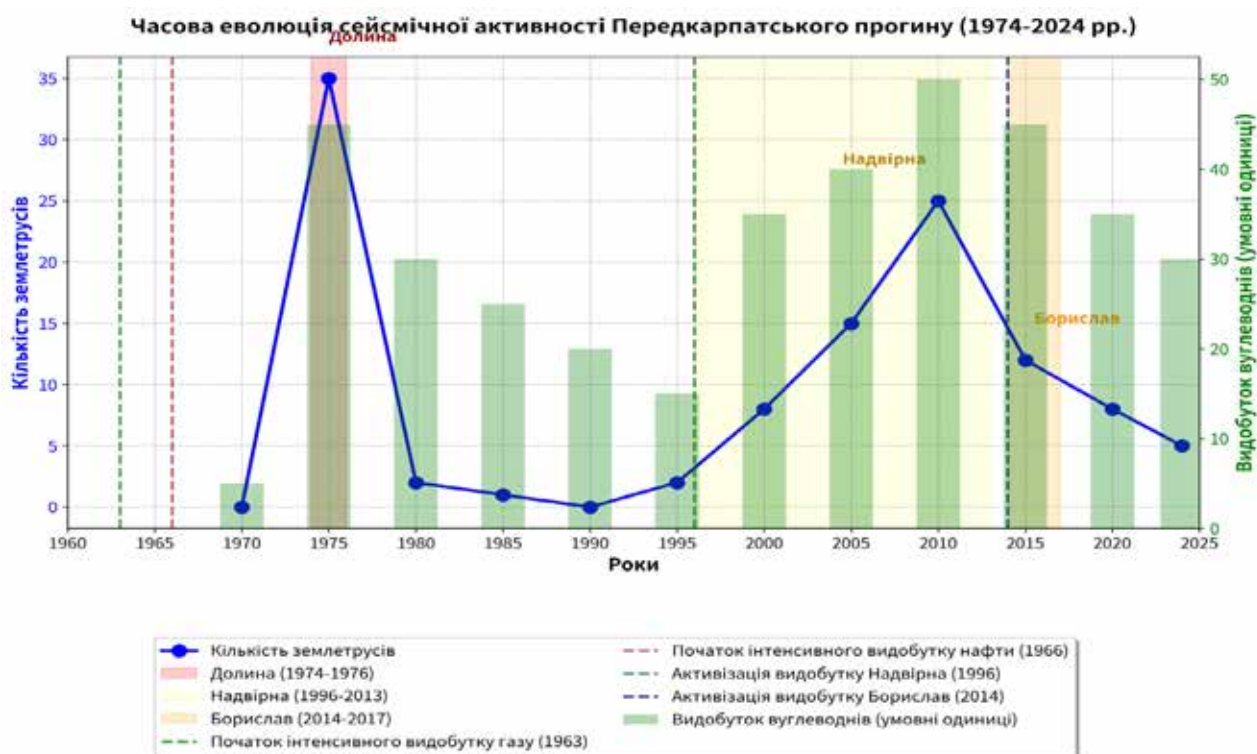


Рис. 10. Кореляція між видобутком вуглеводнів і сейсмічною активністю

Джерело: складено власноруч на підставі аналізу даних Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, каталогів землетрусів та статистичних даних видобутку вуглеводнів [13]



Рис. 11. Наслідки руйнування берегу р. Стрий (с. Луги, Стрийський р-н., Львівська обл.)

Джерело: фото зроблено автором

До основних заходів, які необхідно впроваджувати на місцях для запобігання та ліквідації небезпечних схилових явищ слід віднести:

1. регулювання та раціоналізацію ведення господарської діяльності;
2. інженерну підготовку територій, які мають тенденцію до розвитку негативних схилових процесів, перед господарським освоєнням;
3. механічне утримання підрізаних схилів;
4. заборону на понаднормове видобування піску, гравію та каменю;
5. заборону надмірного та нераціонального вирубування лісів та чагарників;
6. висаджування в зоні підвищеної небезпеки виникнення схилових явищ рослин з потужною кореневою системою;
7. впровадження дренажних та водовідвідних заходів;
8. побудова та відновлення дамб на річках тощо.

Висновки. На сучасному етапі для території Передкарпаття характерні такі геоморфологічні явища як зсуви ґрунту, сільові потоки, карстоутворення, активізація ерозійних процесів. Аналіз інформації за період 2018–2023 показав, що основними чинниками, які суттєво впливають на посилення згаданих явищ є як природні, так і антропогенні фактори. Встановлено, що почастищення екстре-

мальних погодних умов, а саме: злив та шквалів в Передкарпатті призводить до почастищення та збільшення інтенсивності зсувів та селів за рахунок розмивання поверхні схилів та берегів річок паводковими водами. Протягом досліджуваного періоду було помічено декілька піків сильних дощів та паводків. До антропогенних чинників впливу передусім належать нераціональне ведення сільського та лісового господарства, підрізання схилів, застосування важкої техніки при транспортуванні деревини, що, в свою чергу призводить до деградації ґрунтів; вирубування лісів, понаднормове видобування гравію та каменів тощо.

В ході дослідження встановлено, що найбільша кількість випадків зсувів ґрунту відбувалась на території Передкарпаття, яка належить до Чернівецької та частково Івано-Франківської області. Найкращі геологічні та ландшафтні передумови для виникнення карстових утворень склались на території Львівської області.

На думку автора, найбільш ефективним способом запобігання та ефективного реагування на негативні схилові процеси є поєднання екологічного підходу та раціонального ведення господарства, а також прийняття відповідних законодавчих актів на загальнодержавному рівні з гармонізацією їх з місцевими виконавцями.

Література

1. Бігун М.В. Ландшафтно-геоморфологічні зміни в Карпатах під впливом екстремальних погодних умов: просторовий аналіз активізації зсувних процесів (2010–2023 рр). *Екологічні науки*. 2025. № 3(60). С. 98–103. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.3-60.18>
2. Бігун М.В. Роль геодезії в моніторингу геологічних процесів та стихійних лих для запобігання негативним наслідкам. *Географія та туризм*. 2024. № 73. С. 64–75. DOI: <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2023.73.64-74>
3. Волощук М. Деградаційні процеси та їхній вплив на екологічний стан земельних ресурсів України. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2013. Вип. 44. С. 55–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2013.44.1191>
4. Гаськевич В. Г. Типологія деградаційних ґрунтових процесів. *Генеза, географія та екологія ґрунтів*. 2013. Вип. 4. С. 19–32.
5. Гаськевич В., Блістів В., Скільська Г. Морфологічні особливості буроземів Стрийсько-Сянської верховини. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2012. Вип. 40(1). С. 169–184.
6. Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП. URL: <http://geoinf.kiev.ua> (дата звернення: 15.08.2025).
7. Кендзера О. В. Сейсмічна небезпека і сейсмічний захист в Україні. *Український географічний журнал*. 2015. № 3. С. 9–15.
8. Кравчук Я. С. Геоморфологія Передкарпаття: монографія. Львів: Меркатор, 1999. 188 с.
9. Кравчук Я. С. Рельєф Українських Карпат: монографія. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2021. 557 с.
10. Львівська обласна державна адміністрація. Щорічна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Львівській області в 2023 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/10/Regionalna-dopovid-Lvivska-ODA-2024.pdf> (дата звернення: 15.08.2025).
11. Метеопост. Архів погоди. URL: <https://meteopost.com/weather/archive/> (дата звернення: 15.08.2025).
12. Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. Сейсмогеодинамічна активізація нафтогазоносних районів Передкарпатського прогину (Долина, Надвірна, Борислав). *Мінеральні ресурси України*. 2018. № 2. С. 36–42.
13. Світовий центр даних з геофізики твердої Землі. Сейсмічність України. Київ: ІГФ НАН України, 2024. URL: <http://wdc.org.ua/uk/node/192> (дата звернення: 15.08.2025).
14. Солодкий В. Д., Беспалько Р. І., Казімір І. І. Чинники деградації ґрунтового покриву Буковинських Карпат та Передкарпаття. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2012. № 4(60). С. 211–223.

Дата першого надходження рукопису до видання: 23.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ І СЕРТИФІКАЦІЇ В УКРАЇНІ НА ШЛЯХУ ДО ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ. ОГЛЯД

Бунякова Ю.Я.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

juliabunyakova@gmail.com

У статті досліджено ключові аспекти формування та розвитку системи екологічної стандартизації і сертифікації в Україні в контексті реалізації євроінтеграційного курсу. Актуальність теми зумовлена зростаючими екологічними викликами: кліматичними змінами, деградацією природного середовища, втратою біорізноманіття, а також необхідністю гармонізації національного екологічного законодавства та нормативно-технічної бази із законодавством Європейського Союзу. У сучасних умовах ефективна система екологічних стандартів та сертифікаційних процедур розглядається не лише як інструмент охорони довкілля, але і як засіб досягнення сталого розвитку, підвищення конкурентоспроможності продукції, формування міжнародного іміджу держави.

Метою дослідження є аналіз особливостей, проблем і перспектив екологічної стандартизації та сертифікації в Україні, з урахуванням вимог Угоди про асоціацію з ЄС, положень Європейського зеленого курсу та міжнародних екологічних угод. Методологічну основу роботи становлять загальнонаукові методи – аналіз і синтез, системний і порівняльно-правовий підхід, а також структурно-функціональний аналіз чинної нормативної бази, міжнародних стандартів (зокрема ISO та директив ЄС), документів стратегічного планування та практичних кейсів імплементації екологічних вимог на підприємствах.

У результаті дослідження встановлено, що екологічна стандартизація в Україні набуває дедалі більшого значення в умовах інтеграції до європейського правового поля, проте залишається інерційною та нерівномірною за темпами розвитку. Визначено головні проблеми: фрагментарність нормативної бази, відсутність єдиного плану гармонізації стандартів, недостатню поінформованість бізнесу, високу витратність сертифікації та обмежену інституційну спроможність. Особливу увагу приділено ролі екологічної сертифікації як інструменту не лише підтвердження відповідності, а й формування екологічної культури, мотивації до впровадження сталих практик, розвитку зелених технологій і відповідального споживання.

Наукова новизна дослідження полягає в комплексному розгляді екологічної сертифікації в системі національної політики технічного регулювання, виявленні чинників, що гальмують її розвиток, а також формулюванні практичних рекомендацій щодо посилення інституційної, правової та економічної підтримки впровадження міжнародних стандартів. Практична значущість результатів полягає в можливості використання напрацювань дослідження для формування ефективної державної політики у сфері охорони довкілля, удосконалення екологічного законодавства та стимулювання українських підприємств до активнішої участі в екологічній сертифікації згідно з міжнародними вимогами. *Ключові слова:* екологічна стандартизація, екологічна сертифікація, євроінтеграція, вплив на довкілля, сталий розвиток, екологічне управління, імплементація екологічних стандартів.

Features of environmental standardization and certification in Ukraine on the path to European integration. Review. Bunyakova Yu.

The article explores the key aspects of the formation and development of the environmental standardization and certification system in Ukraine in the context of European integration. The relevance of the topic is determined by the growing environmental challenges: climate change, environmental degradation, and biodiversity loss, as well as the necessity to harmonize Ukraine's national environmental legislation and technical regulations with those of the European Union. In the current conditions, an effective system of environmental standards and certification procedures is not only seen as an instrument for environmental protection, but also as a means to achieve sustainable development, increase product competitiveness, and shape the country's international reputation.

The purpose of the study is to analyze the features, challenges, and prospects of environmental standardization and certification in Ukraine, considering the requirements of the EU-Ukraine Association Agreement, the European Green Deal, and international environmental agreements. The research methodology includes general scientific methods – analysis and synthesis, system and comparative legal approaches, as well as a structural-functional analysis of the current regulatory framework, international standards (such as ISO and EU directives), strategic planning documents, and practical cases of environmental standard implementation at the enterprise level.

The results of the study indicate that environmental standardization in Ukraine is becoming increasingly significant in the context of integration into the European legal space. However, the process remains fragmented and uneven. The main challenges include: the inconsistency of the regulatory framework, the absence of a national harmonization plan, limited awareness among businesses, the high cost of certification, and weak institutional capacity. Particular attention is given to the role of environmental certification not only as a mechanism for compliance verification, but also as a strategic tool for fostering environmental awareness, encouraging sustainable practices, promoting green technologies, and supporting responsible consumption.

The scientific novelty of the study lies in its comprehensive examination of environmental certification within the national technical regulation system, identification of barriers to its development, and formulation of practical recommendations for enhancing institutional, legal, and economic support for the implementation of international environmental standards. The practical significance

of the results lies in their potential use for shaping effective state environmental policies, improving legal frameworks, and encouraging Ukrainian enterprises to participate more actively in international environmental certification processes. *Key words:* environmental standardization, environmental certification, European integration, environmental impact, sustainable development, environmental management, implementation of environmental standards.

Постановка проблеми. Зростаючий антропогенний тиск на природні ресурси, забруднення повітря, води, ґрунтів, глобальні кліматичні зміни та втрата біорізноманіття вимагають системного підходу до управління впливом на навколишнє природне середовище. У цьому контексті особливого значення набуває екологічна стандартизація і сертифікація як інструменти забезпечення відповідності екологічної діяльності принципам сталого розвитку, регламентованим як міжнародними, так і європейськими нормативами.

Актуальність дослідження. Питання формування ефективної системи екологічного управління є надзвичайно актуальним для України, територія якої десятиліття катастрофічно забруднюється різного роду вибуховими речовинами внаслідок російської агресії, а також з огляду на взяті нею зобов'язання на шляху до євроінтеграції. Наразі екологічна стандартизація та сертифікація в Україні стикаються з рядом викликів: фрагментарністю нормативної бази, обмеженими можливостями суб'єктів господарювання до впровадження екологічних стандартів, низьким рівнем поінформованості та недостатньою мотивацією до сертифікації. Водночас розвиток цього напрямку є ключовим для формування передумов переходу до низьковуглецевої економіки, підвищення конкурентоспроможності національного бізнесу на міжнародних ринках і реалізації цілей сталого розвитку.

Мета роботи полягає в аналізі особливостей, проблем і перспектив екологічної стандартизації та сертифікації в Україні, з урахуванням вимог Угоди про асоціацію з ЄС, положень Європейського зеленого курсу та міжнародних екологічних угод.

Виклад основного матеріалу. Матеріал для дослідження базується на аналізі нормативно-правових, методичних і стратегічних документів, що регламентують сферу екологічної стандартизації та сертифікації в Україні та Європейському Союзі. Зокрема, розглянуто ключові положення Закону України «Про стандартизацію» [1], Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [2], Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [3], Угоди про асоціацію між Україною та ЄС [4], Національної стратегії екологічної політики України на період до 2030 року [5], а також відповідних директив і регламентів ЄС.

Обравши курс на євроінтеграцію, наша країна взяла на себе зобов'язання поступового впровадження правової системи Європейського Союзу – *acquis communautaire*, зокрема в екологічній сфері, де екологічна стандартизація і сертифікація відіграють ключову роль, оскільки саме вони забез-

печують інституційне підґрунтя для регулювання рівня впливу на довкілля, моніторингу, екологічного аудиту, контролю й запобігання забрудненням.

Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [5] визначає ключові вектори екологічної політики держави, спрямовані на забезпечення сталого розвитку та інтеграцію екологічних принципів у всі сфери господарської діяльності. Хоча документ не містить прямого переліку технічних стандартів, у ньому окреслено загальні підходи до впровадження положень міжнародних та європейських екологічних норм. Особливий акцент зроблено на необхідності імплементації екологічних стандартів ЄС як складової євроінтеграційного процесу. У межах цього Закону екологічні стандарти та підходи до охорони довкілля структуровані за такими основними напрямками:

1. Гармонізація з європейським законодавством та стандартами. У документі акцентовано увагу на необхідності приведення національного екологічного законодавства у відповідність до права Європейського Союзу, зокрема шляхом імплементації положень Угоди про асоціацію між Україною та ЄС. Особливої ваги надано директивам ЄС, які визначають технічні вимоги та стандарти у провідних сферах охорони довкілля. Серед них: Водна рамкова директива (2000/60/ЄС), що встановлює основу для охорони водних ресурсів; Директива 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря; Директива 2008/98/ЄС про управління відходами, яка впроваджує принципи циркулярної економіки; Регламент REACH (1907/2006/ЄС) і CLP (1272/2008/ЄС), що регламентують обіг хімічних речовин; Директива 2010/75/ЄС (IPPC) щодо запобігання та контролю промислового забруднення; Директива 2011/92/ЄС про оцінку впливу на довкілля (ОВД), яка запроваджує обов'язкове екологічне оцінювання проєктної діяльності. Ці нормативні акти формують комплексну систему екологічних стандартів, до адаптації яких Україна поступово рухається.

2. Запровадження систем екологічного управління. Стратегія державної екологічної політики також передбачає стимулювання впровадження систем екологічного менеджменту на підприємствах та в організаціях [6]. Йдеться, передусім, про міжнародний стандарт ISO 14001, що встановлює вимоги до систем управління навколишнім середовищем і сприяє мінімізації негативного впливу виробничої діяльності, й систему екологічного менеджменту та аудиту Європейського Союзу (EMAS), яка передбачає більш жорсткі вимоги щодо прозорості, звітності та екологічної ефективності. Впровадження таких систем розглядається як один із механізмів підви-

щення екологічної відповідальності суб'єктів господарювання.

3. Стандарти екологічної безпеки. Стратегія екологічної політики визначає завдання щодо встановлення або оновлення нормативів у таких сферах: гранично допустимі викиди в атмосферне повітря; гранично допустимі скиди у водні об'єкти; критерії оцінки стану ґрунтів, води, повітря; стандарти у сфері управління відходами. Такі нормативи мають базуватись на науково обґрунтованих підходах та узгоджуватися з відповідними директивами ЄС.

4. Екологічна сертифікація та маркування. Закон надає пріоритет розвитку добровільних механізмів екологічного маркування продукції, які базуються на міжнародно визнаних стандартах серії ISO 14020. Зокрема, йдеться про екологічне маркування типу I, що передбачає комплексну оцінку продукції за критеріями впливу на довкілля протягом усього її життєвого циклу. Такий підхід сприяє формуванню ринку екологічно безпечної продукції та підвищенню обізнаності споживачів [7].

Наведемо відповідності (табл. 1) за основними напрямками державної екологічної політики між міжнародними екологічними стандартами і директивами ЄС з аналогічними або відповідними діючими українськими стандартами.

Зростаюча увага до змін клімату, деградації довкілля, вичерпання природних ресурсів формує нові запити до бізнесу й державного управління. У цих умовах сертифікація слугує не лише механізмом контролю, а й мотиваційним важелем для підвищення екологічної ефективності діяльності суб'єктів господарювання. В Україні повноваження щодо технічного регулювання в цілому, включаючи нагляд за сертифікаційною діяльністю, належать Міністерству економічного розвитку і торгівлі України, тоді як функції національного органу з акредитації виконує Національне агентство з акредитації України (НААУ) – відповідно до Закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» [8].

Особливістю екологічної сертифікації є її роль як соціально відповідального інструменту, що спонукає суб'єктів господарювання до впровадження сталих практик. Екологічна сертифікація часто передбачає не лише відповідність формальним вимогам, але й дотримання принципів запобігання забрудненню, енергоефективності, ресурсозбереження, циклічності виробництва. У цьому контексті вона стає частиною ширших екологічних стратегій – як на рівні підприємства, так і держави загалом.

Не менш важливим є і те, що екологічна сертифікація стимулює розвиток ринку «зелених» технологій, інновацій у сфері чистого виробництва, екодизайну, біорозкладних матеріалів. Вона також сприяє створенню прозорих умов для екологічно відповідального вибору з боку споживачів, які дедалі частіше керуються не лише ціною чи функціональністю, але й походженням, способом виробництва та

впливом продукції на довкілля. У цьому сенсі сертифікація виконує функцію «м'якого регулювання», тобто такого, що не примушує, але орієнтує – і водночас формує нові цінності в суспільстві.

У межах екологічного підходу сертифікація розглядається не лише як механізм контролю характеристик продукту, а передусім як інструмент, що сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля, формуванню «зелених» ринків, екологізації споживання і виробництва. Відповідно, екологічна сертифікація виконує не тільки функцію підтвердження відповідності, але й має експертно-індикативну роль, вказуючи на екологічну якість чи пріоритетність об'єкта сертифікації.

Для України екологічна сертифікація набуває особливого значення в контексті імплементації положень Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, зокрема глави 6 – «Навколишнє середовище» [4], яка передбачає гармонізацію екологічного законодавства, розвиток системи екологічного контролю та заохочення добровільного дотримання екологічних стандартів. Однією з важливих засад цієї політики є принцип «забруднювач платить», що тісно пов'язаний із стимулюванням підприємств до впровадження систем управління навколишнім середовищем і проходження екологічної сертифікації.

Водночас сертифікація підтримує виконання міжнародних зобов'язань України у сфері екології, зокрема в рамках Паризької угоди щодо клімату [9], Цілей сталого розвитку ООН [10], а також ряду міжнародних конвенцій, таких як Орхуська конвенція щодо доступу до екологічної інформації [11] та Базельська конвенція щодо контролю за транскордонним перевезенням небезпечних відходів [12]. Через запровадження прозорих, стандартизованих процедур оцінювання екологічних характеристик продукції або діяльності, сертифікація виконує роль інструмента обліку екологічних зовнішніх ефектів та відповідального споживання [13–16]. Надалі, в умовах інтеграції України до європейського простору та викликів глобальної екологічної кризи, розвиток інституційної та нормативної системи сертифікації постає як необхідна умова для досягнення екологічної безпеки, економічної конкурентоспроможності та соціального добробуту.

Висновки. Комплексний аналіз законодавчих та інституційних засад екологічної стандартизації й сертифікації в Україні і Європі дозволяє визначити ключові напрями їх гармонізації з європейськими вимогами.

Впровадження міжнародних стандартів охорони довкілля, зокрема ISO та директив ЄС, відіграє важливу роль у формуванні національної екологічної політики, однак наразі цей процес залишається фрагментарним і потребує цілісної координації.

Одним із ключових інструментів забезпечення відповідності національних практик вимогам ЄС є екологічна сертифікація. Вона не лише підтверджує відповідність продукції, процесів або систем

Таблиця 1

Відповідності міжнародних та українських стандартів згідно напрямів екологічної політики

Напрямок (Закон)	Міжнародні стандарти / Директиви ЄС	Українські стандарти та нормативи
1. Атмосферне повітря	– Директива 2008/50/ЄС (Air Quality) – Директива 2010/75/ЄС (IED – промислові викиди) – ISO 4225 (терміни в галузі повітряного забруднення)	– ДСТУ 3587-97 (екологічна безпека. Терміни) – ДСТУ 4117-2002 (викиди від стаціонарних джерел) – ДСанПіН 4630-88 (ГДК забруднюючих речовин у повітрі населених місць)
2. Водні ресурси	– Директива 2000/60/ЄС (Водна рамкова директива) – ISO 5667 (відбір проб води) – ISO 14046 (водний слід)	– ДСТУ ISO 5667 (відбір проб води – серія) – ДСТУ 4282:2004 (гідрохімічний аналіз) – ДСТУ 7538:2014 (контроль якості поверхневих вод)
3. Відходи	– Директива 2008/98/ЄС (Waste Framework Directive) – ISO 14024 (екологічне маркування) – ISO 14031 (оцінювання екологічної ефективності)	– ДСТУ 4462:2005 (класифікація відходів) – ДСТУ 3925-99 (паспорт відходів) – ДСТУ ISO 14024:2002 (екологічне маркування) – ДСТУ 2155-2010 (збирання, перевезення та утилізація відходів)
4. Землі та ґрунти	– Стандарти FAO (WRB) – ISO 11074 (опис ґрунтів) – ISO 14055 (практики сталого землекористування)	– ДСТУ ISO 10381 (відбір проб ґрунтів) – ДСТУ 4262-2003 (моніторинг ґрунтів) – ДСТУ 7863:2015 (оцінка забруднення ґрунтів важкими металами)
5. Біорізноманіття	– Директива 92/43/ЄЕС (Habitats Directive) – Директива 2009/147/ЄС (птахи) – ISO 14015 (оцінка стану навколишнього середовища)	– ДСТУ 4287-2004 (охорона флори і фауни) – ДСТУ ISO 14015 (оцінка стану довкілля у сфері біорізноманіття) – Закони про Червону книгу, Природно-заповідний фонд
6. Клімат та енергетика	– ISO 14064 (парникові гази) – ISO 50001 (енергоменеджмент) – Директива 2018/2001/ЄС (відновлювана енергетика)	– ДСТУ ISO 14064-1:2016 (викиди парникових газів) – ДСТУ ISO 50001:2014 (система енергоменеджменту) – Нацплан зі скорочення викидів від ТЕС
7. Екологічне управління	– ISO 14001 (екологічний менеджмент) – EMAS (Європейська система екологічного аудиту) – ISO 19011 (аудит систем управління)	– ДСТУ ISO 14001:2015 (система екологічного управління) – ДСТУ ISO 19011:2012 (аудит систем управління) – ДСТУ ISO 14004:2016 (настанови з впровадження систем екологічного управління)
8. Екоосвіта і доступ до інформації	– ISO 14063 (екологічна комунікація) – Організаційна конвенція (доступ до екологічної інформації)	– Закон України «Про доступ до публічної інформації» – ДСТУ ISO 14063:2007 (екологічна комунікація) – Розділ V Закону про екополітику (інформування населення)
9. Принцип «забруднювач платить», екострахування	– Принцип OECD/EU – ISO 14008 (оцінка впливу на довкілля у грошовому еквіваленті)	– Закон «Про оцінку впливу на довкілля» – ДСТУ ISO 14008:2020 (грошова оцінка шкоди довкіллю) – Закон «Про страхування» (зазначає екологічні ризики)

*У таблиці 1 – ДСТУ ISO – це адаптовані міжнародні стандарти ISO в українському правовому полі; ДСанПіН і ГН – діючі гігієнічні нормативи, які застосовуються для контролю якості середовища (повітря, води, ґрунтів).

управління встановленим стандартам, а й виконує стратегічну функцію – сприяє підвищенню екологічної відповідальності суб'єктів господарювання, розвитку ринку «зелених» технологій і формуванню культури сталого споживання. Сертифікація за стандартами ISO 14001, ISO 14024 та іншими визнаними

схемами також виступає індикатором готовності підприємств до виходу на європейський ринок і участі в міжнародних торговельних ланцюгах.

Попри наявність позитивних зрушень, розвиток екологічної стандартизації та сертифікації в Україні стикається з низкою викликів, серед яких: фрагмен-

тарність нормативної бази – багато екологічних стандартів потребують оновлення або узгодження між собою; відсутність національного плану гармонізації стандартів, що ускладнює системне впровадження екологічних норм; недостатня поінформованість бізнесу щодо можливостей та переваг екологічної сертифікації; висока витратність сертифікаційних процедур для підприємств; обмежений кадровий потенціал та технічна база органів стандартизації і сертифікації.

Особливими обставинами в цьому процесі є виклики, що виникли внаслідок російської агресії на Україну, – це і руйнація Каховської ГЕС і забруднення атмосфери, водних ресурсів, ґрунтів отруйними речовинами різного хімічного і біологічного складу. Важливо зазначити, що це все неминуче проявиться на всьому Європейському континенті.

Задля ефективної інтеграції в європейський екологічний простір та зміцнення національної системи охорони довкілля доцільно вжити таких заходів:

- забезпечити інституційну інтеграцію стандартів і процедур сертифікації у систему державної екологічної політики;

- адаптувати національні стандарти відповідно до вимог Європейського зеленого курсу (Green Deal);
- розробити національну дорожню карту гармонізації екологічних стандартів і розвитку сертифікації, із чітко визначеними етапами, виконавцями та джерелами фінансування;

- стимулювати бізнес до впровадження міжнародних екологічних стандартів і проходження сертифікації шляхом податкових або фінансових преференцій;

- розширити інформаційно-просвітницьку роботу щодо переваг екологічної сертифікації серед виробників, споживачів та органів влади.

У перспективі екологічна сертифікація може стати не лише засобом підтвердження відповідності, але й механізмом формування нових екологічних цінностей в суспільстві, стратегічним орієнтиром для сталого розвитку, а також інструментом підвищення конкурентоспроможності української продукції на глобальному ринку. Її розвиток є ключовою умовою досягнення екологічної безпеки, ефективного природокористування та інтеграції України в європейську спільноту.

Література

1. Про стандартизацію: Закон України від 05.06.2014 р. № 1315-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18#Text> (дата звернення: 20.05.2025).
2. Про технічні регламенти та оцінку відповідності: Закон України від 15.01.2015 р. № 124-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text> (дата звернення: 20.05.2025).
3. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 20.05.2025).
4. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Міжнародний документ від 27.06.2014 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011 (дата звернення: 13.04.2025).
5. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 20.04.2025).
6. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. [Чинний від 2016-07-01]. Київ, Мінекономрозвитку України, 2015. 32 с.
7. ISO 14020:2000. Environmental labels and declarations – General principles. International Organization for Standardization: веб-сайт. URL: <https://www.iso.org/> (дата звернення: 25.04.2025).
8. Оцінка рівня впровадження екологічних стандартів в Україні: аналітична доповідь. Інститут економічних досліджень та політичних консультацій. Київ, 2023. 38 с. URL: <https://ier.com.ua/> (дата звернення: 25.04.2025).
9. Paris Agreement, 2015. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (дата звернення: 15.04.2025).
10. The Sustainable Development Goals, 2015. URL: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> (дата звернення: 15.04.2025).
11. UNECE Aarhus Convention, 1998. URL: <https://unece.org/environment-policy/public-participation/aarhus-convention/introduction> (дата звернення: 15.04.2025).
12. Basel Convention, 1989. URL: <https://www.basel.int/portals/4/basel%20convention/docs/text/baselconventiontext-e.pdf> (дата звернення: 05.05.2025).
13. CEN-CENELEC. European Committee for Standardization: веб-сайт. URL: <https://www.cencenelec.eu/> (дата звернення: 05.05.2025).
14. Communication from the commission to the European parliament, the European council, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. The European Green Deal. COM/2019/640 final. URL: EUR-Lex – 52019DC0640 – EN – EUR-Lex (дата звернення: 13.04.2025).
15. Environmental Performance Reviews: Ukraine 2022. OECD Publishing, 2022: веб-сайт. URL: <https://www.oecd.org/environment/country-reviews/environmental-performance-reviews-ukraine-2022.htm> (дата звернення: 15.06.2025).
16. UNEP. Policy Briefs. Environmental Governance in Transition Economies. United Nations Environment Programme, 2021. URL: <https://www.unep.org/> (дата звернення: 20.06.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 03.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ В ПРОЦЕДУРІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Добровольський О.С.¹, Барабаш О.В.¹, Покшевніцька Т.В.¹, Полушкін Ю.Ю.²

¹Національний транспортний університет

вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, 02000, м. Київ

²Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України»

вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

officentn@gmail.com

Вивчено й окреслено особливості розроблення та застосування комплексного підходу до вибору методів дослідження в процедурі оцінки впливу на довкілля. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю систематизації методологічних підходів в оцінці впливу на довкілля (ОВД) відповідно до вимог європейських директив та українського законодавства. Відсутність стандартизованого підходу до застосування методів дослідження призводить до зниження якості звітів з ОВД та недостатньої обґрунтованості екологічних висновків. У праці здійснено комплексний аналіз методів дослідження, що застосовуються в процедурі оцінки впливу на довкілля. Запропоновано класифікацію методів на загальні та специфічні. До загальних методів віднесено польові дослідження, математичне моделювання, екологічний моніторинг, кількісний та якісний аналіз, геопросторове прогнозування з використанням ГІС-технологій та експертні оцінки. Специфічні методи передбачають аналіз документів, соціально-економічний аналіз та консультації з громадськістю. Кожен метод детально означений з точки зору його призначення, сфери застосування та особливостей реалізації в контексті українського законодавства. Особливу увагу приділено методу польових досліджень як основному засобу отримання об'єктивної інформації про стан навколишнього природного середовища безпосередньо в місці провадження планованої діяльності. Розглянуто роль математичного моделювання у переході від якісного до кількісного аналізу екологічних процесів. Проаналізовано значення екологічного моніторингу для управління та мінімізації впливу планованої діяльності на довкілля. Досліджено специфіку застосування кількісного та якісного аналізу для обробки та інтерпретації даних, отриманих під час досліджень. Показано важливість геопросторового прогнозування з використанням географічних інформаційних систем для збору та відображення просторових даних. Обґрунтовано роль експертних оцінок у подоланні невизначеностей та формуванні професійних висновків. Розкрито специфіку аналізу документів як методу вивчення правових та регуляторних вимог. Проаналізовано застосування соціально-економічного аналізу для виявлення впливу планованої діяльності на місцеві громади. Досліджено значення консультацій з громадськістю для забезпечення участі зацікавлених сторін у процедурі ОВД. Результати дослідження мають практичне значення для стандартизації підходів до проведення оцінки впливу на довкілля в Україні, підвищення якості звітів з ОВД та забезпечення відповідності національної практики європейським стандартам екологічної оцінки. Запропонована класифікація може бути використана фахівцями-практиками для обґрунтованого вибору методів дослідження залежно від специфіки планованої діяльності та факторів довкілля. *Ключові слова:* оцінка впливу на довкілля, методи дослідження, екологічна оцінка, звіт з ОВД, методологія, систематизація, планована діяльність, навколишнє середовище.

Comprehensive approach to research methods selection in environmental impact assessment procedures. Dobrovolskiy O., Barabash O., Pokshevytska T., Polushkin Yu.

This article is devoted to developing a comprehensive approach to selecting research methods in environmental impact assessment procedures. The relevance of the study is determined by the need to systematize methodological approaches in EIA in accordance with European directives and Ukrainian legislation requirements. The absence of a standardized approach to applying research methods leads to decreased quality of EIA reports and insufficient substantiation of ecological conclusions. The paper provides a comprehensive analysis of research methods used in environmental impact assessment procedures. A classification of methods into general and specific categories is proposed. General methods include field studies, mathematical modeling, ecological monitoring, quantitative and qualitative analysis, geospatial forecasting using GIS technologies, and expert assessments. Specific methods encompass document analysis, socio-economic analysis, and public consultations. Each method is characterized in detail in terms of its purpose, scope of application, and implementation features within the context of Ukrainian legislation. Special attention is given to field research methods as the primary means of obtaining objective information about environmental conditions directly at the site of planned activities. The role of mathematical modeling in transitioning from qualitative to quantitative analysis of ecological processes is examined. The significance of ecological monitoring for managing and minimizing the impact of planned activities on the environment is analyzed. The specifics of applying quantitative and qualitative analysis for processing and interpreting data obtained during research are investigated. The importance of geospatial forecasting using geographical information systems for collecting and displaying spatial data is demonstrated. The role of expert assessments in overcoming uncertainties and forming professional conclusions is substantiated. The specifics of document analysis as a method for studying legal and regulatory requirements are revealed. The application of socio-economic analysis for identifying the impact of planned activities on local communities is analyzed. The significance of public consultations for ensuring stakeholder participation in EIA procedures is examined. The research results have practical significance for standardizing approaches to conducting environmental impact assessment in Ukraine, improving the quality of EIA reports, and ensuring compliance of national practice with European standards of ecological assessment. The proposed classification can be used by practitioners for evidence-based selection of research methods depending on the specifics of planned activities and environmental factors. *Key words:* environmental impact assessment, research methods, ecological assessment, EIA report, methodology, systematization, planned activity, environment.

Постановка проблеми. Процедура оцінки впливу на довкілля є ключовим інструментом екологічного управління, що забезпечує превентивний підхід до запобігання негативному впливу планованої діяльності на навколишнє середовище. Згідно з Законом України «Про оцінку впливу на довкілля», звіт з ОВД має містити науково обґрунтовану оцінку потенційних впливів на фактори довкілля, що вимагає застосування відповідних методів дослідження.

Аналіз сучасної практики показує, що відсутність систематизованого підходу до вибору та застосування методів дослідження в ОВД призводить до низки проблем: неповноти аналізу екологічних наслідків, суб'єктивності оцінок, недостатньої обґрунтованості висновків та зниження якості звітів. Часто спостерігається фрагментарне використання методів без урахування їх взаємозв'язків та комплементарності, що не дозволяє сформувати цілісну картину потенційного впливу планованої діяльності на довкілля.

Особливо гостро ця проблема проявляється в контексті адаптації української практики ОВД до європейських стандартів та вимог директив ЄС. Необхідність підвищення якості оцінки впливу на довкілля вимагає переходу від інтуїтивного вибору методів до науково обґрунтованого методологічного підходу, що враховує специфіку різних типів планованої діяльності та факторів довкілля. Саме тому розробка комплексної систематизації методів дослідження в ОВД та визначення принципів їх застосування є актуальним завданням для забезпечення ефективності процедури оцінки впливу на довкілля в Україні.

Актуальність дослідження. Відсутність систематизованого підходу до застосування методів дослідження в оцінці впливу на довкілля призводить до зниження якості звітів з ОВД та недостатньої обґрунтованості екологічних висновків. Євроінтеграційні процеси вимагають приведення української практики ОВД у відповідність до директив ЄС, що потребує стандартизації методологічних підходів. Актуальність також зумовлена зростанням кількості проєктів, що підлягають процедурі ОВД (понад 3000 справ щорічно), та необхідністю впровадження сучасних методів оцінки кумулятивних впливів і залучення громадськості в умовах екологічних викликів та потреб відновлення України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження спрямоване на вирішення як наукових, так і практичних завдань у сфері ОВД. Зокрема, йдеться про систематизацію існуючих методологічних підходів до ОВД, виявлення прогалин у їх застосуванні, формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору методів для різних типів планованої діяльності та факторів довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняні та зарубіжні дослідження методів оцінки впливу на довкілля демонструють зростаючий інтерес до стандартизації методологічних

підходів. Дослідження вітчизняних науковців підтверджують ефективність застосування польових досліджень, використання математичних моделей та геопросторового прогнозування для оцінки якості водних ресурсів. Публікації зарубіжних авторів. Зарубіжні публікації розкривають проблеми ефективності методів ОВД у розвинутих країнах, системні недоліки процедур екологічної оцінки та необхідність інтеграції соціально-економічного аналізу в процедури ОВД. Проте більшість публікацій не забезпечує комплексної систематизації методів дослідження ОВД та не враховує специфіки українського законодавства і практики застосування, що обумовлює необхідність даного дослідження.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність окремих досліджень методів ОВД, низка важливих аспектів залишаються недостатньо вивченими: відсутність комплексної класифікації методів дослідження з урахуванням специфіки українського законодавства; нестача науково обґрунтованих критеріїв вибору методів для різних типів планованої діяльності та факторів довкілля; відсутність систематизованого підходу до визначення взаємозв'язків між методами в контексті комплексної оцінки впливу.

Викладення основного матеріалу. Дослідження стану навколишнього середовища є дійсно широкомасштабною сферою, яка включає вивчення забруднення повітря, води, ґрунтів і, як наслідок, поточного стану навколишнього природного середовища, здоров'я населення та соціально-економічне становище регіону, що вивчається.

Під час проведення дослідження впливу на навколишнє середовище необхідно виконати декілька заходів, включаючи ідентифікацію впливу, підготовку опису існуючого середовища, прогнозування та оцінку впливу, а також вибір запропонованої дії з набору альтернатив, що оцінюються для задоволення визначених потреб. Цілі різних видів діяльності відрізняються, як і методології, які можна використовувати для виконання заходів.

Методи дослідження в ОВД є інструментами для виявлення, аналізу та управління впливами планованої діяльності на довкілля. Вони можуть бути розділені на загальні та специфічні методи. Загальними методами дослідження стану навколишнього середовища є польові дослідження, моделювання, екологічний моніторинг, кількісний та якісний аналіз, геопросторове прогнозування, експертні оцінки, тоді як до специфічних методів можна віднести аналіз документів, соціально-економічний аналіз та консультації з громадськістю (рис. 1).

Хоча аналіз документів є загальноприйнятим методом у багатьох сферах, його специфіка в контексті ОВД полягає в акценті на екологічних аспектах, регуляторних вимогах і практичних наслідках, що робить його важливим інструментом у цьому процесі.

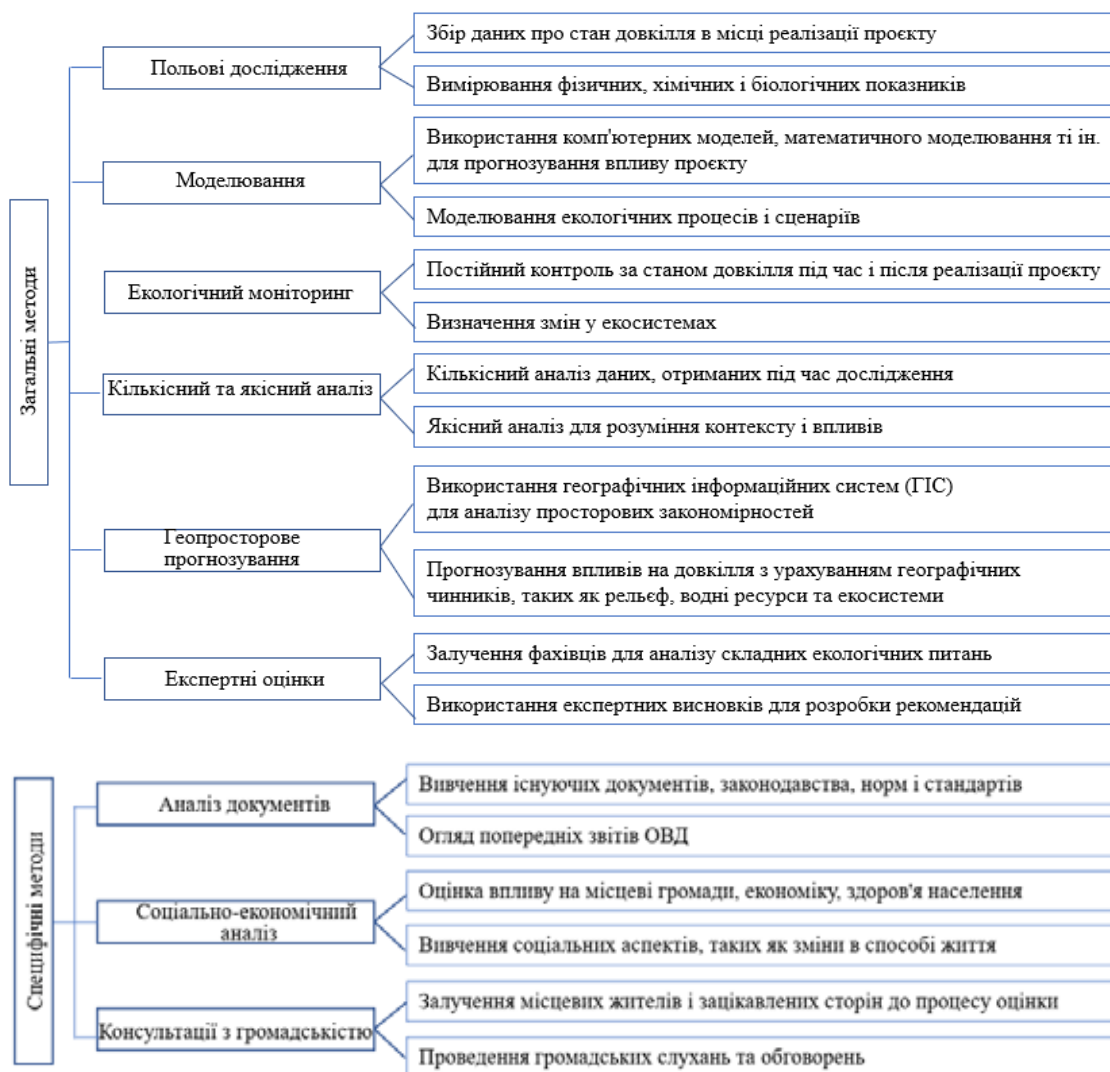


Рис. 1. Класифікація методів дослідження в оцінці впливу на довкілля

Соціально-економічний аналіз є специфічним методом у рамках ОВД, оскільки він фокусується на взаємозв'язках між екологічними змінами та соціально-економічними умовами, а також враховує вимоги регуляторів і потреби місцевих громад.

Консультації з громадськістю є специфічним методом у рамках ОВД, оскільки вони забезпечують активну участь зацікавлених сторін, сприяють прозорості, виявляють потенційні проблеми та відповідають регуляторним вимогам.

Метод польових досліджень застосовують для отримання об'єктивної інформації про стан навколишнього середовища безпосередньо в місці реалізації планованої діяльності [1]. Чинні законодавчі норми, які містяться головним чином в Законі про ОВД, не містять детального стандарту польових досліджень, які використовуються для складання звіту з ОВД. Дослідження виконуються в обсязі, що регулюється практикою та досвідом фахівців, що виконують польові дослідження.

Серед методів оцінки впливу на довкілля планованої діяльності сьогодні важливе місце посіда-

ють методи моделювання. Екологічне моделювання дозволяє перейти від рівня якісного аналізу до рівня використання кількісної статистики величин [2]. Найважливішим видом моделювання є математичне моделювання, яке вивчає об'єкт за допомогою моделі, сформульованої за допомогою певних математичних методів. Математичні моделі, що описують складні процеси, обов'язково базуються на низці спрощень. Очевидно, що різні ієрархічні рівні прийняття рішень вимагають математичних моделей з різним рівнем деталізації. Математичні моделі з достатньою достовірністю можуть допомогти визначити напрямки тенденцій розвитку екологічних процесів при повільних еволюційних процесах. Моделювання екологічних об'єктів є дуже складним, оскільки такі об'єкти не можуть бути описані в чіткий математичний спосіб. Однак сьогодні потужні комп'ютерні та програмні продукти дозволяють вирішити цю проблему [3].

Основна мета екологічного моніторингу полягає в управлінні та мінімізації впливу планованої діяль-

ності на навколишнє середовище, або для забезпечення дотримання законів і нормативних актів, або для пом'якшення ризиків шкідливого впливу на природне середовище та захисту здоров'я населення. Екологічний моніторинг забезпечує визначення того, чи результати оцінки та пов'язані з ними заходи пом'якшення мали бажаний ефект і може допомогти виявити непередбачені наслідки (і підтримати своєчасні заходи щодо виправлення ситуації), усунути невизначеності в оцінці та заповнити прогалини в даних на рівні планування, зокрема, екологічні та інші обмеження планованої діяльності, а також на рівні реалізації проєкту [4].

Кількісний та якісний аналіз є методами, що використовуються для обробки та інтерпретації даних, отриманих під час досліджень. Узгодженість і повторюваність якісних оцінок є максимальними, коли оцінки підтримуються відповідними даними кількісних показників. Подібним чином кількісні набори даних можуть бути доповнені якісними оцінками, які можуть надати розуміння показників, які важко виміряти, забезпечуючи більш повне уявлення про рослинність, ґрунти та основні екологічні процеси [1].

Геопросторове прогнозування використовує географічні інформаційні системи (ГІС). Основним завданням цього методу є збір необхідної інформації про конкретні об'єкти та відображення просторових даних. Геопросторове прогнозування забезпечує даними про зміни у землекористуванні, рослинному покриві, якості води та атмосферних умовах, розташування природохоронних об'єктів необхідними для визначення потенційного впливу на навколишнє середовище, а також спрощує процес узгодження даних і їх підготовки для коректного аналізу та отримання результатів [4].

Оцінки впливу на довкілля часто мають справу зі значними невизначеностями. Як правило, база знань обмежена неповними чи суперечливими доказами, а також відсутніми чи неоднозначними даними. Експерти-консультанти можуть допомогти виявити та усунути невизначеності та надати рекомендації на основі їхнього досвіду. Дані обстежень, моніторингу навколишнього середовища перед впровадженням оцінки впливу на довкілля планованої діяльності можуть бути використані після підтвердження об'єктивності та дійсності отриманих даних через опитування експертів [5].

Аналіз документів включає: вивчення існуючих документів, законодавства, норм і стандартів, звітів з ОВД та висновків що стосуються проєкту; проведення досліджень на основі існуючих документів, якими володіють національні або місцеві органи влади [6]. Цей метод дозволяє отримати інформацію про правові та регуляторні вимоги.

Соціально-економічний аналіз застосовується для того, щоб виявити вплив планованої діяльності на місцеві громади у розрізі соціальної інфра-

структури, зайнятості, доходів, здоров'я місцевого населення. Цей метод дозволяє визначити соціальні аспекти, пов'язані з планованою діяльністю, ідентифікувати прямі, непрямі та опосередковані економічні ефекти [7].

Участь громадськості являє собою залучення зацікавлених сторін до ОВД. Метою участі є залучення громадської думки щодо проєкту, уникнення появи недовіри та конфліктів між сторонами, а також надання більшої легітимності результатам [8].

Проведений аналіз методів дослідження в оцінці впливу на довкілля демонструє необхідність комплексного підходу до їх застосування. Запропонована класифікація методів на загальні та специфічні створює методологічну основу для підвищення якості процедур ОВД в Україні. Кожен з розглянутих методів має свої переваги та обмеження, що обумовлює необхідність їх взаємодоповнюючого використання залежно від специфіки планованої діяльності та факторів довкілля, що підлягають оцінці.

Систематизація методів дослідження сприяє стандартизації підходів до проведення оцінки впливу на довкілля та забезпечує науково обґрунтований вибір інструментарію для конкретних завдань екологічної оцінки. Це особливо важливо в контексті адаптації української практики ОВД до європейських стандартів та підвищення загальної ефективності процедур екологічного управління.

Висновки. Розроблено комплексну класифікацію методів дослідження ОВД, що передбачає: загальні методи (польові дослідження, моделювання, екологічний моніторинг, кількісний та якісний аналіз, геопросторове прогнозування, експертні оцінки) та специфічні методи (аналіз документів, соціально-економічний аналіз, консультації з громадськістю). Визначено, що загальні методи забезпечують базову оцінку екологічних параметрів, тоді як специфічні методи враховують регуляторні вимоги, соціальні аспекти та потреби зацікавлених сторін у процедурі ОВД. Встановлено, що ефективність оцінки впливу на довкілля залежить від взаємодоповнюючого застосування різних методів, що дозволяє подолати обмеження окремих підходів та забезпечити цілісність аналізу. Запропонована класифікація може бути використана як методичний інструмент для фахівців-практиків при виборі відповідних методів дослідження залежно від типу планованої діяльності та специфіки екологічного середовища. Систематизація методів дослідження створює передумови для розробки єдиних методичних рекомендацій та стандартів проведення ОВД в Україні, що сприятиме підвищенню якості звітів та відповідності європейським вимогам.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку критеріїв вибору методів для конкретних галузей господарської діяльності та створення інтегрованих методологічних моделей для комплексної оцінки кумулятивних впливів на довкілля.

Література

1. Іванов, Є. А., Пилипович, О. В., Терновецька, Х. В. Оцінка якості води у річці зубра в межах міста Львів. Природнича освіта та наука. 2023. № 2, С. 97-101. <https://doi.org/10.32782/NSER/2023-2-15>.
2. Baogui Li, Lili Tan, Xueliang Zhang, Junyu Qi, Gary W. Marek, Yingxuan Li, Xiaojie Dong, Wenjie Zhao, Ting Chen, Puyu Feng, De Li Liu, Raghavan Srinivasan, Yong Chen. Modeling streamflow response under changing environment using a modified SWAT model with enhanced representation of CO2 effects. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2023. № 50, 101547. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101547>.
3. Іваніцький І., Іваніцький, Ю. Використання методів моделювання при прогнозуванні стану довкілля. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series AIC Economics*. 2023. <https://doi.org/10.31734/economics2023.30.094>.
4. Klymchuk I., Arkhypova, L. Research on climate change in the Carpathian Region: Consequences and challenges for ski resorts. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2023. № 14(1), P. 66–74. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2023-1\(27\)-66-74](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2023-1(27)-66-74).
5. Ramesh Prasad Bhatt. Environmental Impact Assessment System and Process in Developing Countries. *Open Journal of Ecology*. № 13(12):977-1009. <https://doi.org/10.4236/oje.2023.1312059>.
6. Tunison J.M., Walker K.D. *Varieties of Qualitative Research Methods*. Springer Texts in Education. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04394-9_23.
7. Lefèvre, J. (2024). Integrated Assessment Models and Input-Output Analysis: bridging fields for advancing sustainability scenarios research. *Economic Systems Research*. 36(4), 675–698. <https://doi.org/10.1080/09535314.2023.2266559>.
8. Aleksyeyeva, Y., Pintsch, A. Ukraine's Compliance with Norms of Environmental Democracy: Between Wartime Restrictions, EU Standards and Green Reconstruction. *Palgrave Studies in European Union Politics*. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69154-6_10.

Дата першого надходження рукопису до видання: 23.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

УДК 582. 998.1 (477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.8>

СИРОВИННА ПРОДУКТИВНІСТЬ *GLEBIONIS CORONARIA* (L) CASS. EX SPACH ЗА УМОВ ІНТРОДУКЦІЇ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ПОЛІСІ УКРАЇНИ

Іващенко І.В., Котюк Л.А., Тимошук Т.М., Бакалова А.В., Грицюк Н.В.

Поліський національний університет

бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

kalateja@ukr.net

Стаття присвячена інтродукційним дослідженням цінної овочевої, лікарської, декоративної рослини хризантеми увінчаної (*Glebionis coronaria* (L) Cass. ex Spach) в умовах Центрального Полісся України, яка є джерелом біологічно активних речовин, корисних для організму людини. Метою роботи було оцінити особливості формування сировинної продуктивності *G. coronaria* залежно від генотипових особливостей в умовах Центрального Полісся України для подальшого культивування та застосування у харчовій промисловості, фармації. Інтродукційні дослідження *G. coronaria* здійснювали в Ботанічному саду Поліського національного університету впродовж 2013–2017 рр., послуговуючись рекомендаціями Д. Б. Рахметова. У дослідженнях використовували два різновиди *G. coronaria*: *Glebionis coronaria* var. *discolor* (d'Urv.) Turland (з біло-жовтими кошиками) та *G. coronaria* var. *coronaria* (з жовтими кошиками), які відрізняються морфологічно. У генеративних особин вивчали наступні біометричні показники: висоту рослин (см); кількість бічних пагонів другого порядку та кількість суцвіть на одній особині. Облік продуктивності надземної маси рослин визначали у фазу масового квітання. За результатами порівняльного аналізу рослин 4-х форм *G. coronaria* встановлені відмінності за деякими біометричними показниками – висотою рослин, кількістю пагонів другого порядку та кількістю суцвіть на особину, продуктивністю. Висота рослин, залежно від формових особливостей, варіювала від 75,11±1,7 до 91,6±7,6 см; продуктивність – від 2,26±0,16 до 3,08±0,38 кг/м². Інтродуценти формували від 14,9±0,8 до 20,6±1,3 пагонів другого порядку та від 52,2±1,4 до 90,2±7,6 суцвіть на особину. Найвищі показники висоти рослин, кількості пагонів другого порядку, продуктивності відмічені у високорослих форм з жовтоkwітковими (*G. coronaria* var. *coronaria* f 1) та біло-жовтими язичковими квітками (*G. coronaria* var. *discolor* f 3). Результати проведених досліджень свідчать про перспективність подальшого інтродукційно-селекційного вивчення хризантеми увінчаної та широкого впровадження в культуру для подальшого використання у харчовій промисловості та фармації. **Ключові слова:** *Glebionis coronaria* (L) Cass. ex Spach, форма, інтродукцент, сировинна продуктивність, біометричні показники, Центральне Полісся України.

Raw material productivity of *Glebionis coronaria* (L) Cass. ex Spach under the condition of introduction in the Central Polissya of Ukraine. Ivashchenko I., Kotyuk L., Tymoshchuk T., Bakalova A., Hrytsiuk N.

The article is devoted to introductory research on the valuable vegetable, medicinal, and ornamental plant of the crowned chrysanthemum (*Glebionis coronaria* (L) Cass. ex Spach) in the conditions of Central Polissya of Ukraine, which is a source of biologically active substances useful for the human body. The aim of the work was to assess the features of the formation of raw material productivity of *G. coronaria* depending on genotypic characteristics in the conditions of Central Polissya of Ukraine for further cultivation and use in the food industry and pharmacy. Introductory studies of *G. coronaria* were carried out in the Botanical Garden of the Polissia National University during 2013–2017, using the recommendations of D. B. Rakhmetov. Two varieties of *G. coronaria* were used in the studies: *Glebionis coronaria* var. *discolor* (d'Urv.) Turland (with white-yellow baskets) and *G. coronaria* var. *coronaria* (with yellow baskets), which differ morphologically. The following biometric indicators were studied in generative individuals: plant height (cm), number of secondary lateral shoots and number of inflorescences per individual. Accounting for the productivity of the aboveground mass of plants was determined in the mass flowering phase. According to the results of comparative analysis of plants of 4 forms of *G. coronaria*, differences were established in some biometric indicators – plant height, number of second-order shoots, number of inflorescences per individual and productivity. Plant height, depending on the form features, varied from 75.11±1.7 to 91.6±7.6 cm; productivity – from 2.26±0.16 to 3.08±0.38 kg/m². The introduced plants formed from 14.9±0.8 to 20.6±1.3 second-order shoots and from 52.2±1.4 to 90.2±7.6 inflorescences per individual. The highest plant height, number of second-order shoots, and productivity were observed in tall forms with yellow-flowered (*G. coronaria* var. *coronaria* f 1) and white-yellow reed flowers (*G. coronaria* var. *discolor* f 3). The results of the conducted research indicate the prospects for further introduction and breeding studies of *G. coronaria* and its widespread introduction into culture for further use in the food industry and pharmacy. **Key words:** *Glebionis coronaria* (L) Cass. ex Spach, form, introducer, raw material productivity, biometric indicators, Central Polissya of Ukraine.

Постановка проблеми. Інтродукція нових ароматичних, лікарських, харчових, рослин родини *Asteraceae* є необхідною для збагачення біологічного різноманіття флори Полісся України. Важливою є мобілізація цінних видів харчових рослин з високим вмістом біологічно активних речовин, зокрема хризантеми увінчаної, з метою подальшого застосування у харчовій промисловості, фармації.

Актуальність дослідження. Хризантема увінчана – цінна овочева, лікарська, декоративна рослина, що вирізняється високим різноманітним вмістом біологічно активних речовин. В Україні хризантема увінчана вперше інтродукована в Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка НАН України в 1986 році (зона Лісостепу). Для умов Центрального Полісся відсутні відомості щодо введення даного

виду в культуру. Тому особливої актуальності набули інтродукційні дослідження хризантеми увінчаної в умовах культури, зокрема, її продуктивного потенціалу.

Метою роботи було оцінити особливості формування сировинної продуктивності хризантеми увінчаної залежно від генотипових особливостей в умовах Центрального Полісся України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями. Дослідження інтегрується у загальнонаукові завдання зі збереження та збагачення рослинних ресурсів шляхом інтродукції. Важливе значення має вивчення інтродукційних ресурсів та мобілізація нових для регіону цінних видів рослин, спроможних забезпечувати високу продуктивність та імунність. Робота спрямована на дослідження адаптаційних властивостей малопоширеної, перспективної овочевої, лікарської, декоративної рослини хризантеми увінчаної в умовах Полісся України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. *Glebionis coronaria* (L.) Cass. ex Spach. (хризантема увінчана) – однорічна трав'яна рослина з родини Asteraceae Dumort., триби Anthemideae; базионім – *Chrysanthemum coronarium* L. [1]. Щодо походження, в літературних джерелах вказують на два регіони: Середземномор'я та Китай [2]. Вид поширений майже на всіх континентах: натуралізований у Африці (Макронезія, Південна Африка); Європі: Україна, Молдова, Австрія, Хорватія, Сполучене Королівство Великої Британії і Північної Ірландії, Білорусь; у Північній Америці: США (Аризона, Каліфорнія), Мексика; Південній Америці: Чилі, Уругвай; в Австралії, Новій Зеландії [3]. Як адвентивний вид зростає у Бельгії, Чехії, Німеччині, Угорщині, Польщі, Швеції, Ірландії. Вид рослин, характерний для флори України, зустрічається по всій території.

Хризантема увінчана у культурі відома близько 2000 років, широко використовується як дієтичний харчовий продукт в Азії: Китаї, Японії, Кореї, Індії; її культивують також у Франції, Румунії, Словаччині, Естонії. Рослина відома як цінна овочева, лікарська, декоративна культура. Її лікувальні властивості визначаються високим вмістом в надземній масі різних біологічно активних сполук: вітамінів, зокрема, С, В1, В2, РР, бета-каротину, макро- і мікроелементів, в т. ч. калію, кальцію, заліза, йоду, селену, простих і складних вуглеводів, протеїнів, лактонів, ефірної олії, фенольних сполук, в т. ч. флавоноїдів [2, 4, 5, 6]. Хризантема увінчана виявляє антиоксидантні, гепатопротекторні, протипухлинні, інсектицидні, нематодцидні та антимікробні властивості [7, 8, 9]. Регулярне використання в їжу листя хризантеми увінчаної підвищує імунітет організму і є важливим профілактичним заходом проти цілого ряду захворювань, в т. ч. онкологічних [10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідження зосереджені на інтродукційному вивченні нової малопоширеної овчевої, лікарської, декоративної рослини *G. coronaria* в умовах Полісся України, зокрема її продуктивного потенціалу, залежно від генотипових особливостей. В літературних джерелах відсутні відомості щодо сировинної продуктивності *G. coronaria* за умов зростання в Поліссі України, а дослідження зарубіжних вчених загалом спрямовувалися на вивчення біохімічного складу фітосировини інтродуцента.

Новизна. Вперше досліджено особливості формування сировинної продуктивності *G. coronaria* за умов інтродукції в Центральному Поліссі України.

Методологічне або загальнонаукове значення. Інтродукційні дослідження сприятимуть збагаченню знань щодо екологічної пластичності представників родини Asteraceae, збільшенню видового різноманіття культурфітоценозів, покращенню продовольчої, біологічної безпеки.

Матодологія досліджень. Інтродукційні дослідження *G. coronaria* здійснювали в Ботанічному саду Поліського національного університету впродовж 2013–2017 рр., послугуючись рекомендаціями Д. Б. Рахметова [11]. Насінний матеріал рослин отримано із колекції пряно-ароматичних рослин відділу культурної флори НБС імені М. М. Гришка НАН України. Ґрунт ботанічного саду дерново-карбонатний, вміст гумусу (за Тюрином) – $2,39 \pm 0,01$ %, Ph-сольове гумусового горизонту – від $7,2 \pm 0,10$; вміст P_2O_5 – $332,67 \pm 18,87$ мг/кг; K_2O – $128,67 \pm 26,9$ мг/кг (за Кирсановим), N_k (за Корнфілдом) – від $63,0 \pm 10,1$ мг/кг ґрунту. В умовах Центрального Полісся оптимальні терміни посіву *G. coronaria* – друга-третья декада квітня [7, 12]. Польові досліди закладали відповідно до загальноприйнятих методик [13]. Цільове призначення культури в більшості випадків визначає вибір схеми посіву, а відповідно площі живлення. З метою отримання сировини – надземної біомаси рослин, насіння висівали широкорядним способом з міжряддями 45 см. Оскільки сім'янки *G. coronaria* дрібні, то оптимальна глибина їх заробки в ґрунт – 15–20 мм з наступним ущільненням ґрунту. Догляд за рослинами полягав у регулярному видаленні бур'янів та рихленні міжрядь. З появою пари справжніх листків необхідне прорідження сходів, відстань між сіянцями – 30 см. Слід зазначити, що за ранніх посівів можливі заморозки, які провокують розпад хлоропластів і руйнування хлорофілу, що призводить до уповільнення процесів росту та розвитку рослин. Хризантема увінчана – холодостійка рослина, здатна переносити температуру від 0 до $-5^\circ C$, проте, до пониженої температури і засухи краще адаптовані дорослі особини [14].

У дослідженнях використовували два різновиди *G. coronaria*: *Glebionis coronaria* var. *discolor* (d'Urv.) Turland (з біло-жовтими кошиками) та *G. coronaria*

var. *coronaria* (з жовтими кошиками), які відрізняються морфологічно [15, 16]. В описах використана загальноприйнята термінологія з морфології вищих рослин [17, 18]. У генеративних особин вивчали наступні біометричні показники: висоту рослин (см); кількість бічних пагонів другого порядку та кількість суцвіть на одній особині. Вимірювали 30 типових особин. Продуктивність надземної біомаси рослин визначали суцільним методом у фазі масового квітнування [13, 19]. Сировину зрізали вручну з кожної ділянки, зважували.

Отримані дані обраховані статистично з використанням програми Microsoft Excel–10. Розраховували середні значення величин і стандартної похибки ($\bar{x} \pm SE$).

Виклад основного матеріалу. *Glebionis coronaria* (L.) Cass. ex Spach. (хризантема увінчана) – однорічна трав'яна рослина з прямостоячими сильно галузистими стеблами [7] (рис. 1). В умовах Центрального Полісся в культурі рослини досягали 75–113 (143) см заввишки [12, 14]. Характерна стрижнева коренева система. Листки серединної формації двічі-перисторозсічені, сидячі, завдовжки $9,82 \pm 0,96$ см і завширшки $4,91 \pm 0,50$ см, верхівкової – значно менші – $3,0 \pm 0,16$ см завдовжки і шириною $1,3 \pm 0,09$ см [12]. На одній особині формувалось 50–230 суцвіть, що розміщувались на головному та бічних пагонах. Суцвіття – кошики до 6 см в діаметрі (рис. 2). Язичкові квітки з довгим широким віноч-

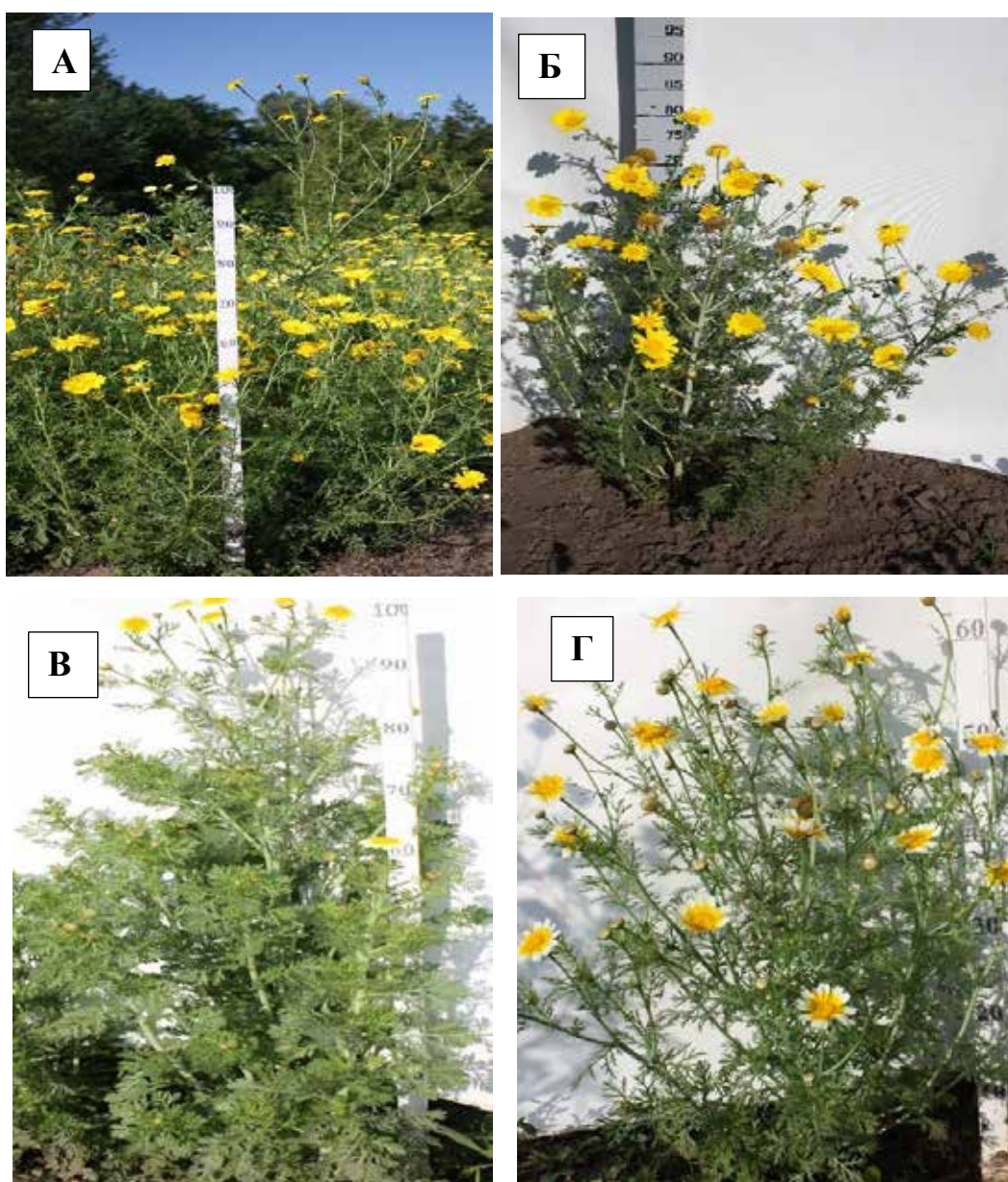


Рис. 1. *Glebionis coronaria* var. *coronaria* : А – високоросла форма з жовтими язичковими квітками (f 1), Б – низькоросла форма з жовтими язичковими квітками (f 2); *Glebionis coronaria* var. *discolor* : В – високоросла форма з жовто-білими язичковими квітками (f 3), Г – низькоросла форма з жовто-білими язичковими квітками (f 4)

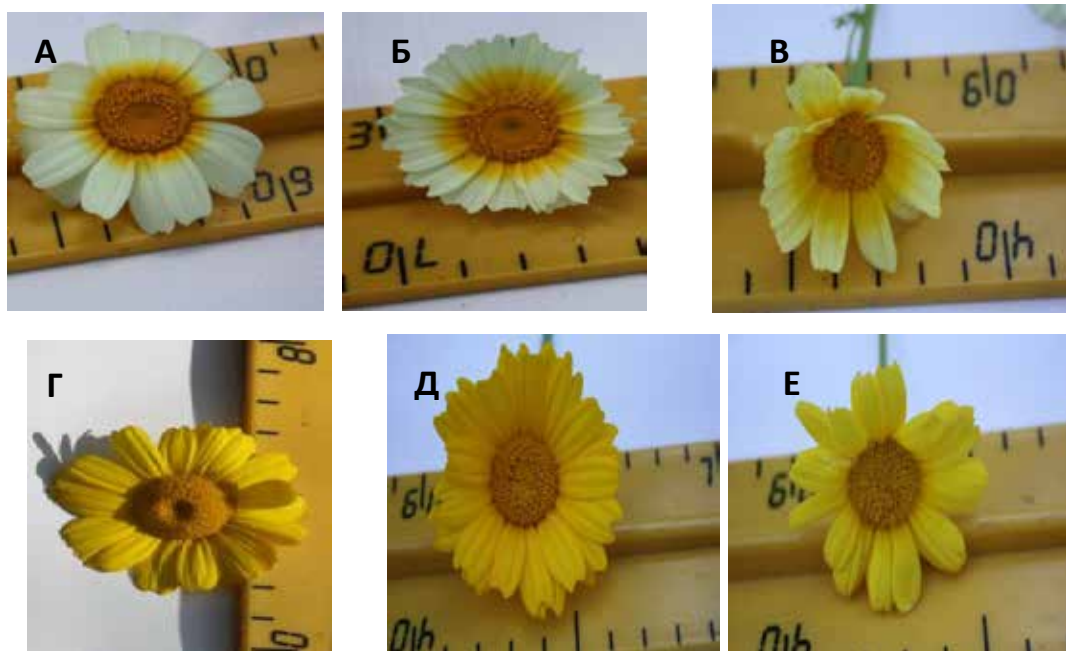


Рис. 2. А, Б, В, Г, Д, Е – різноманітність забарвлення суцвіть *Glebionis coronaria*

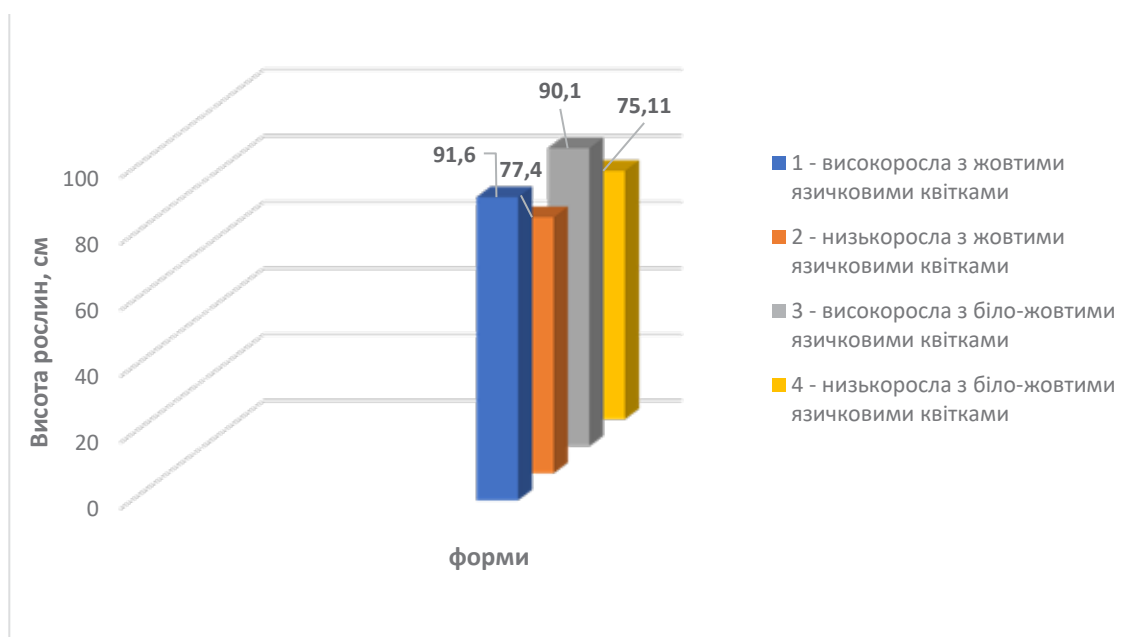


Рис. 3. Висота рослин *Glebionis coronaria* залежно від формових особливостей (середнє за 2013–2017 рр.)

ком, різноманітних білих або жовтих відтінків; трубчасті квітки – жовті, плід – сім'янка.

Інтродукована популяція рослин *G. coronaria* в умовах Полісся вирізнялась неоднорідністю. Інтродуценти варіювали за морфологічними ознаками: за висотою, забарвленням язичкової квітки (біло-жовте, лимонно-жовте, жовте, помаранчеве), за інтенсивністю зеленого забарвлення стебла, за габітусом (прямий, напівпрямий, розлогий), за забарвленням листка (сизе, зелене, темно-зелене), кількістю суцвіть (кошиків) на пагоні, діаметром кошика,

кількістю рядків язичкових квіток, за характером поверхні язичкової квітки (гладенька, текстурована), інтенсивністю жовтого забарвлення трубчастої квітки, масою 1000 насінин а також часом початку квіткування (рис. 2).

В інтродукційній популяції переважали високорослі форми рослин з жовтими (*G. coronaria* var. *coronaria* f 1) і біло-жовтими язичковими квітками (*G. coronaria* var. *discolor* f 3), в середньому заввишки $91,6 \pm 7,6$ см і $90,1 \pm 5,2$ см, відповідно (рис. 3). Окремі особини, за сприятливих абіотичних чинників, дося-

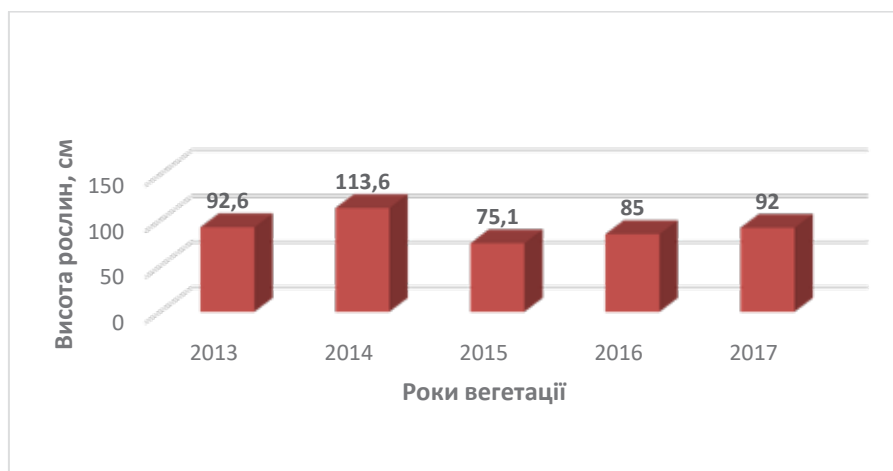


Рис. 4. Висота рослин *Glebionis coronaria* var. *coronaria* f 1, залежно від року вегетації (2013–2017 рр.)

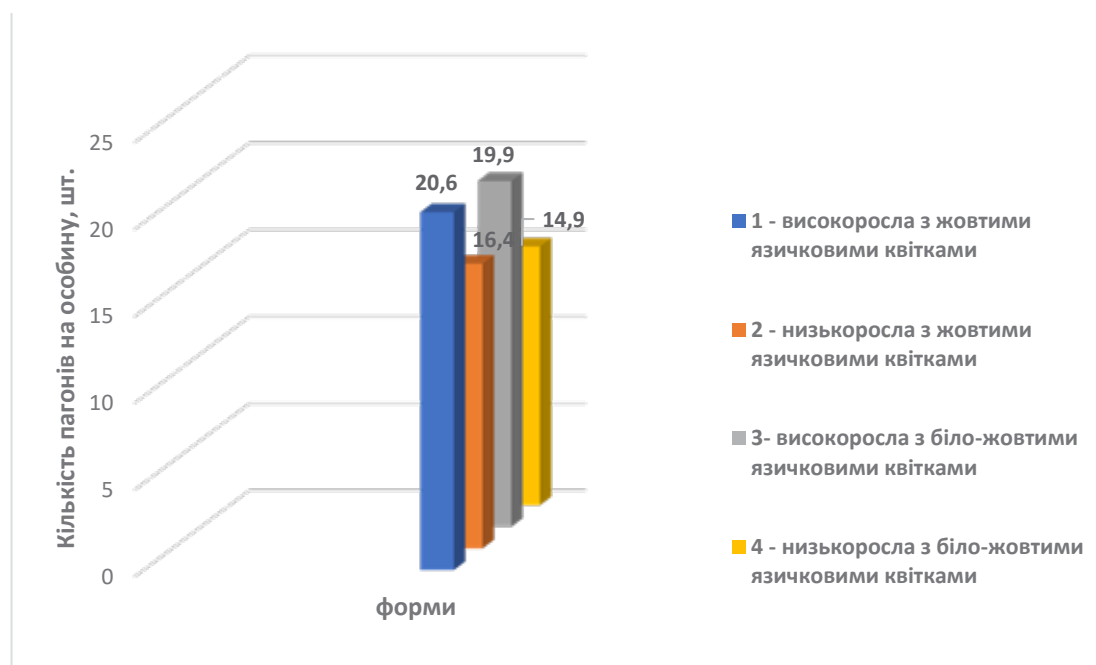


Рис. 5. Кількість пагонів другого порядку *Glebionis coronaria* залежно від формових особливостей (середнє за 2013–2017 рр.)

гали висоти – 130–143 см. Незначною була частка низькорослих форм з жовтими (*G. coronaria* var. *coronaria* f 2) і біло-жовтими язичковими квітками (*G. coronaria* var. *discolor* f 4) заввишки $77,4 \pm 1,2$ см і $75,11 \pm 1,7$ см, відповідно (рис. 3).

Біометрична характеристика рослин відображує умови оптимального співвідношення біологічних вимог культури і ґрунтово-кліматичних умов її вирощування. На інтенсивність росту і розвитку рослин значно впливали погодні умови вегетаційного періоду. Хризантема увінчана – рослина, вимоглива до вологості ґрунту, особливо у прегенеративний період розвитку. Так, для *Glebionis coronaria* var. *coronaria* f 1 найвищі показники висоти рослин відмічені у 2014 році – $113,6 \pm 10,3$ (рис. 4). У 2015 році,

за несприятливих погодних умов вегетаційного періоду, висота рослин становила $75,1 \pm 5,7$ см і була в 1,5 рази меншою у порівнянні з 2014 роком (рис. 4).

За умов інтродукції у генеративних особин високорослих форм з жовтими і біло-жовтими язичковими квітками формувалося в середньому за роки досліджень $20,6 \pm 1,3$ і $19,9 \pm 2,9$ пагонів другого порядку, відповідно (рис. 5). Мінімальна кількість пагонів відмічена у низькорослих форм – в середньому $16,4 \pm 0,8$ (f 2) і $14,9 \pm 0,8$ шт. (f 4) (див. рис. 5).

Інтродуценти значно варіювали за кількістю суцвіть на особині. Максимальна кількість кошиків формувалась у рослин високорослих форм – в середньому $90,2 \pm 7,6$ (*G. coronaria* var. *coronaria* f 1) та $85,5 \pm 7,7$ шт. (*G. coronaria* var. *discolor* f 3) (рис. 6).

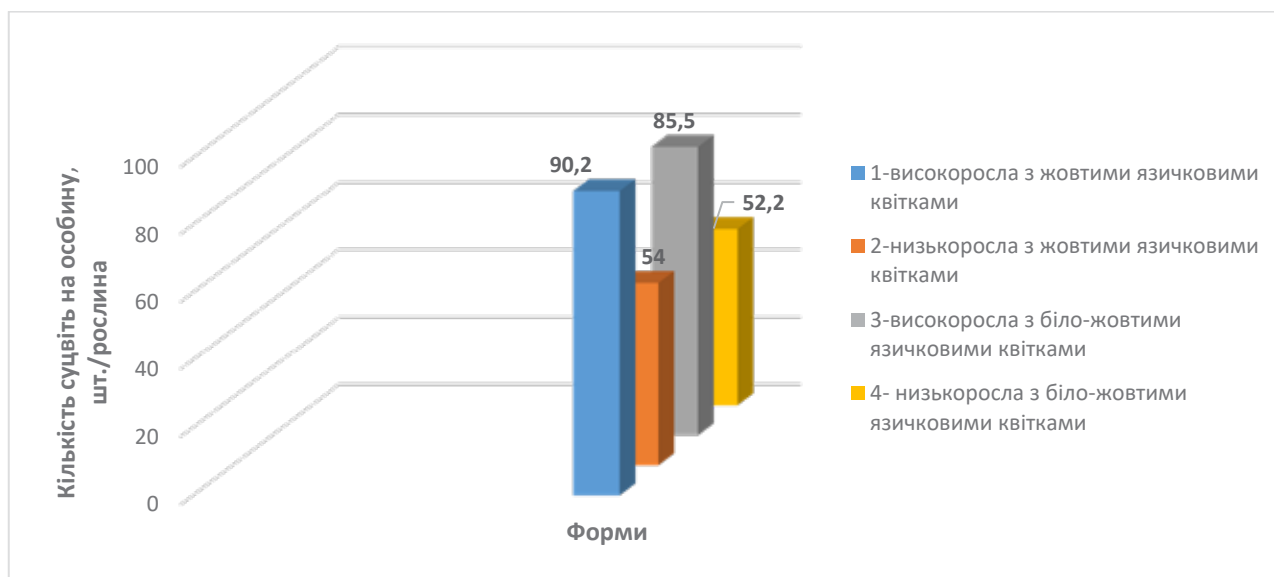


Рис. 6. Кількість суцвіть на особину *Glebionis coronaria* залежно від формових особливостей (середнє за 2013–2017 рр.)

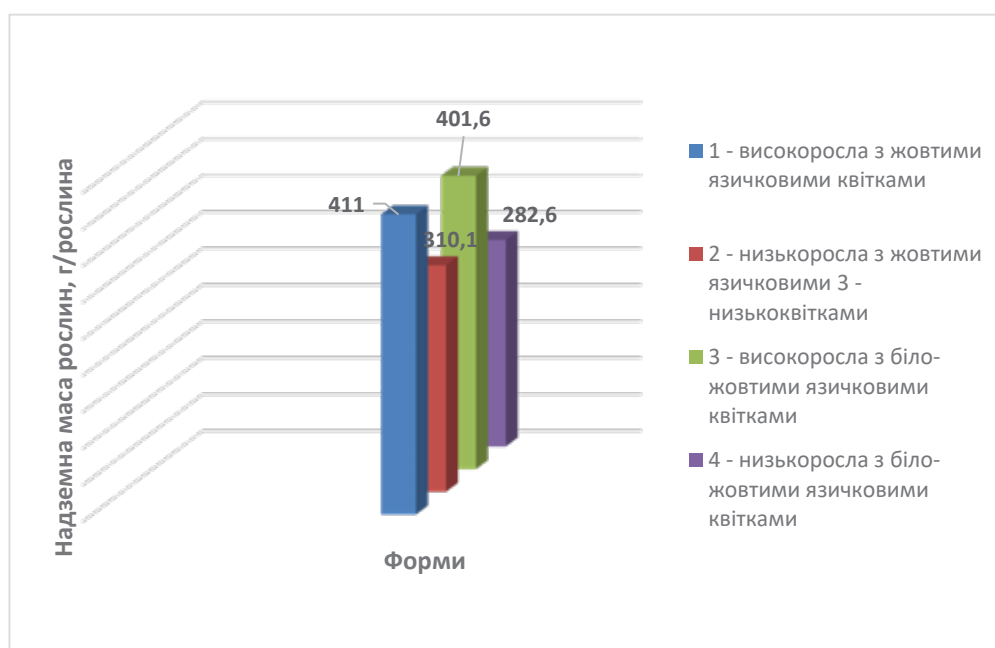


Рис. 7. Надземна маса рослин *Glebionis coronaria* залежно від формових особливостей (середнє за 2013–2017 рр.)

Значно нижчі показники відмічені у рослин низькорослих форм – $54 \pm 2,5$ (*G. coronaria* var. *coronaria* f 2) і $52,2 \pm 1,4$ шт. (*G. coronaria* var. *discolor* f 4) (рис. 6).

Рослини-інтродукти досягали максимуму біометричних показників у фазу квітання. Надземна маса генеративних особин *G. coronaria* була також максимальною у фазу квітання і варіювала залежно від формових особливостей. Надземна маса рослин високорослих форм становила в середньому $411 \pm 50,8$ г/рослина (*G. coronaria* var. *coronaria* f 1) і $401,6 \pm 20,9$ г/рослина (*G. coronaria* var. *discolor* f 3) (рис. 7). Показники у низькорослих форм були

значно нижчими: $310,1 \pm 13,1$ г/рослина (*G. coronaria* var. *coronaria* f 2) і $282,6 \pm 13,8$ г/рослина (*G. coronaria* var. *discolor* f 4) (рис. 7).

Продуктивність генеративних рослин *G. coronaria* в значній мірі залежала від погодних умов вегетаційного періоду. Так, у фазу квітання, надземна маса *G. coronaria* f 1 впродовж досліджень варіювала від $320 \pm 41,6$ г/рослина у 2015 році до $506 \pm 48,4$ г/рослина у 2014 році (див. рис. 8).

Сировиною хризантеми увінчаної є вся надземна частина рослини: молоді пагони, листки, бутони, квітки. За сировинною продуктивністю переважали

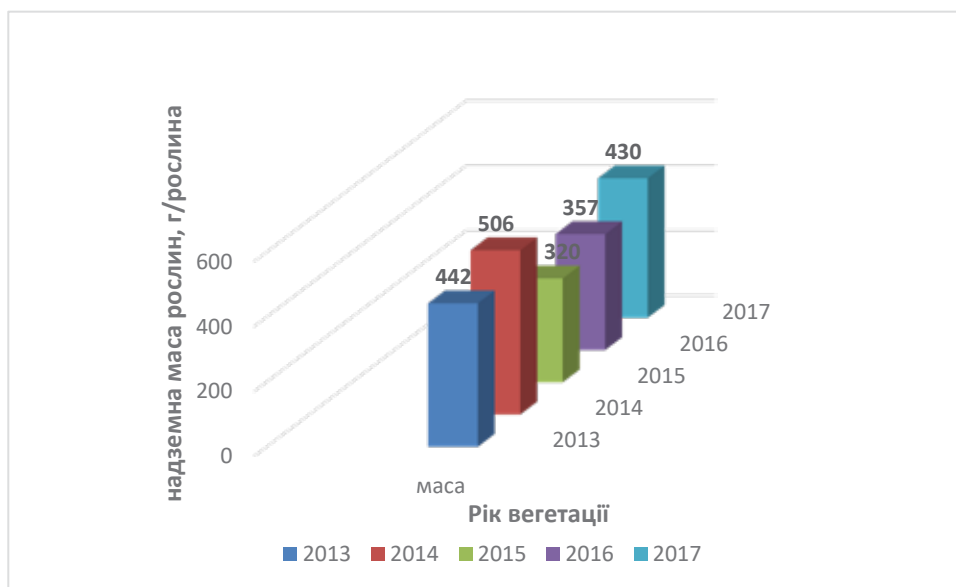


Рис. 8. Надземна маса рослин *Glebionis coronaria* f. l. у фазу квітування залежно від року вегетації

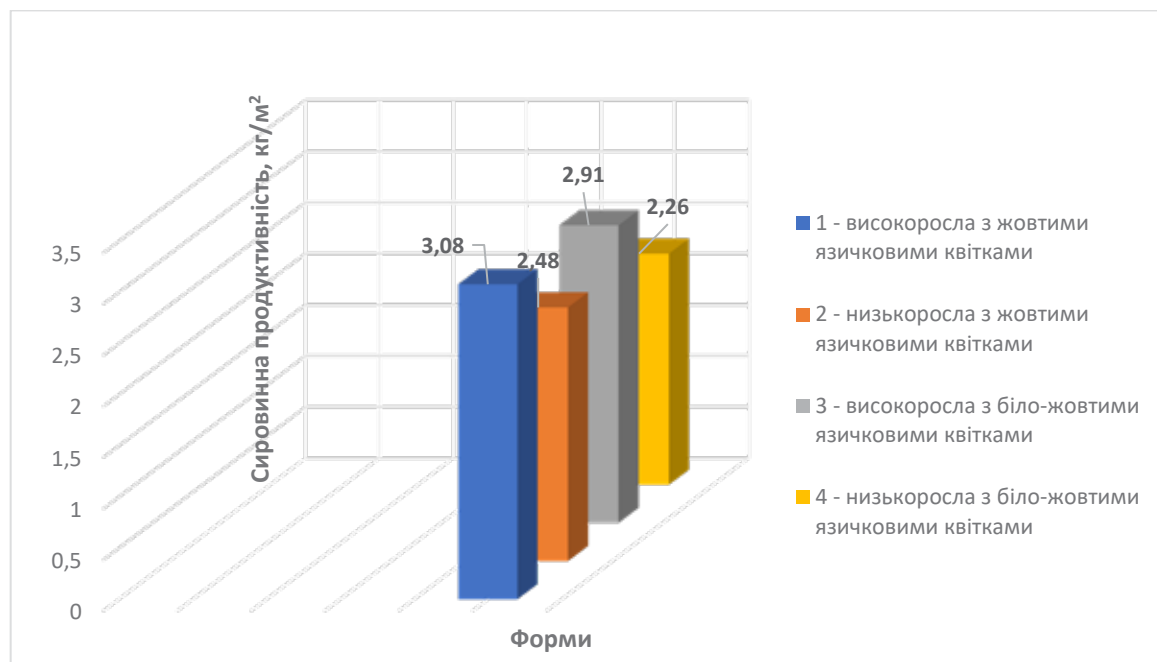


Рис. 9. Сировинна продуктивність *Glebionis coronaria* залежно від формових особливостей (середнє за 2013–2017 рр.)

високорослі форми з жовтими і біло-жовтими язичковими квітками – $3,08 \pm 0,38$ кг/м² (f 1) і $2,91 \pm 0,39$ кг/м² (f 3) (рис. 9). У низькорослих форм показники були нижчими – $2,48 \pm 0,17$ кг/м² (f 2) і $2,26 \pm 0,16$ кг/м² (f 4).

Результати вивчення морфологічних особливостей хризантеми увінчаної за умов інтродукції в Поліссі України загалом узгоджуються з даними, наведеними в працях інших авторів [2, 20], проте є відмінності щодо біометричних параметрів. Так, висота рослин в умовах інтродукції у фазу квітування становила від $75,11 \pm 1,7$ до $91,6 \pm 7,6$ см (максимальна – 143 см),

у той час як у літературних джерелах наведені значно менші показники: 30–60 см [20]. За культивування в умовах лісостепу України рослини у фазу квітування досягали 75–95 см заввишки [2].

Головні висновки. За результатами порівняльного аналізу рослин 4-х форм *G. coronaria* встановлені відмінності за деякими біометричними показниками – висотою рослин, кількістю пагонів другого порядку та кількістю суцвіть на особину, продуктивністю. Висота рослин, залежно від формових особливостей, варіювала від $75,11 \pm 1,7$

до $91,6 \pm 7,6$ см; продуктивність – від $2,26 \pm 0,16$ до $3,08 \pm 0,38$ кг/м². Інтродуценти формували від $14,9 \pm 0,8$ до $20,6 \pm 1,3$ пагонів другого порядку; від $52,2 \pm 1,4$ до $90,2 \pm 7,6$ суцвіть на особину. Найвищі показники висоти рослин, кількості пагонів другого порядку та кількості суцвіть на особину, продуктивності відмічені у високорослих форм з жовтими (*G. coronaria* var. *coronaria* f 1) та біло-жовтими язичковими квітками (*G. coronaria* var. *discolor* f 3).

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані дані можуть бути використанні в селекції для створення нових високопродуктивних сортів хризантеми увінчаної з метою широкого впровадження в культуру в умовах Полісся України. Подальші дослідження варто зосередити на розробці технології культивування хризантеми увінчаної, що сприятиме збільшенню видового різноманіття та екологічній оптимізації культурфітоценозів.

Література

1. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016. Vol. 181, no. 1. P. 1–20. URL: <https://doi.org/10.1111/boj.12385> (date of access: 06.10.2025).
2. Збереження та збагачення рослинних ресурсів шляхом інтродукції, селекції та біотехнології: монографія / Т. М. Черевченко та ін.; відп. ред. Т. М. Черевченко; відп. за підгот. та вип. Д. Б. Рахметов. К.: Фітосоціоцентр, 2012. 431 с.
3. Morphometric analysis and bioclimatic distribution of *Glebionis coronaria* s. l. (Asteraceae) in the Mediterranean area / E. Cano et al. *PhytoKeys*. 2017. Vol. 81. P. 103–126. URL: <https://doi.org/10.3897/phytokeys.81.11995>.
4. Ivashchenko I. V. Chemical composition of essential oil and antimicrobial properties of *Chrysanthemum coronarium* (Asteraceae). *Biosystems Diversity*. 2017. V. 25, no. 2. p. 119–123. DOI: 10.15421/011.
5. Іващенко І. В. Фенольні сполуки, ідентифіковані в рослинах *Chrysanthemum coronarium* L. за інтродукції в Поліссі України. *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality*. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra. 2017. No. 1. P. 200–204.
6. Caffeoylquinic Acids from the Aerial Parts of *Chrysanthemum coronarium* L. / C. Wan et al. *Plants*. 2017. Vol. 6, no.10. P. 1–7. DOI: 10.3390/plants6010010.
7. Біологічні основи інтродукції перспективних енергетичних та ароматичних рослин в Україні / Д. Б. Рахметов, О. А. Корабльова, С. М. Ковтун-Водяницька та ін. Київ: Національна академія наук України, НБС імені М. М. Гришка, 2024. 314 с.
8. Secondary metabolites from *Chrysanthemum coronarium* (Garland) flowerheads: Chemical composition and biological activities / K. Hosni et al. *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 44. P. 263–271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.033> (date of access: 29.07.2025).
9. Chemical composition, antibacterial activity and chromosome number of Algerian populations of two chrysanthemum species / T. Lograda et al. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2013. Vol. 3, no. 8. S6-S11. URL: <https://doi.org/10.7324/JAPS.2013.38.S2>.
10. Toll-like receptor-dependent IL-12 production by dendritic cells is required for activation of natural killer cell-mediated Type-1 immunity induced by *Chrysanthemum coronarium* L. / S. Tanaka et al. *International Immunopharmacology*. 2011. Vol. 11, no. 2. P. 226–232. DOI: 10.1016/j.intimp.2010.11.026.
11. Рахметов Д. Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. К.: Аграр Медіа Груп, 2011. 398 с.
12. Ivashchenko I. V. Biomorphological peculiarities of *Glebionis coronaria* (Asteraceae) introduced in Ukrainian Polissya. *Modern Phytomorphology*. 2018. V.12. P. 59–71. DOI: 10.5281/zenodo.1295694.
13. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. К.: Вища школа, 1994. 333 с.
14. Іващенко І. В., Рахметов Д. Б., Котюк Л. А. Особливості онтоморфогенезу *Glebionis coronaria* (L.) Cass. ex Spach. (Asteraceae) за інтродукції в ботанічному саду ЖНАЕУ. *Збереження різноманіття рослинного світу у ботсадах та дендропарках: традиції, сучасність, перспективи*: матеріали Міжнар. наук. конф. до 230-річчя дендропарку «Олександрія» НАН України, 19-20 вересня 2018р. Біла Церква: ТОВ «Білоцерківдрук», 2018. С. 159–161.
15. *Mémoires de la Société Linnéenne de Paris*. 1822. Vol. 1. P. 368.
16. Turland, N. J. Proposal to conserve the name *Chrysanthemum coronarium* (Compositae) with a conserved type. *Taxon*. Vol. 53, no. 4. P. 1072–1074.
17. Люстрований довідник з морфології квіткових рослин / С. М. Зиман та ін. Ужгород: Медіум, 2004. 156 с.
18. Новіков А., Барабаш-Красни Б. Сучасна систематика рослин. Загальні питання: навчальний посібник. Львів: Ліга-Прес, 2015. 686 с.
19. Порада О. А. Методика формування та ведення колекції лікарських рослин. Полтава: Березоточа, 2007. 50 с.
20. Флора УРСР: в 12 т. Т.11. / за ред. О. Д. Віслюкіної. Київ: Вид-во АН УРСР, 1962. 591 с.

Дата першого надходження рукопису до видання: 07.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД ЯК ОРІЄНТИР ДЛЯ ОСУЧАСНЕННЯ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ З ЕКОЛОГІЇ

Логвиненко Д.О., Кравченко І.В.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
вул. Іоанна Павла II, 17, 01042, м. Київ
kravchiv@snu.edu.ua

У статті обґрунтовано необхідність додаткових змін у освітніх програмах підготовки екологів на засадах міждисциплінарного підходу через глобальні виклики та вимоги «зеленої» економіки. Показано, що традиційна екологічна освіта виявляється недостатньою для впровадження екологічних новачок та практичного застосування зелених технологій. На підставі аналізу сучасних тенденцій в екологічній освіті запропоновано концептуальну модель міждисциплінарного навчального модуля «Екоінновації та зелені технології» обсягом 7 ECTS, який містить п'ять змістових блоків: екологічні основи сталого розвитку, технологічні інновації у природокористуванні, екологічне підприємництво та зелені стартапи, соціальні інновації та екологічна культура, проектно-дослідницька діяльність. Модуль комбінує STEAM-орієнтацію та екологічне підприємництво, забезпечуючи інтеграцію природничих, технологічних, економічних та соціально-гуманітарних компонентів. У результаті навчання буде сформована низка компетентностей від умінь комунікувати з громадськістю до здатності комплексного розв'язання реальної екологічної проблеми або створення екоінноваційного продукту. Описано методичні принципи реалізації модуля, що включають проектне навчання, кейс-стаді, хакатони та сервісне навчання через партнерство з громадами та бізнесом. Представлено систему оцінювання ефективності модуля, що поєднує кількісні та якісні методи: діагностичне анкетування, спостереження та експертну оцінку, аналіз портфоліо студентів, SWOT-аналіз навчального процесу, зовнішню експертизу та віддалене оцінювання працевлаштування випускників. Результати експертного опитування підтвердили високий рівень обґрунтованості та практичної значущості запропонованої моделі. Висвітлені організаційні, кадрові та матеріально-технічні бар'єри, що можуть перешкоджати впровадженню модуля, та запропоновано декілька рекомендацій для закладів вищої освіти щодо їх подолання. Розроблений модуль сприятиме підготовці екологів, здатних до ефективної професійної діяльності у складному періоді зеленої трансформації економіки. *Ключові слова:* екологічна освіта, екоінновації, екологічне підприємництво, компетентнісний підхід, освіта для сталого розвитку, зелені навички, міждисциплінарний модуль.

An interdisciplinary approach as a guideline for modernizing the ecology education program. Lohvynenko D., Kravchenko I.

The article emphasizes the necessity of additional changes in educational programs for training ecologists based on an interdisciplinary approach due to global challenges and the requirements of the “green” economy. It is demonstrated that traditional environmental education is insufficient for implementing environmental innovations and the practical application of green technologies. Based on an analysis of current trends in environmental education, a conceptual model of an interdisciplinary training module “Eco-innovations and Green Technologies” with a volume of 7 ECTS is proposed, which contains five blocks: ecological foundations of sustainable development, technological innovations in nature management, environmental entrepreneurship and green startups, social innovations and environmental culture, and project and research activities. The module combines STEAM orientation and environmental entrepreneurship, ensuring the integration of natural, technological, economic, and social-humanitarian components. As a result of the training, a range of competencies will be developed, from the ability to communicate effectively with the public to the capacity to comprehensively address real environmental problems or create eco-innovative products. The methodological principles for implementing the module are described, including project-based learning, case studies, hackathons, and service learning through partnerships with communities and businesses. A system for evaluating the effectiveness of the module is presented, combining quantitative and qualitative methods, including diagnostic questionnaires, observation, expert assessment, analysis of student portfolios, a SWOT analysis of the learning process, external expertise, and remote assessment of graduate employment. The results of the expert survey confirmed the high level of validity and practical significance of the proposed model. Organizational, personnel, and material and technical barriers that may hinder the implementation of the module were highlighted, and several recommendations were made to higher education institutions on how to overcome them. The module is designed to help train environmentalists who can work effectively during the complex period of green economic transformation. *Key words:* environmental education, eco-innovation, environmental entrepreneurship, competence-based approach, education for sustainable development, green skills, interdisciplinary module.

Постановка проблеми. У контексті глобальних трансформацій довкілля, технологій та соціально-економічних систем, екологічна освіта може розглядатись як фундаментальний інструмент імплементації принципів сталого розвитку. Специфіка екології як галузі знань полягає в її багатогранності, що виходить за рамки традиційних біологічних досліджень та зосереджується на аналізі складних кореляцій у системі «природа-суспільство».

Сучасна підготовка фахівців-екологів вимагає комбінації знань не лише з природничих (біологія, хімія, фізика, математика), а й соціально-гуманітарних дисциплін, включаючи економіку, політологію та юриспруденцію. Класична освіта з екології, здебільшого, орієнтована виключно на природничі аспекти, але виявляється неефективною для протидії складним екологічним загрозам сучасності. Міждисциплінарна методологія, навпаки, забезпечує

формування спеціалістів, здатних до комплексного аналізу екологічних проблем, генерації оптимальних рішень та їх впровадження.

Метою даної роботи є огляд принципів міждисциплінарної підготовки екологічних фахівців, ідентифікація ключових компетентностей, необхідних у сучасних умовах, для розробки концепції навчального модуля «Екоінновації та зелені технології», спрямованого на інтеграцію в освітні програми для розвитку в студентів інноваційного потенціалу, підприємницьких якостей та практичних умінь впровадження екологічно орієнтованих технологій.

Актуальність дослідження обумовлена сучасними тенденціями розвитку екології та її практичним застосуванням в контексті глобальних та регіональних викликів. Багатоаспектність сучасних екологічних криз, що включають кліматичні зміни, деградацію біорізноманіття, забруднення водойм та атмосферного повітря, передбачає застосування міждисциплінарних підходів для їх подолання [1–4]. Останні публікації свідчать про недостатність компетенцій у галузі інженерії, економіки та публічної політики при вузькопрофільній природничій підготовці фахівців, що позбавляє можливості випускників ефективно та швидко вирішувати комплексні проблеми [5].

Через існуючий розрив між теоретичною підготовкою та практичними вимогами наростає дефіцит кваліфікованих кадрів, адже сучасний фахівець має демонструвати й низку дослідницьких компетенцій – від формулювання наукової гіпотези до експериментального підтвердження та практичної апробації [6, 7].

Останніми роками ринок праці сформував нові вимоги до професійного профілю еколога: ми спостерігаємо перехід від адміністративно-нормативних функцій до універсального фахівця, здатного до креативного проектування та впровадження інноваційних рішень з мінімізації антропогенного впливу [8]. Цю тенденцію підтверджує дисбаланс між приростами попиту та пропозиції на «зелені» таланти – 11,6% у 2023–2024 рр. проти лише 5,6% [6].

Нестача деякою мірою систематизації та узагальнення досвіду реалізованих міждисциплінарних освітніх програм істотно уповільнює поширення передових практик. У цьому сенсі порівняльний аналіз існуючих навчальних програм з визначенням їх переваг та недоліків є важливою умовою системної трансформації екологічної освіти.

Таким чином, дослідження сучасного стану та перспектив розвитку міждисциплінарної підготовки фахівців з екології в Україні має прикладну цінність для оптимізації навчальних програм, ревізії стандартів компетентностей задля підвищення ефективності підготовки спеціалістів, здатних до комплексного вирішення сучасних екологічних проблем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій щодо необхідності модернізації екологічної освіти демон-

струють кілька чітких векторів розвитку, зумовлених як світовими трендами, так і національними потребами. Найпомітніша тенденція – це інтеграція з принципами сталого розвитку та адаптація змісту освіти до вимог ЄС [9–12].

Традиційні освітні програми з екології, що орієнтувалися переважно на природничо-наукову підготовку, сьогодні дедалі частіше виявляють обмеження в контексті практичної готовності фахівців відповідати на виклики «зеленої» економіки, впровадження екотехнологій та інтеграції цифрових рішень [13].

Все більшої ваги набуває питання міждисциплінарності у побудові освітніх програм – так, у роботі [14] розглянута синергія між фундаментальними і гуманітарно-соціальними знаннями як шлях до формування цілісності знань.

Водночас, існують серйозні прогалини, що потребують опрацювання та перегляду. Зокрема, відсутність системної моделі поєднання екологічних, технологічних і підприємницьких компонент у межах освітніх програм з екології; обмежена кількість методичних рекомендацій, орієнтованих на проектну та стартап-діяльність у екологічній підготовці; а також недостатня емпірично підтверджена ефективність міждисциплінарного підходу у вітчизняній освітній практиці. Ці недоліки створюють мотивацію для розробки і впровадження нового освітнього модуля з міждисциплінарним фокусом.

Новизна. Запропоновано концептуальну модель, що інтегрує екологічні, технологічні, економічні та підприємницькі компоненти з метою формування у здобувачів вищої освіти компетентностей інноваційного мислення, екологічного підприємництва й практичного застосування технологій сталого розвитку. Новизна полягає у поєднанні теоретичної екологічної підготовки з проектно-орієнтованим навчанням і партнерством «університет – бізнес – громада», що забезпечує посилення практичної підготовки.

Методологія дослідження базується на порівняльному аналізі наукової літератури та офіційних нормативних документів з екологічної освіти задля ідентифікації основних дисциплінарних блоків, навичок та компетенцій; додатково застосовано метод експертного опитування.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні на зміну традиційному вивченню природничих дисциплін приходить концепція освіти для сталого розвитку (ОСР), в якій поєднуються екологічні знання з соціальними та економічними аспектами [15].

Ініційована UNESCO концепція ОСР до 2030 року [16] зміщує акцент з окремих екологічних дисциплін на «озеленення» всієї освітньої системи, це стосується як змісту навчальних програм, так і методів навчання, оцінки знань та професійного розвитку викладачів. Особливої уваги набуває міждисциплінарність, навчання через реальні дії (action learning) та співпраця з місцевими громадами у вирішенні реальних екологічних проблем.

Формування так званих «зелених навичок» (green skills) – компетентностей, необхідних для переходу до вуглецевонеїтральної економіки, має стати новим орієнтиром у освіті. Зелені навички доцільно визначати як поєднання технічних знань, аналітичного мислення та соціальних якостей, що дозволяють спеціалістам реалізовувати екологічні проекти та розробляти інноваційні рішення [17, 18].

Концепція освіти впродовж життя (lifelong learning) вже стала новою реальністю в умовах прискорених технологічних та кліматичних змін. Як зазначає UNESCO [19], сьогодні важливішим стає не просто отримання знань, а розвиток здатності до їх постійного оновлення. Це вже знаходить відображення у створенні гнучких модульних програм, відкритих онлайн-курсів та інших форматів, що дозволяють спеціалістам різного віку та професійного досвіду опановувати нові компетентності в галузі екологічного менеджменту, сталого підприємництва та інших перспективних напрямів. Відповідно, сучасні освітні програми мають бути гнучкими, персоналізованими й відкритими до участі поза традиційними академічними форматами.

Тож, дотримуючись цих тенденцій, осучаснення освітніх програм з екології повинно мати на меті імплементацію принципів ОСР, формування зелених навичок та підтримку навчання протягом життя.

Поряд з цим, у теоретичних засадах модернізації екологічної освіти є STEAM-дисципліни (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics), що дозволяють формувати системне та креативне мислення, поєднувати аналіз природних процесів із розробкою інноваційних екотехнологій і соціальних рішень, тобто забезпечують підготовку фахівців до роботи на перетині екології, технологій та суспільства. Саме STEAM-підхід допомагає перетворити навчання на процес творчого пошуку, моделювання і апробації сталих рішень – від екотехнологій до урбаністичних екопроектів.

Сутність сучасної концепції екологічного підприємництва (eco-entrepreneurship) полягає в органічному поєднанні екологічної свідомості з принципами економічної доцільності, тобто екологічно орієнтована діяльність стає потужним ресурсом для розробки перспективних бізнес-рішень, впровадження екотехнологій та створення соціально значущих стартапів. Реалізація такої концепції у навчанні екологів можлива завдяки використанню імітаційних моделей підприємницької діяльності або, що набагато краще, через організацію практичної взаємодії з представниками бізнес-середовища. Це сформує додаткові якості майбутнього фахівця – здатність до самостійних рішень, цілісність бачення проблем, навичок командної роботи, а також розуміння економічних механізмів стабільного розвитку.

Таким чином, серед набутих компетентностей ключовими мають стати ті, що допомагають застосовувати знання у практичних ситуаціях, насампе-

ред, екологічні (розуміння системних зв'язків у природі та суспільстві), аналітичні та цифрові (робота з даними, ГІС-технології, моделювання), а також інноваційні (здатність ініціювати зміни, розробляти стартапи й екопроекти).

Не останню роль у навчанні відіграють методологічні основи викладання. Інноваційна педагогіка передбачає впровадження таких принципів, як проєктне навчання (project-based learning), проблемно-орієнтоване навчання (problem-based learning), інтеграція цифрових технологій, співнавчання (peer learning) та навчання через досвід (experiential learning). Всі вони спрямовані на активізацію пізнавальної діяльності студентів, розвиток дослідницьких і підприємницьких умінь, формування культури сталого мислення. Передбачається, що ці методи навчання залучатимуть до активного використання інтерактивні освітні середовища, серед яких віртуальні лабораторії, онлайн-симуляції, хакатони.

Виходячи з вищесказаного, сучасна екологічна освіта має базуватися на інтеграції чотирьох методологічних векторів: STEAM-орієнтації, компетентнісного підходу, екологічного підприємництва та інноваційної педагогіки.

На рис. 1 зображена структурно-логічна схема навчального модуля «Екоінновації та зелені технології», який пропонується інтегрувати у освітню програму «Екологія» на другому рівні вищої освіти з метою формування перелічених компетентностей за запитом стейкхолдерів (як роботодавців, так і самих випускників). Архітектура п'ятиблокового модуля побудована за принципами прогресивного ускладнення та міждисциплінарної інтеграції, і кожен з блоків орієнтується на проєктне навчання.

У табл. 1 представлений орієнтовний розподіл часу навчальних занять модуля загальним обсягом 7 ECTS з очікуваними компетентностями та індикаторами вимірювання результативності.

Навчання у межах модуля організовується через поєднання формальної, неформальної та дуальної освіти, але центральне місце відводиться проєктно-орієнтованому навчанню, що передбачає виконання студентами реальних проєктів з екоінновацій.

Методологія кейс-стаді забезпечить детальний аналіз успішних українських і світових прикладів зелених стартапів, що дозволить сформувати цілісне розуміння практик впровадження екологічних технологій.

Однією із складових навчального процесу плануються інтерактивні сесії у форматі хакатонів чи еколабораторій, спрямовані на створення прототипів екотехнологій. Активне залучення студентів до волонтерських та громадських екоініціатив забезпечить формування соціальної відповідальності, а додаткові короткі онлайн-курси на провідних освітніх платформах (Coursera, OpenEdu тощо) у поєднанні з практичними офлайн-заняттями створять гнучке освітнє середовище.



Рис. 1. Структурно-логічна схема взаємозв'язків між змістовими блоками у модулі «Екоінновації та зелені технології»

Таблиця 1

Структура модуля «Екоінновації та зелені технології»

Змістовий блок	Очікувані компетентності	Індикатори вимірювання	Орієнтовний обсяг (год.)
Екологічні основи сталого розвитку	Здатність аналізувати екологічні процеси, розуміти принципи сталого розвитку, застосовувати системне мислення для оцінки взаємозв'язків «людина–природа–економіка».	- Виконує екологічний аудит локальної системи; - Пояснює принципи циркулярної економіки; - Демонструє системний підхід у вирішенні екологічних проблем.	36 год. (1 ECTS)
Технологічні інновації у природокористуванні	Уміння застосовувати сучасні технології (ГІС, екологічне моделювання, аналіз даних) для моніторингу стану довкілля та оптимізації природокористування.	- Розробляє прості ГІС-моделі; - Інтерпретує дані екологічного моніторингу; - Пропонує технологічні рішення щодо зниження впливу на довкілля.	54 год. (1,5 ECTS)
Екологічне підприємництво та зелені стартапи	Здатність розробляти бізнес-моделі екологічно орієнтованих проєктів, здійснювати економічну оцінку екоінновацій, орієнтуватися в принципах сталого менеджменту.	- Створює бізнес-модель; - Розраховує економічну ефективність екопроєкту; - Презентує ідею зеленого стартапу.	54 год. (1,5 ECTS)
Соціальні інновації та екологічна культура	Уміння комунікувати з громадськістю, вести еколого-просвітницьку діяльність, формувати культуру сталого споживання.	- Організовує інформаційні кампанії; - Проводить дискусії або воркшопи; - Демонструє етичне ставлення до природи у власних діях.	36 год. (1 ECTS)
Проектно-дослідницька діяльність	Комплексна здатність інтегрувати знання з попередніх блоків для вирішення реальної екологічної проблеми або створення екоінноваційного продукту.	- Виконує колективний проєкт із зовнішнім партнером; - Захищає результати публічно; - Демонструє сформовані міждисциплінарні компетентності.	72 год. (2 ECTS)

Інноваційним елементом модуля є інтеграція цифрових інструментів, зокрема GIS-платформ, панелей візуалізації моніторингових даних та програмного забезпечення для оцінювання життєвого циклу продукції, що застосовуються для моделювання екологічних ефектів запропонованих технологічних рішень та обґрунтування їх екологічної й економічної доцільності.

Модуль може бути впроваджений як вибіркова частина магістерської програми з екології або для фахівців інших галузей (інженерія, економіка, менеджмент, урбаністика).

Для визначення результативності впровадження модуля пропонується комплексна система оцінювання результатів навчання, що поєднує кількісні та якісні методи (табл. 2):

Інтегральний критерій успішності модуля: $\geq 75\%$ студентів досягають високого/достатнього рівня за всіма компонентами оцінювання; $\geq 60\%$ експертів оцінюють модуль позитивно; показник задоволеності студентів $\geq 7,5/10$.

Подальші дії при імplementації такого міждисциплінарного модуля, на нашу думку, можуть бути спрямовані на його апробацію в умовах різних вищих навчальних закладів; розробку та впровадження інструментів цифрової підтримки навчального процесу, наприклад з використанням технологій доповненої реальності, симуляційних середовищ; методологічну розробку національної рамки зелених компетентностей; а також аудит довгострокового впливу міждисциплінарного модуля на формування професійної та громадянської поведінки випускни-

Таблиця 2

Система оцінювання ефективності впровадження модуля

Метод / інструмент	Конкретні метрики та показники	Періодичність / відповідальні	Критерії успішності
Діагностичне анкетування (до/після)	- Рівень екологічних знань (тест 30 питань, шкала 0-100) - Індекс мотивації до екоінновацій (шкала Лайкерта 1-5) - Самооцінка інноваційних компетентностей (10 позицій)	- На початку (1-й тиждень) та в кінці модуля (останній тиждень) - Відповідальний: викладач-координатор модуля	- Приріст знань $\geq 25\%$ - Підвищення мотивації $\geq 0,8$ балів - Зростання самооцінки компетентностей $\geq 30\%$
Спостереження та експертна оцінка	- Якість командної роботи (5 критеріїв $\times$ 4 бали) - Креативність рішень (оригінальність, реалістичність, екоефект) - Лідерські прояви (ініціативність, координація, комунікація)	- Щотижнево під час практичних занять - Відповідальні: викладачі модуля (2-3 особи)	- Середній бал командної роботи $\geq 3,5$ $\geq 70\%$ студентів демонструють креативні рішення $\geq 40\%$ виявляють лідерські якості
Портфоліо студента	- Кількість та якість прототипів (мін. 2 на студента) - Бізнес-модель екостарту - Аналітичні звіти (≥ 3 кейс-стаді) - Публічні презентації	- Формується впродовж семестру - Фінальне оцінювання: останній тиждень - Відповідальний: куратор групи + зовнішній експерт	100% студентів мають ≥ 2 завершених проєктів $\geq 60\%$ бізнес-моделей оцінені як життєздатні - Середня якість портфоліо $\geq 75/100$ балів
SWOT-аналіз навчального процесу	- Сильні/слабкі сторони методик (відкриті питання) - Задоволеність форматами навчання (шкала 1-10) - Пропозиції щодо вдосконалення	- Після завершення модуля (останній тиждень) - Відповідальний: методист кафедри	- Задоволеність $\geq 7,5/10$ $\geq 80\%$ позитивних відгуків про методики - Отримано ≥ 15 конструктивних пропозицій
Зовнішня експертиза	- Відповідність проєктів реальним потребам ринку - Технічна реалізованість (оцінка 1-5) - Екологічний та економічний ефект - Інноваційність рішень	- Фінальний захист проєктів (останній тиждень семестру) - Експерти: представники бізнесу, громадських екоорганізацій, науковці	$\geq 50\%$ проєктів оцінені як ринково перспективні - Середня оцінка експертів $\geq 4,0/5$ ≥ 2 проєкти рекомендовані до впровадження
Віддалене оцінювання	- Працевлаштування за фахом (% випускників) - Реалізовані екопроєкти/стартапи - Участь у зелених ініціативах - Кар'єрне зростання	- Через 6, 12 та 24 місяці після завершення - Відповідальний: відділ моніторингу якості освіти	$\geq 70\%$ працюють за екологічним профілем $\geq 20\%$ реалізували власні екопроєкти $\geq 50\%$ залучені до зелених ініціатив

ків. Для забезпечення зворотного зв'язку необхідно впровадити регулярне опитування випускників через 1–5 років після завершення навчання щодо їх професійної успішності, задоволеності освітою та актуальності здобутих компетентностей.

З метою перевірки практичної доцільності запропонованого модуля «Екоінновації та зелені технології» було проведено опитування 12 фахівців у галузі екології, педагогіки вищої школи, інноваційного менеджменту та інжинірингу (представників бізнес-середовища), результати якого наведені у табл. 3. Для оцінювання використовувався бальний метод за п'ятибальною шкалою, де 1 – «низький рівень відповідності», 5 – «високий рівень відповідності». Респондентам пропонувалося оцінити модуль за шістьма критеріями: наукова обґрунтованість, міждисциплінарна інтегрованість, інноваційність, практична значущість, перспективність реалізації у навчальному процесі, очікуваний вплив на компетентнісний розвиток студентів.

Середній інтегральний показник склав 4,6 бали, коефіцієнт узгодженості Кендала W дорівнює 0,84. Експерти наголосили на доцільності подальшої адаптації моделі для суміжних спеціальностей (економіка, інженерія, менеджмент) і розроблення методичного супроводу для викладачів. Модуль може бути успішно впроваджено у навчальний процес.

Проте, осучаснення освітніх програм (інтеграція подібних модулів) може наштовхнутися на організаційні бар'єри, подолання яких потребуватиме зусиль не лише випускових кафедр. Так, у традиційній структурі університетів майже не передбачається тісної співпраці між кафедрами різних факультетів при розробці робочих навчальних програм, що призводить до паралельного викладання суміжних тем без врахування міждисциплінарних зв'язків або до фрагментації освітнього процесу.

Інша проблема пов'язана з кадровим питанням, яке виникло через об'єктивні причини (дефіцит

викладачів з міждисциплінарною підготовкою, які часто відчують невпевненість при викладанні матеріалу за межами своєї вузької спеціалізації). Через це є необхідність в постійному підвищенні кваліфікації та оновленні знань, що не завжди можливо через обмеженість фінансування.

Існують і матеріально-технічні обмеження, особливо у релокованих університетах, тому сучасне обладнання (сенсори, приймачі GPS, комп'ютерні комплекси для моделювання тощо) та програмне забезпечення через високі витрати часто недоступні.

Для подолання таких бар'єрів знадобляться системні зміни на всіх рівнях функціонування закладів освіти – це і створення екоцентрів або науково-навчальних лабораторій, що об'єднують ресурси, які мають стати платформами для реалізації міждисциплінарних досліджень, стартапів і партнерських освітніх ініціатив; це і запровадження регулярних тренінгів, воркшопів та курсів з сучасних методів викладання, цифрових технологій і міждисциплінарної педагогіки для викладачів; це й розроблення методичних матеріалів – кейсів, прикладів вирішення реальних екологічних проблем, навчальних симуляцій; у площині матеріально-технічного забезпечення ключовим завданням стане диверсифікація джерел фінансування, в тому числі від участі в міжнародних грантових програмах (Erasmus+, Horizon Europe тощо) для отримання ресурсів на оновлення лабораторій, придбання обладнання та розвиток інноваційних навчальних платформ; налагодження партнерств з промисловими підприємствами, екологічними організаціями та науково-дослідними центрами з метою спільного використання обладнання, проведення стажувань і реалізації проєктів.

Висновки. В роботі обґрунтовано концептуальну модель міждисциплінарної підготовки екологів, що синтезує чотири методологічні вектори: STEAM-орієнтацію, компетентнісний підхід, екологічне під-

Таблиця 3

Результати експертної оцінки

Критерій оцінювання	Середній бал (із 5)	Стандартне відхилення	Коментар експертів
Наукова обґрунтованість	4,8	0,3	Відзначено логічну послідовність структури та коректність методичних зв'язків між блоками
Міждисциплінарна інтегрованість	4,7	0,4	Позитивно оцінено баланс між екологічними, технологічними та соціально-економічними складовими
Інноваційність	4,6	0,5	Підкреслено сучасність концепції та можливість її цифровізації
Практична значущість	4,5	0,6	Модель сприяє створенню реальних екоініціатив і стартапів
Перспективність реалізації	4,3	0,7	Рекомендовано розробити методичний пакет і навчальні матеріали
Вплив на компетентності	4,7	0,4	Очікується формування системного мислення та екологічного підприємництва

приємництво та інноваційну педагогіку. Розроблено структуру навчального модуля «Екоінновації та зелені технології» загальним обсягом 7 ECTS, що складається з п'яти взаємопов'язаних блоків і забезпечує цілісне формування зелених компетентностей. Запропоновано комплексну систему оцінювання ефективності модуля, яка поєднує когнітивний, практичний та ціннісно-мотиваційний рівні через діагностичне анкетування, експертне оцінювання, моніторинг портфоліо та зовнішню експертизу.

Впровадження запропонованого модуля сприятиме підготовці екологів-універсалів, здатних розробляти та реалізовувати екоінноваційні рішення в умовах

зеленої трансформації економіки. Висвітлені можливі організаційні, кадрові та матеріально-технічні перешкоди на шляху імплементації міждисциплінарного модуля та вектор для їх подолання. Модуль може бути впроваджений як вибірково компонента магістерських програм з екології або суміжних спеціальностей.

Подальші напрями розвитку полягають у апробації модуля в різних закладах вищої освіти з оцінюванням його ефективності; розробці цифрових інструментів підтримки навчального процесу; проведенні довготривалого аналізу впливу міждисциплінарної підготовки на професійну траєкторію та громадянську поведінку випускників.

Література

1. Byrne L. B., Rauschert E. S. J., Rodgers V. L. et al. Diversifying Ecology Education for Everyone Through More Inclusive, Interdisciplinary, and Accessible Teaching. *Bull Ecol Soc Am*. 2025. Vol. 106, № 2. e02233. DOI: <https://doi.org/10.1002/bes2.2233>
2. Pörtner H.-O., Scholes R. J., Armeth A. et al. Overcoming the coupled climate and biodiversity crises and their societal impacts. *Science*. 2023. Vol. 380. P. 256. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abl4881>
3. Weiskopf S. R., Rubenstein M. A., Crozier L. G. et al. Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Sci Total Environ*. 2020. Vol. 733. 137782. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
4. Mahecha M. D., Bastos A., Bohn F. J. et al. Biodiversity loss and climate extremes – study the feedbacks. *Nature*. 2022. Vol. 612. P. 30–32. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-022-04152-y>
5. Kim G., Yu E. J., Ryu K., Kim K. Moving toward interdisciplinary approaches in ecological education: Converging and diverging viewpoints of South Korean teachers. *The Journal of Environmental Education*. 2025. Vol. 56, № 3. P. 229–245. DOI: <https://doi.org/10.1080/00958964.2025.2471968>
6. Green Skills Gap is a Global Issue. *Green Careers Hub*. URL: <https://www.greencareershup.com/insights/blogs-and-articles/the-green-skills-gap-is-a-global-issue/> (дата звернення: 17.10.2025).
7. Нові професії у сфері екології та збалансованого природокористування. *Київський обласний центр зайнятості*. URL: <https://kir.dcz.gov.ua/publikaciya/novi-profesiyi-u-sferi-ekologiyi-ta-zbalansovanogo-pryrodokorystuvannya> (дата звернення: 17.10.2025).
8. Green Skills Gap Threatens UK's Sustainability Goals, Report Finds. *People Management*. URL: <https://www.peoplemanagement.co.uk/article/1878984/green-skills-gap-threatens-uks-sustainability-goals-report-finds> (дата звернення: 17.10.2025).
9. Сасенко Т. Екологічна освіта – основа екобезпеки та сталого розвитку. *Вища освіта України*. 2020. № 2. С. 30–36. DOI: [https://doi.org/10.31392/NPU-VOV.2020.2\(77\).06](https://doi.org/10.31392/NPU-VOV.2020.2(77).06)
10. Чіпак І. О. Екологічна освіта як передумова реалізації ідей сталого розвитку. *Actual Problems of Psychology in Educational Institutions*. 2022. № 7. С. 227–230. DOI: <https://doi.org/10.31812/psychology.v7i.7291>
11. Семигіна Т. «Зелені» компетентності та «зелені» навички: огляд міжнародного досвіду. *Grail of Science*. 2022. № 16. С. 400–406. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.06.2022.066>
12. Біда О. А., Кучай Т. П., Чичук А. П. Сучасний стан екологічної освіти в Україні. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. № 215. С. 22–26. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-215-22-26>
13. Горобей М. С. Актуальні питання впровадження сучасних діджитал-інструментів у реалізації екологічної освіти та природоохоронної діяльності в Україні та країнах ЄС. *Екологічні науки*. 2021. № 5 (38). С. 15–18. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.5-38.3>
14. Бірюк І. Г., Назимок Є. В. Міждисциплінарність у сучасному науково-педагогічному дискурсі. *Імідж сучасного педагога*. 2024. № 2 (215). С. 19–23. DOI: [https://doi.org/10.33272/2522-9729-2024-2\(215\)-19-23](https://doi.org/10.33272/2522-9729-2024-2(215)-19-23)
15. Education for Sustainable Development: A roadmap. Paris: UNESCO, 2020. 66 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802.locale=en> (дата звернення: 17.10.2025).
16. Framework for the implementation of Education for Sustainable Development (ESD) beyond 2019. Paris: UNESCO. General Conference, 40th, 2019. 19 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370215.locale=en> (дата звернення: 17.10.2025).
17. Greener Skills and Jobs. OECD Publishing, 2014. 230 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264208704-en> (дата звернення: 17.10.2025).
18. Skills for the Green Transition: Evidence from the EU Neighbourhood. European Training Foundation, 2023. 28 p. URL: <https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2023-11/Skills%20for%20the%20green%20transition.pdf> (дата звернення: 17.10.2025).
19. Agenda 2030 – Education and Lifelong Learning in the Sustainable Development Goals. Bonn: DVV International, 2016. 85 p. URL: https://www.dvv-international.de/fileadmin/files/Inhalte_Bilder_und_Dokumente/Materialien/IPE/IPE_75_EN_web.pdf (дата звернення: 17.10.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийняття до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

УДК 595.799(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.10>

БІОТОПІЧНИЙ РОЗПОДІЛ БДЖІЛ-ШАХТАРІВ (ANDRENIDAE, APOIDEA, HYMENOPTERA, INSECTA) В УМОВАХ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ВЕРХОВИНСЬКИЙ» ТА ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ

Сіренко А.Г., Рymarук П.В.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Галицька, 201, 26000, м. Івано-Франківськ
bratlibo@yahoo.co.uk, petro.rymaruk.24@pnu.edu.ua

Досліджено фауну та екологію бджіл-шаhtarів (Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta) Національного природного парку «Верховинський» та прилеглих територій. Актуальність роботи полягає в тому, що під впливом антропогенного тиску та глобальних змін клімату змінюється фауна екологічно чутливих стенобіонтних видів, що можуть бути в тому числі біоіндикаторами стану екосистем. Особливо це стосується природоохоронних територій, в тому числі національних парків, що потребують дослідження та аналізу видового складу комах, в тому числі такої екологічно чутливої і важливої для екосистеми групи комах як бджоли-шаhtarі (Andrenidae). Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше здійснено комплексний аналіз фауни Andrenidae Національного природного парку «Верховинський» та складено анотований список видів Andrenidae цієї природоохоронної території, досліджено біотопічний розподіл та висотних градієнт розподілу видових комплексів Andrenidae. Наведено результати багаторічних досліджень 2002 – 2025 років. На території дослідження виявлено 31 вид бджіл-шаhtarів, досліджено біотопічний та екотонний розподіл виявлених видів, досліджено висотний градієнт розподілу виявлених видів, здійснено ареологічний аналіз виявлених видів, фауністичну спорідненість досліджених біотопів. Серед виявлених видів бджіл-шаhtarів виявлено 4 рідкісних видів і 3 види нових для фауни Українських Карпат. Всі виявлені види бджіл-шаhtarів відомі для фауни України загалом. Виявлено висотний градієнт у розподілі видових комплексів Andrenidae в умовах національного парку «Верховинський» та прилеглих територій: простежується негативна кореляція між числом виявлених видів Andrenidae і середньою висотою біотопу над рівнем моря ($\rho = -0,824$). Виявлено, що найбільш спорідненими фауністично по видовим комплексам Andrenidae були біотопи букового лісу (B) та ялинового лісу (C) ($S = 61,54$; $K = 0,762$). Найменш спорідненими фауністично по видовим комплексам Andrenidae виявились біотопи гірських прирічкових лук (A) та субальпійських лук (E) ($S = 12,00$; $K = 0,194$). Серед виявлених видів бджіл-шаhtarів (Andrenidae) більшість мали варіанти євразійського (14 видів) та полізонального (30) ареалів поширення. *Ключові слова:* фауна, Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta, екологія, біотопи, природоохоронні території.

Biotopic distribution of miner bees (Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta) in the conditions of the Verkhovynsky National Nature Park and adjacent territories. Sirenko A., Rymaruk P.

The fauna and ecology of miner bees (Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta) of the Verkhovynsky National Nature Park and adjacent territories were studied. The relevance of the work lies in the fact that under the influence of anthropogenic pressure and global climate change, the fauna of environmentally sensitive stenobiont species is changing, which can be, among other things, bioindicators of the state of ecosystems. This is especially true for protected areas, including national parks, which require research and analysis of the species composition of insects, including such an environmentally sensitive and important group of insects for the ecosystem as miner bees (Andrenidae). The scientific novelty of the work lies in the fact that for the first time a comprehensive analysis of the Andrenidae fauna of the Verkhovynsky National Nature Park was carried out and an annotated list of Andrenidae species of this protected area was compiled, the biotope distribution and altitudinal gradient of the distribution of Andrenidae species complexes were studied. The results of long-term research from 2002 to 2025 are presented. 31 species of bee miners were discovered in the study area, the biotopic and ecotonic distribution of the discovered species was investigated, the altitudinal gradient of the distribution of the discovered species was investigated, the areological analysis of the discovered species, and the faunal relationship of the investigated biotopes were carried out. Among the discovered bee miners, 4 rare species and 3 species new to the fauna of the Ukrainian Carpathians were discovered. All discovered bee miners are known for the fauna of Ukraine in general. An altitudinal gradient in the distribution of Andrenidae species complexes was discovered in the conditions of the Verkhovynsky National Park and adjacent territories: a negative correlation was observed between the number of discovered Andrenidae species and the average height of the biotope above sea level ($\rho = -0.824$). It was found that the most faunally related biotopes in terms of Andrenidae species complexes were the beech forest (B) and spruce forest (C) biotopes ($S = 61.54$; $K = 0.762$). The least faunally related biotopes in terms of Andrenidae species complexes were the mountain river meadows (A) and subalpine meadows (E) biotopes ($S = 12.00$; $K = 0.194$). Among the identified species of bee miners (Andrenidae), the majority had variants of Eurasian (14 species) and polyzonal (30) distribution areas. *Key words:* fauna, Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta, ecology, biotopes, nature conservation areas.

Вступ. Фауна і флора багатьох території України змінюються під впливом антропогенного тиску, глобальної і локальної зміни клімату. Особливо це стосується екологічно чутливих груп тварин, таких як

бджоли-шаhtarі (Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta) – примітивні бджоли, що ведуть одиночний спосіб життя. Свою назву ця родина отримала завдяки тому, що гнізда бджоли риють в землі у вигляді

довгих ходів з підземними камерами, де відкладають яйця і вигодовують личинок пишком та нектаром [1]. Родина Andrenidae різноманітна і багата видами, тільки в роді *Andrena* відомо більше 1500 видів у світовій фауні і 170 видів у фауні України (це один із найбільших по числу видів родів не тільки комах, але і тварин взагалі). Багато видів Andrenidae мають харчову спеціалізацію – збирають нектар та пилок тільки з одного або кількох видів рослин. Andrenidae чутливі до антропогенного тиску та змін в екосистемах [2].

Актуальність дослідження полягає в тому, що фауна та біотопічний розподіл бджіл-шахтарів вивчені недостатньо, природоохоронні території, особливо національні парки потребують реєстру видового складу фауни, індикації стану екосистем, елементом цього є видові комплекси бджіл-шахтарів.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше проведені комплексні дослідження фауни Andrenidae Національного природного парку «Верховинський», досліджено біотопічний розподіл на висотних градієнтах Andrenidae в умовах гірських масивів Чивчини та Гриняви.

Національний природний парк «Верховинський» розташований на півдні Українських Карпат в межах гірських хребтів Чивчини та Гриняви, верхів'їв річок Чорний Черемош та Білий Черемош та їх притоків, що утворюють глибокі гірські долини. На території парку є найрізноманітніші гірські біотопи, включаючи альпійські луки та ялинові праліси. Букові ліси трапляються на прилеглих територіях у вигляді невеликих лісових ділянок на схилах гір. Територія цього національного парку найбільш недоступна для діяльності людини з усіх територій України внаслідок руйнування доріг після повеней, прикордонного режиму територій та знелюднення. У зв'язку з цим фауна та екологія бджіл родини Andrenidae в умовах Національного природного парку «Верховинський» та прилеглих територій вивчена фрагментарно і недостатньо. Крім того, клімат в останні десятиліття змінюється швидко і незворотно, що впливає на фауну і флору, в тому числі і на фауну Andrenidae – екологічно чутливої і залежної від флори групи комах [2], [3], [4].

Історія дослідження фауни та екології Andrenidae Українських Карпат почалась із досліджень Wierzejski A. (1867, 1874) [5], [6]. Всебічні дослідження фауни та екології Andrenidae Українських Карпат здійснив Осичнюк Г. (1961, 1977, 1978) [2]. Останні дослідження фауни та екології бджолиних здійснили Бокотей О. (2002, 2003, 2005) [1], [3], [4].

Матеріали і методи. Наведено результати досліджень 2002–2025 років включно. Проаналізовано колекції різних дослідників, переважно авторів статті, що збирались щороку в зазначений період в теплий сезон з квітня по вересень включно в різних біотопах і на різних висотах у Національному природному парку «Верховинський» та на приле-

лих територіях. Відлов, виготовлення колекцій та визначення видів здійснювалось стандартно згідно класичних методів. Дослідження видового складу та екології Andrenidae проводилось у наступних біотопах та екотонах:

А – вологі гірські прирічкові луки.

В – буковий ліс.

С – ялиновий ліс.

Д – узлісся ялинового лісу.

Е – сухі луки на гірських схилах.

Ф – криволісся сосни гірської (*Pinus mugo*).

Г – субальпійські луки.

Класифікацію ареалів виявлених видів здійснили згідно робіт Городкова К. (1986) та Ємельянова А. (1974) [3]. Видові назви подані і визначення видів проводилось з врахуванням робіт Marchiori C. (2023) [7], Szczepko-Morawiec K. (2024) [8], Wood T. (2021, 2023, 2024) [9], [10], [11] та Zandigiacomo P. (2013) [12].

Результати і обговорення. У результаті проведених досліджень у Національному природному парку «Верховинський» та на прилеглих територіях протягом 2002–2025 років було виявлено 31 вид Andrenidae (Apoidea, Hymenoptera, Insecta) (у списку зазначено біотопи, де були виявлено вид, кількість досліджених екземплярів, стать та рослину, на квітах якої було відловлено екземпляри:

Родина Andrenidae

1. *Andrena apicata* Smith, 1847 – 3 екземпляри, ♀♀, на прирічкових гірських луках, на сухих луках на гірських схилах, буковий ліс, на айстрових, вид з європейсько-кавказьким полізональним ареалом.

2. *Andrena angustior* (Kirby, 1802) – 2 екземпляри, ♀♀, на сухих луках на гірських схилах, на траві, на айстрових, вид із західноєвропейським полізональним ареалом. Поліфаг.

3. *Andrena barbilabris* (Kirby, 1802) – 5 екземплярів, ♀♀, прирічкові луки, сухі гірські луки на схилах, ялиновий ліс, узлісся ялинового лісу, на айстрових, на брусниці, на чорниці, вид з голарктичним полізональним ареалом.

4. *Andrena bicolor* Fabricius, 1775 – 6 екземплярів, ♀♀, прирічкові гірські луки, буковий ліс, ялиновий ліс, узлісся ялинового лісу, сухі луки на схилах, на айстрових, на Аріасеах, на брусниці, вид із західнопалеарктичним полізональним ареалом.

5. *Andrena cineraria* (Linnaeus, 1758) – 7 екземплярів, ♀♀, прирічкові луки, буковий ліс, ялиновий ліс, узлісся ялинового лісу, сухі гірські луки на схилах, на айстрових, на ожині, на малині, вид з європейсько-східноєвропейсько-туранським полізональним ареалом.

6. *Andrena clarkella* (Kirby, 1802) – 1 екземпляр, ♀, субальпійські луки, на вербі, вид з голарктичним полізональним ареалом.

7. *Andrena coitana* (Kirby, 1802) – 3 екземпляри, ♀♀, сухі луки на схилах, субальпійські луки, криволісся сосни альпійської, на айстрових, на брусниці, вид з європейським полізональним ареалом.

8. *Andrena combinata* (Christ, 1791) – 10 екземплярів, ♀♀♂, прирічкові гірські луки, буковий ліс, ялиновий ліс, узлісся ялинового лісу, сухі луки на схилах, криволісся сосни альпійської, субальпійські луки, вид з європейсько-кавказьким полізональним ареалом.

9. *Andrena curvungula* Thomson, 1870 – 12 екземплярів, ♀♀♂, прирічкові луки, сухі луки на схилах, буковий ліс, узлісся ялинового лісу, ялиновий ліс, криволісся сосни альпійської, на звіробої, на ожині, на брусниці, вид з європейсько-малоазійсько-кавказьким ареалом.

10. *Andrena denticulata* (Kirby, 1802) – 1 екземплярів, ♀, прирічкові гірські луки, на айстрових, вид з європейсько-східно-японським азіодиз'юнктивним полізональним ареалом.

11. *Andrena falsifica* Perkins, 1915 – 2 екземплярів, ♀♀, прирічкові гірські луки, буковий ліс, на перстачі (розоцвіті), на ожині, вид з європейським полізональним ареалом.

12. *Andrena floricola* Eversmann, 1852 – 2 екземплярів, ♀♀, прирічкові гірські луки, сухі луки на схилах, на перстачі, на хрестоцвітних, вид з європейсько-малоазійським полізональним ареалом. Рідкісний.

13. *Andrena fucata* Smith, 1847 – 7 екземплярів, ♀♀♂, прирічкові гірські луки, субальпійські луки, ялиновий ліс, буковий ліс, криволісся сосни альпійської, сухі луки на гірських схилах, на айстрових, вид з європейським полізональним ареалом, окремі знахідки є на Алясці та в Магадані.

14. *Andrena fuscipes* (Kirby, 1802) – 3 екземплярів, ♀♀, субальпійські луки, галявини ялинового лісу, криволісся сосни альпійської, на брусниці, вид з європейським полізональним ареалом.

15. *Andrena haemorrhoa* (Fabricius, 1781) – 10 екземплярів, ♀♀♂, вологі прирічкові луки, сухі луки на схилах, буковий ліс, ялиновий ліс, узлісся ялинового лісу, криволісся сосни альпійської, субальпійські луки, на айстрових, на траві, вид з транспалеарктичним полізональним ареалом.

16. *Andrena hattorfiana* (Fabricius, 1775) – 2 екземплярів, ♀♀, субальпійські луки, галявини ялинового лісу, на *Scabiosa columbaria* L., 1753, вид з європейсько-малоазійсько-кавказьким ареалом. Рідкісний.

17. *Andrena lapponica* Zetterstedt, 1838 – 3 екземплярів, ♀♀, субальпійські луки, криволісся сосни альпійської, на брусниці, малині, ожині, вид з голарктичним азіодиз'юнктивним полізональним ареалом.

18. *Andrena nana* (Kirby, 1802) – 1 екземплярів, ♀, вологі прирічкові луки, на хрестоцвітних, вид з європейським полізональним ареалом.

19. *Andrena nigroaenea* (Kirby, 1802) – 6 екземплярів, ♀♀♂, вологі прирічкові луки, галявини ялинового лісу, буковий ліс, сухі луки на гірських схилах, на айстрових, вид із західнопалеарктичним полізональним ареалом.

20. *Andrena nitidiuscula* Schenck, 1853 – 3 екземплярів, ♀♀♂, буковий ліс, ялиновий ліс, узлісся яли-

нового лісу, на ожині, на айстрових, на герані, вид з західнопалеарктичним полізональним ареалом.

21. *Andrena ovatula* (Kirby, 1802) – 3 екземплярів, ♀♀, прирічкові гірські луки, галявини ялинового лісу, на ожині, вид з транспалеарктичним полізональним ареалом.

22. *Andrena pandellei* Perez, 1903 – 4 екземплярів, ♀♀♂, прирічкові гірські луки, буковий ліс, ялиновий ліс, галявини ялинового лісу, на дзвоникових (Campanulaceae), вид з європейсько-малоазійським темперантним ареалом.

23. *Andrena paucisquama* Noskiewicz, 1924 – 3 екземплярів, ♀♀, на прирічкових луках, на сухих луках на схилах гір, на узліссях ялинового лісу, вид з європейсько-малоазійсько-близькосхідним полізональним ареалом. Рідкісний.

24. *Andrena pilipes* Fabricius, 1781* (= *Andrena carbonaria* (Linnaeus, 1758)) – 2 екземплярів, ♀♀, прирічкові гірські луки, буковий ліс, на айстрових, вид з транспалеарктичним полізональним ареалом.

25. *Andrena praecox* (Scopoli, 1763) – 1 екземплярів, ♀, прирічкові гірські луки, на айстрових, вид з європейсько-східно-японським полізональним ареалом.

26. *Andrena rosae* Panzer, 1801 – 3 екземплярів, ♀♀, прирічкові гірські луки, сухі луки на гірських схилах, на Арісеае, вид з євразійським азіодиз'юнктивним полізональним ареалом.

27. *Andrena semilaevis* Pérez, 1903 (= *Andrena saundersella* Perkins, 1915) – 1 екземплярів, ♀, прирічкові гірські луки, на Арісеае, на айстрових, вид з європейським полізональним ареалом.

28. *Andrena tarsata* Nylander, 1848* – 1 екземплярів, ♀, криволісся сосни альпійської, на айстрових, вид з європейським бореально-монтанним ареалом.

29. *Melitturga clavicornis* (Latreille, 1806)* – 1 екземплярів, ♀, вологі прирічкові луки, на конюшині, вид з євразійським полізональним ареалом. Оліготроф. Рідкісний.

30. *Panurgus banksianus* (Kirby, 1802) – 3 екземплярів, ♀♀, на вологих прирічкових луках, на узліссях ялинового лісу, на сухих луках на схилах, на айстрових, вид з європейсько-кавказьким полізональним ареалом.

31. *Panurgus calcaratus* (Scopoli, 1763)* – 1 екземплярів, ♀, субальпійські луки, на айстрових, вид з європейсько-кавказьким полізональним ареалом.

* – види нові для фауни Українських Карпат.

Серед виявлених видів було виявлено 4 рідкісних види і 3 види нових для фауни Українських Карпат, але відомих з інших територій України. Біотопічний розподіл виявлених видів наведено в табл. 1.

Як бачимо з наведених результатів найбільш багатю видами Andrenidae виявився біотоп прирічкових гірських лук – 22 виявлених види (табл. 1, рис. 1). Найменше було виявлено видів в ялиновому лісі та на субальпійських луках. Простежується висотний градієнт розподілу видових комплексів Andrenidae в умовах національного природного

**Біотопічний розподіл виявлених видів Andrenidae (Apoidea, Hymenoptera, Insecta)
в Національному природному парку Верховинський та на прилеглих територіях.
Позначення біотопів як в розділі Матеріали і методи**

N	Вид	Біотопи						
		A	B	C	D	E	F	G
1.	<i>Andrena apicata</i> Smith, 1847	+	+			+		
2.	<i>Andrena angustior</i> (Kirby, 1802)					+		
3.	<i>Andrena barbilabris</i> (Kirby, 1802)	+		+	+	+		
4.	<i>Andrena bicolor</i> Fabricius, 1775	+	+	+	+	+		
5.	<i>Andrena cineraria</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+		
6.	<i>Andrena clarkella</i> (Kirby, 1802)							+
7.	<i>Andrena coitana</i> (Kirby, 1802)					+	+	+
8.	<i>Andrena combinata</i> (Christ, 1791)	+	+	+	+	+	+	+
9.	<i>Andrena curvungula</i> Thomson, 1870	+	+	+	+	+	+	
10.	<i>Andrena denticulata</i> (Kirby, 1802)	+						
11.	<i>Andrena falsifica</i> Perkins, 1915	+	+					
12.	<i>Andrena floricola</i> Eversmann, 1852	+				+		
13.	<i>Andrena fucata</i> Smith, 1847	+	+	+		+	+	+
14.	<i>Andrena fuscipes</i> (Kirby, 1802)				+		+	+
15.	<i>Andrena haemorrhoa</i> (Fabricius, 1781)	+	+	+	+	+	+	+
16.	<i>Andrena hattorfiana</i> (Fabricius, 1775)				+			+
17.	<i>Andrena lapponica</i> Zetterstedt, 1838						+	+
18.	<i>Andrena nana</i> (Kirby, 1802)	+				+		
19.	<i>Andrena nigroaenea</i> (Kirby, 1802)	+	+		+	+		
20.	<i>Andrena nitidiuscula</i> Schenck, 1853		+	+	+			
21.	<i>Andrena ovatula</i> (Kirby, 1802)	+			+			
22.	<i>Andrena pandellei</i> Perez, 1903	+	+	+	+			
23.	<i>Andrena paucisquama</i> Noskiewicz, 1924	+			+	+		
24.	<i>Andrena pilipes</i> Fabricius, 1781	+	+					
25.	<i>Andrena praecox</i> (Scopoli, 1763)	+						
26.	<i>Andrena rosae</i> Panzer, 1801	+				+		
27.	<i>Andrena semilaevis</i> Pérez, 1903	+						
28.	<i>Andrena tarsata</i> Nylander, 1848						+	
29.	<i>Melitturga clavicornis</i> (Latreille, 1806)	+						
30.	<i>Panurgus banksianus</i> (Kirby, 1802)	+			+	+		
31.	<i>Panurgus calcaratus</i> (Scopoli, 1763)							+
Кількість виявлених видів		22	12	9	14	16	8	9

парку «Верховинський». Виявлено негативну кореляцію між числом виявлених видів і середньою висотою біотопу над рівнем моря ($\rho = -0,824$). Графіки лінійної та нелінійної кореляції наведені на рис. 2, 3.

Досліджено фауністичну спорідненість досліджених біотопів Національного природного парку «Верховинський» по видовим комплексам Andrenidae з використанням критеріїв Жарккара (%) та Сьоренсена. Результати дослідження наведені в табл. 3 та на рис. 4, 5. Як бачимо із наведених даних найбільш спорідненими фауністично по видовим комплексам Andrenidae виявились біотопи

букового лісу (B) та ялинового лісу (C) ($S = 61,54$; $K = 0,762$). Найменш спорідненими фауністично виявились біотопи гірських прирічкових лук (A) та субальпійських лук (E) ($S = 12,00$; $K = 0,194$).

Ареологічний аналіз показав, що серед виявлених видів більшість мала варіанти євразійського ареалу (14 видів) і 30 виявлених видів мали полізональний ареал поширення.

Висновки

1. У Національному природному парку «Верховинський» та на прилеглих територіях у 2002–2025 роках виявлено 31 вид бджіл-шахтарів

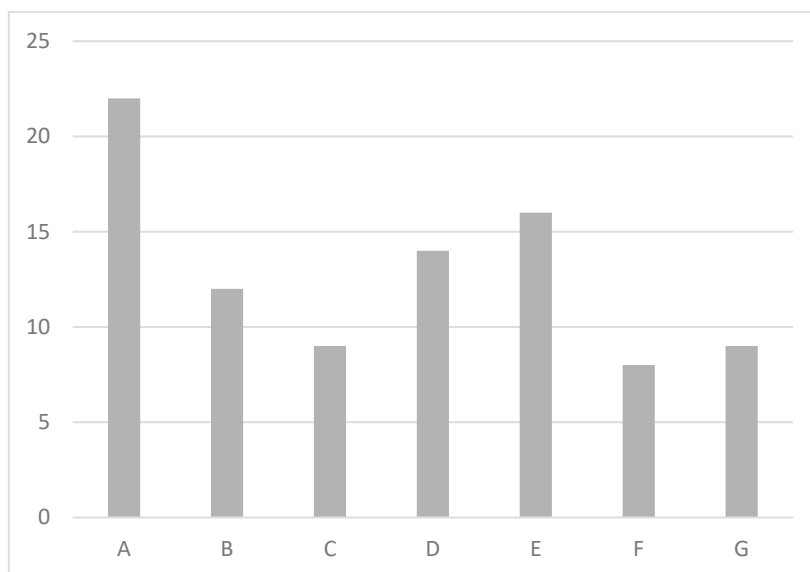


Рис. 1. Видове багатство різних біотопів Національного парку «Верховинський» та прилеглих територій по видовим комплексам Andrenidae. Показана кількість виявлених видів. Позначення біотопів як в розділі Матеріали і методи

Таблиця 2

Висотний градієнт розподілу видових комплексів Andrenidae в умовах Національного природного парку «Верховинський» та прилеглих територій

№	Biotope	Average altitude above sea level (m)	Number of species identified
1.	A	969	22
2.	E	1079	16
3.	B	1100	12
4.	C	1250	9
5.	D	1270	14
6.	F	1350	8
7.	G	1483	9
ρ			- 0,824

Таблиця 3

Фауністична спорідненість досліджених біотопів Національного природного парку «Верховинський» по видовим комплексам Andrenidae з використанням критеріїв Жаккара (S) (%) (зліва вгорі) та Сьоренсена (K) (справа внизу). Умовні позначення біотопів наведено вище

	A	B	C	D	E	F	G
A	-	45,45	34,78	50,00	58,33	15,38	12,00
B	0,647	-	61,54	44,44	33,33	25,00	16,67
C	0,516	0,762	-	53,33	38,89	30,77	20,00
D	0,611	0,615	0,696	-	42,86	22,22	15,00
E	0,737	0,571	0,560	0,600	-	26,32	13,64
F	0,267	0,400	0,471	0,273	0,417	-	54,55
G	0,194	0,286	0,333	0,348	0,320	0,706	-

(Andrenidae, Apoidea, Hymenoptera, Insecta). Серед виявлених видів 4 види рідкісні і 3 види нові для фауни Українських Карпат.

2. Простежується висотний градієнт у розподілі видових комплексів Andrenidae в умовах національного парку «Верховинський». Виявлено негативну

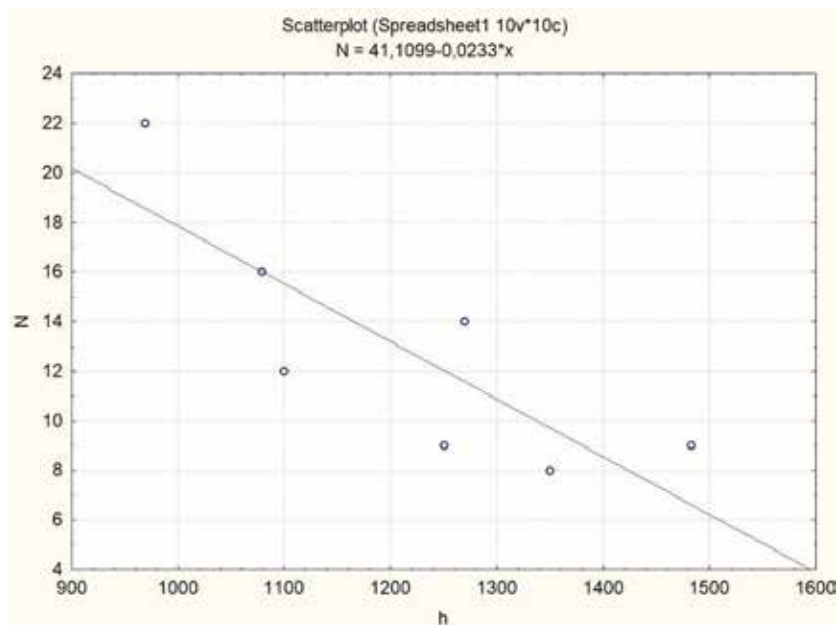


Рис. 2. Лінійна кореляція між середньою висотою біотопу (h) та кількістю виявлених видів *Andrenidae* (N) в умовах Національного природного парку «Верховинський»

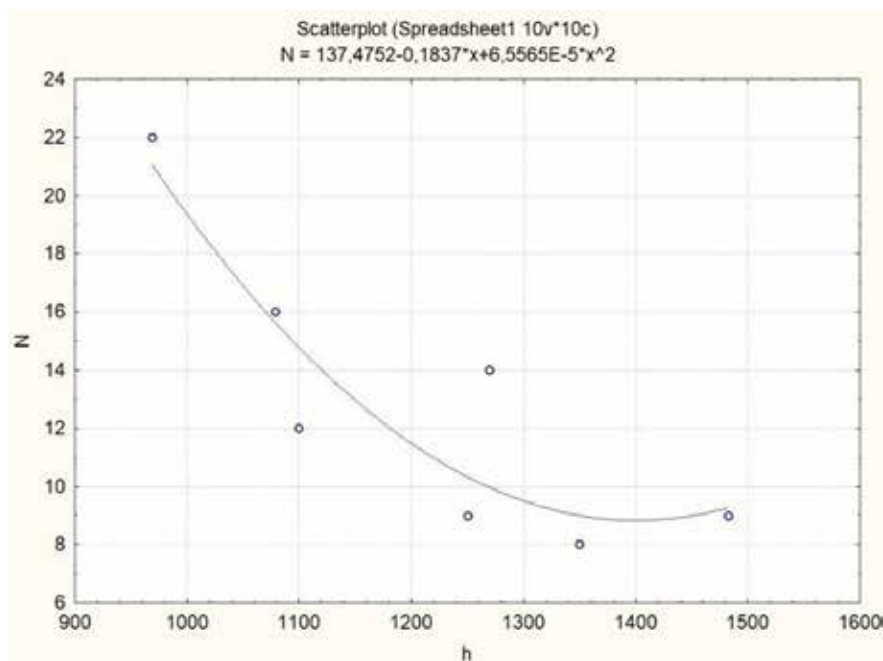


Рис. 3. Нелінійна (поліноміальна) кореляція між середньою висотою біотопу (h) та кількістю виявлених видів *Andrenidae* (N) в умовах Національного природного парку «Верховинський»

кореляцію між числом виявлених видів *Andrenidae* і середньою висотою біотопу над рівнем моря ($\rho = -0,824$).

3. Найбільш спорідненими фауністично по видовим комплексам *Andrenidae* виявились біотопи букового лісу (В) та ялинового лісу (С) ($S = 61,54$;

$K = 0,762$). Найменш спорідненими фауністично виявились біотопи гірських прирічкових лук (А) та субальпійських лук (Е) ($S = 12,00$; $K = 0,194$).

4. Серед виявлених видів більшість мали варіанти євразійського (14 видів) та полізонального (30) ареалів поширення.

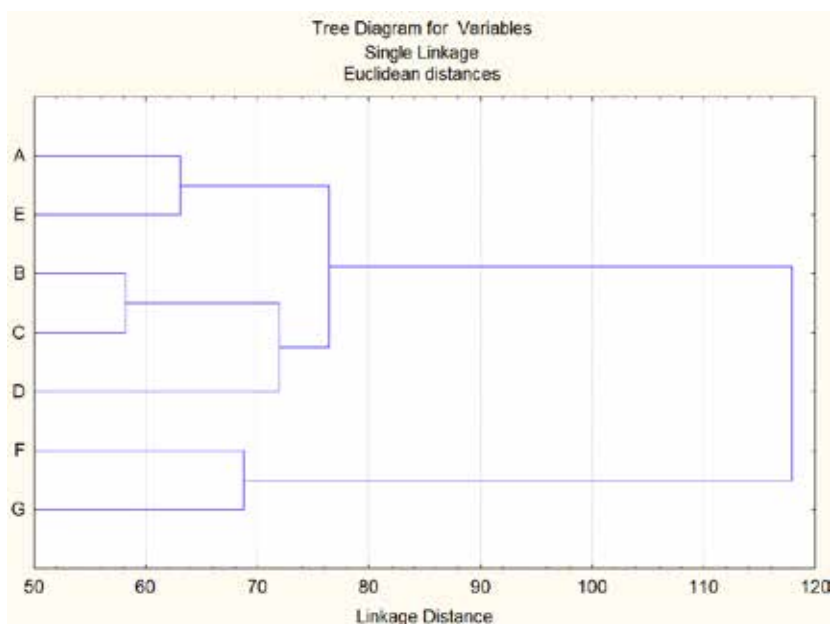


Рис. 4. Дендрограма фауністичних спорідненостей різних біотопів Національного парку «Верховинський» і прилеглих територій по видовим комплексам *Andrenidae* побудована на основі критерію Жаккара (S). Позначення біотопів наведено вище

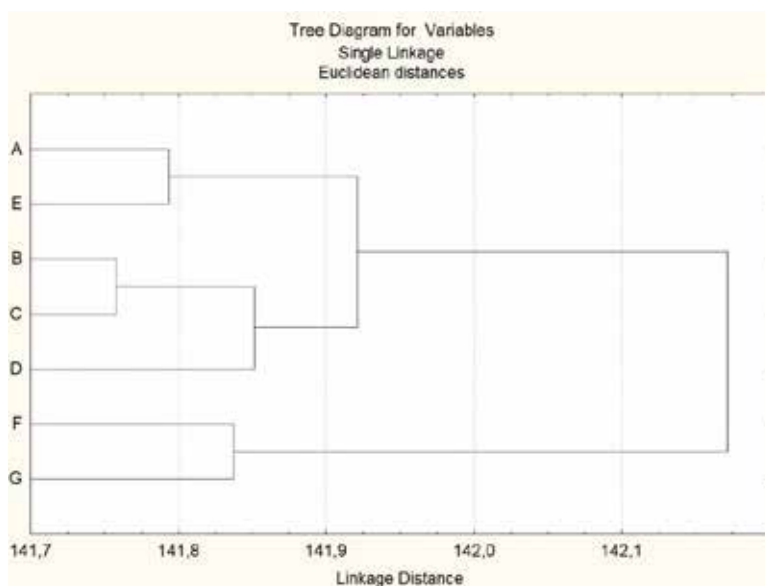


Рис. 5. Дендрограма фауністичних спорідненостей різних біотопів Національного парку «Верховинський» і прилеглих територій по видовим комплексам *Andrenidae* побудована на основі критерію Сьоренсена (K). Позначення біотопів наведено вище

Література

1. Бокотей О. М. Особливості екології диких бджолиних (Hymenoptera, Apoidea) Українських Карпат. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата біологічних наук: 03.00.16 / Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України. Київ, 2005. 15 с.
2. Осичнюк Г. З. Бджоли-андреніди. *Фауна України*. Т. 12. Випуск 5. Київ, 1977. 328 с.
3. Бокотей О. М. Дикі бджолині родини Colletidae (Hymenoptera, Apoidea) Українських Карпат. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. 2002. № 17. С. 89–92.
4. Бокотей О. М. Дикі бджолині родини Megachilidae (Hymenoptera, Apoidea) Українських Карпат. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. 2003. № 18. С. 85–92.

5. Wierzejski A. Przyczynek do fauny owadów blonkoskrzydłych. *Sprawozdanie Komisji Fizjograficznej. Towarzystwo Naukowe Krakowskie*. 1867. № 7. С. 253–273.
6. Wierzejski A. Dodatek do fauny blonkówek (Hymenoptera). *Sprawozdanie Komisji Fizjograficznej. Polska Akademia Umiejętności*. 1874. № 8. С. 253–273.
7. Marchiori C. Survey of knowledge of the Andrenidae Family (Insecta: Hymenoptera). *Qeios*. 2023. № 4. С. 1–39.
8. Szczepko-Morawiec K., Wiśniowski B., Motyka E., et al. (2024) Ecological amplitude and indication potential of mining bees (*Andrena* spp.): a case study from the post-agricultural area of the Kampinos National Park (Poland). *Scientific Reports*. 2024. № 14. С. 9738.
9. Wood T. Revision of the *Andrena* (Hymenoptera: Andrenidae) fauna of Bulgaria and North Macedonia with description of three new species. *Belgian Journal of Entomology*. 2021. № 117. С. 1–39.
10. Wood T., Praz C., Selis M., et al. Revisions to the *Andrena* fauna of Italy, with the description of a new species (Hymenoptera: Andrenidae). *Fragmenta entomologica*. 2023. № 55 (2). С. 271–310.
11. Wood T. Further revisions to the Palaearctic *Andrena* fauna (Hymenoptera: Andrenidae). *Zootaxa*. 2024. № 5483 (1). С. 22.
12. Zandigiacomo P., Fortunato L., Barbattini R., et al. (2013) Apoidea del Friuli Venezia Giulia e ditorrioni confinanti. III. Andrenidae. *Gortania*. 2013. № 34. С. 101–136.

Дата першого надходження рукопису до видання: 22.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

УДК 378.1:504.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.11>

ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ КУЛЬТУРИ ШКОЛЯРІВ ЧЕРЕЗ УЧАСТЬ В ЕКОЛОГІЧНИХ КОНКУРСАХ

Філенко О.М., Сакун А.О., Тихомирова Т.С., Босюк А.С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

Antonina.Sakun@khpi.edu.ua

Рівень екологічної культури визначає вектор розвитку суспільства та залежить від сукупності рівнів екологічної культури кожного члена суспільства. Без формування високого рівня екологічної культури та екологічної свідомості населення розвиток країни у відповідності до концепції сталого розвитку не можливий. Процес формування екологічної культури є складним та триває впродовж всього життя. Заклади освіти та оточення особистості відіграють ключову роль у формуванні екологічної культури.

Новизна даної роботи полягає в систематизації процесу організації конкурсів на екологічну тематику та опрацюванні результатів участі школярів з точки зору формування екологічної культури.

Актуальність дослідження пов'язана з необхідністю пошуку нових, сучасних методик та способів формування екологічної культури у школярів, які є цікавими для них й відповідають тенденціям молодіжних субкультур.

Практичний багаторічний досвід організації та проведення конкурсів на екологічні тематики для школярів дозволив сформулювати основні критерії для успішної реалізації таких заходів. Одним з головних критеріїв є добровільність участі школярів, що є запорукою того, що учасниками стануть виключно ті, кому екологічні проблеми дійсно близькі та хто вже замислюється над збереженням довкілля та має певний рівень екологічної свідомості та екологічної культури. Важливим є також побудова комунікаційної стратегії з використанням соціальних мереж для поширення інформації про конкурс. Конкурс відеоробіт на екологічну тематику є перспективним та сучасним форматом конкурсу, який відповідає молодіжному захопленню та моді фіксувати все на відеокамеру та поширювати у соціальних мережах. Видача сертифікатів (подяк, грамот) окремо директорам закладів освіти, окремо вчителям, які допомагають учням готувати роботи, та окремо учасникам – школярам, не тільки є відзнакою внеску чи шкалою успішності. Наявність сертифікатів може бути використано учасниками для підтвердження цілої групи soft skills (м'яких навичок), наприклад «креативність», «тайм менеджмент», «командна робота», «лідерство» тощо, що може стати у нагоді для школярів – при складанні перших академічних резюме чи резюме для пошуку роботи. *Ключові слова:* екологічна культура, екологічна свідомість, освіта задля сталого розвитку, екологічна компетенція, конкурс.

Practical experience in forming the environmental culture of schoolchildren through participation in environmental competitions. Filenko O., Sakun A., Tykomyrova T., Bosiuk A.

The level of ecological culture determines the direction of societal development and depends on each member of society's level of ecological awareness. Without a high level of ecological culture and environmental awareness among the population, it is not possible for the country to develop in accordance with the concept of sustainable development. The process of forming ecological culture is complex and continues throughout life. Educational institutions and the individual's environment play a key role in this process.

This work is novel in that it systematises the organisation of competitions on environmental topics and the processing of schoolchildren's participation results from the perspective of ecological culture formation.

The study's relevance lies in the need to find modern, engaging methods of forming ecological culture in schoolchildren that correspond to youth subculture trends.

Our many years of practical experience in organising and conducting environmental competitions for schoolchildren have enabled us to formulate the main criteria for successfully implementing such events. One of the main criteria is voluntary participation, which guarantees that only those with a genuine interest in environmental issues and a certain level of environmental awareness and culture will participate. It is also important to develop a communication strategy that uses social networks to publicise the competition. A competition for video works on environmental topics is a modern and promising format, corresponding to the enthusiasm and fashion among young people to record everything on video and share it on social networks. Certificates (gratitude, diplomas) should be issued separately to principals, teachers who help students prepare works, to participants – schoolchildren. Such certificates is not only a distinction of contribution or success scale. The presence of certificates can be used by participants to confirm a whole group of soft skills, such as “creativity”, “time management”, “teamwork”, “leadership”, etc., which can be useful for schoolchildren when compiling their first CV or resume. *Key words:* ecological culture, ecological awareness, education for sustainable development, ecological competence, competition.

Постановка проблеми. Формування екологічної культури – це багаторівневий та тривалий процес, у кому ключову роль відіграють заклади освіти та оточення особистості. Знання, навички та вміння, які є основою для формування певного рівня екологіч-

ної культури та екологічної свідомості, набуваються як під час формальної освіти у закладах освіти, так й під час неформальної та інформальної освіти. Стверджувати, що якийсь з способів формування екологічної культури є пріоритетним чи головним не

коректно, джерела формування екологічної культури скоріш доповнюють один одного. Одним з джерел, які формують екологічну свідомість та сприяють підвищенню рівня екологічної культури, є конкурси на екологічні тематики. Організація та проведення таких конкурсів має свої особливості, особливо під час дії військового стану.

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження пов'язана з необхідністю пошуку нових, сучасних методик та способів формування екологічної культури у школярів, які є цікавими для них й відповідають тенденціям молодіжних субкультур.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження пов'язана з практичною реалізацією засад державної політики у сфері освіти та принципи освітньої діяльності, закріплених у ст. 6 Закону України «Про освіту» [1], у якій формування культури здорового способу життя, екологічної культури і дбайливого ставлення до довкілля є одним з обов'язкових елементів освіти в цілому, а також сприяє формуванню обов'язкової екологічної компетенції, яка необхідна для досягнення мети повної загальної середньої освіти, як зазначено у ст. 12 цього ж закону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Екологічна компетенція формується у школярів під час формалізованих уроків та позашкільних активностей, набуваючи головного значення для формування загальної екологічної культури та екологоорієнтованої поведінки. Діяльнісний підхід до формування екологічної компетенції є важливим механізмом реалізації екологічної освіти, особливо для школярів молодшого віку, оскільки через діяльність дитина пізнає навколишній світ і набуває досвіду природоохоронної поведінки [2]. Серед методологічних засад формування екологічної компетентності школярів автори [3] виділяють безперервність формування компетенції, а компонентами сформованості виступає єдність когнітивний компоненту, операційно-діяльнісного компоненту та емоційно-ціннісного компоненту. Автор [4] наголошує, що екологічна свідомість та екологічна культура починає формуватися ще у дошкільному віці, проведені ним дослідження європейського досвіду показали що традиційні форми, методи та прийоми роботи з дітьми під час ознайомлення їх з природним довкіллям є малоефективними. Деякі дослідники, наприклад [5] пропонують зосереджуватися на творчих завданнях для формування екологічної компетентності. Активно розвиваються дослідження проблеми та підходів до формування екологічної компетенції для школярів з інтелектуальними порушеннями, що свідчить про глибоку інтеграцію дітей з особливими освітніми потребами у сучасну освіту [6].

Проектний підхід до формування екологічної компетентності школярів старшого віку є най-

більш інноваційним методом на думку авторів [7], інші інноваційні способи формування екологічної культури у школярів, зокрема через участь у т.з. «зелених» школах проаналізовані авторами у [8], нові формати проведення конкурсів для фізики та математики, які можуть бути адаптовані для інших шкільних дисциплін, в тому числі екології, запропоновані авторами [9].

Використання сучасних цифрових інструментів та мобільних пристроїв при вивченні природничих дисциплін, наприклад «Біологія та екологія», «Екологія» на думку деяких дослідників здатне суттєво підвищити як зацікавленість здобувачів до процесу навчання, так й розширити варіативність завдань та забезпечити індивідуальну освітню траєкторію кожного здобувача [10–12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Практичні аспекти реалізації екологічних конкурсів для школярів та їх вплив на формування екологічної культури є малодослідженими. Дана стаття присвячена узагальненню практичного досвіду реалізації різноманітних типів та видів конкурсів на екологічну тематику для школярів, які реалізовувались вищим начальним закладом не педагогічного спрямування.

Новизна. Новизна даної роботи полягає в систематизації процесу організації конкурсів на екологічну тематику та опрацюванні результатів участі школярів з точки зору формування екологічної культури.

методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення полягає у можливості використання запропонованого підходу до організації та проведення конкурсів на екологічну тематику серед школярів.

Викладення основного матеріалу. Кафедрою хімічної техніки промислової екології НТУ «ХПІ» вже понад 10 років проводиться конкурс есе, коміксів, проєктів та плакатів на екологічну тематику для школярів (далі – конкурс). До пандемії коронавірусу та повномасштабного вторгнення конкурс складався з двох етапів, на першому журі оцінювало роботи заочно, а кращі роботи представлялись учнями на другому очному етапі. Кожного року розширювалась географія учасників та їх кількість. Приймались як індивідуальні, так й колективні роботи.

Головною відмінною конкурсу від інших є добровільність участі та обов'язкові сертифікати всім учасникам. Конкурс не внесений до запланованих регіональними департаментами освіти чи Міністерством освіти та науки. До участі допускались як заклади середньої освіти, так й заклади позашкільної освіти – екологічні гуртки, секції при центрах дитячої та юнацької творчості тощо. Видача сертифікатів (подяк, грамот) окремо директорам закладів освіти, окремо вчителям, які допомагають учням готувати роботи, та окремо учасникам – школярам,

не тільки є відзнакою внеску чи шкалою успішності. Наявність сертифікатів може бути використано учасниками для підтвердження цілої групи soft skills (м'яких навичок), наприклад «креативність», «тайм менеджмент», «командна робота», «лідерство» тощо, що може стати у нагоді для школярів – при складанні перших академічних резюме чи резюме для пошуку роботи.

Одним з факторів поширеності конкурсу стала вдала вибудована комунікаційна стратегія, яка складалась з наступних елементів:

1) Поширення інформації про конкурс через соціальні мережи шляхом розміщення оголошень на офіційних сторінках закладів освіти у соціальних мережах. Такий підхід набагато ефективніший ніж листування електронною поштою. У соціальних мережах на офіційну сторінку закладів освіти, як правило, підписані всі вчителі, частина батьків та учнів. Таким чином ініціатива щодо участі у конкурсі походить від учнів та вчителів, а не нав'язується керівниками.

2) Залучення до участі не тільки вчителів з біології, хімії та екології, а й з інших предметів. Наприклад, конкурс есе є цікавим творчим завданням при вивченні української мови та іноземних мов, створення коміксу – при вивченні інформатики, створення плакату – образотворчого мистецтва, дизайну та технологій.

3) Поширення інформації про конкурс у спільнотах освітян на локальних рівнях, наприклад, у групах «Вчителі біології» у соціальних мережах.

4) Поширення інформації про конкурс на ресурсах екологічних організацій, об'єднань та компаній, які позиціонують себе як ековідповідальні.

5) Зворотній зв'язок при подачі робіт з організаторами конкурсу був швидкий та на високому професійному рівні.

Наведена стратегія вимагає від організаторів конкурсу тривалої комунікації у соціальних мережах з метою отримання дозволу на розміщення інформації на ресурсах інших компаній, проте вкладені

зусилля відбиваються у збільшенні кількості поданих робіт.

Для формування екологічної культури школярів через дослідницькі активності необхідно постійно змінювати зміст та форми таких активностей, а також враховувати тенденції розвитку суспільства та підліткових субкультур. Одним з напрямків сучасного культурного життя є створення відеороликів різної тривалості та на різноманітні тематики. При цьому доступність безкоштовних версій відеоредакторів у смартфонах та простота їх використання сприяють розвитку високого рівня майстерності у відеомонтажі та створенні робіт, які поєднують динамічний рух та статичні зображення (поєднання фото та відеоматеріалів в одному проєкті).

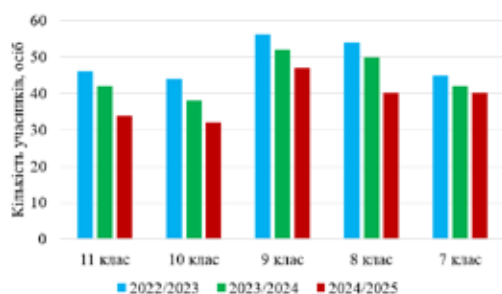
Проаналізувавши дані щодо участі школярів у традиційному конкурсу есе, плакатів та коміксів за останні три навчальні роки (рис. 1а), у 2024/2025 році було прийнято рішення провести додатковий окремий конкурс відеороликів на екологічну тематику з метою залучення великої кількості учасників.

Загалом надійшло 250 готових відеоробіт, переважна кількість від учнів 9–11 класів (рис. 2а).

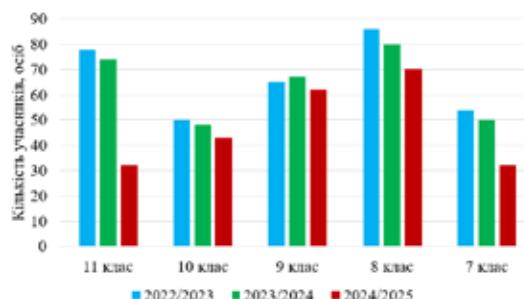
Переважна більшість робіт – це індивідуальні роботи, проте колективні роботи також присутні (рис. 2б). Найактивнішими регіонами стали Харківська та Дніпропетровська області (рис. 2в). Усі роботи були розділені на п'ять категорій, хоча під час оголошення конкурсу обмежень щодо теми, якій повинна бути присвячена відеоробота, не було.

Категорія № 1: екологічні наслідки військових дій – руйнівний вплив війни на довкілля та можливість його відновлення. До цієї категорії було віднесено 19 робіт. Для школярів це доволі нова тема та напрямок екологічних досліджень. Наявність робіт на таку тематику засвідчує зацікавленість молоді у сталому розвитку суспільства під час післявоєнної відбудови.

Категорія № 2: екологічні проблеми в містах та селах – забруднення повітря, води, ґрунтів, проблеми утилізації відходів у різних регіонах. У цій категорії було визначено 34 роботи. Для формування високого



а



б

Рис. 1. Динаміка зміни кількості учасників конкурсу

а – кількість есе поданих на конкурс; б – кількість коміксів та плакатів, поданих на конкурс

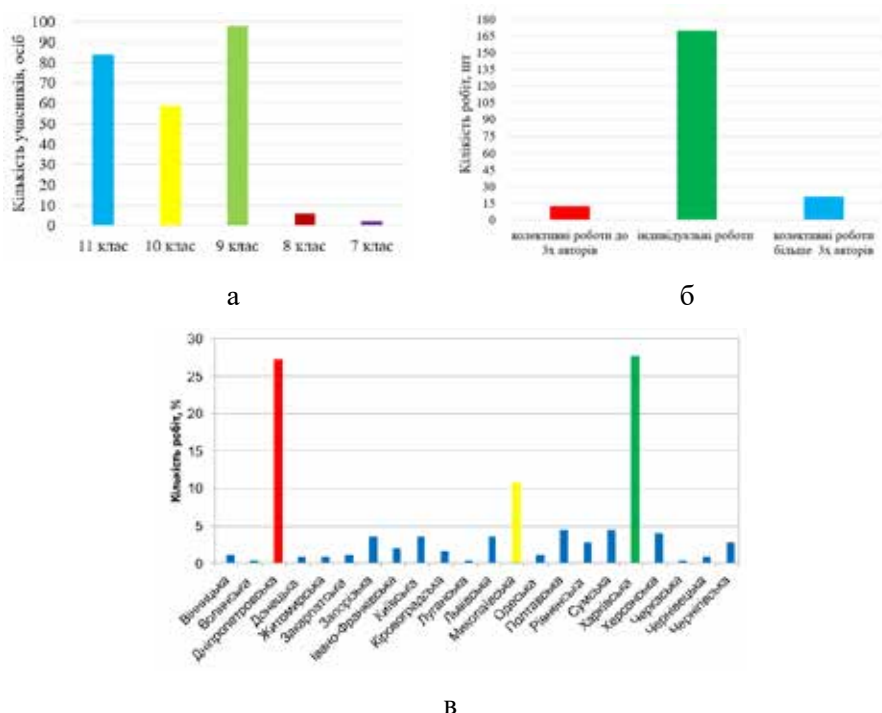


Рис. 2. Учасники конкурсу відеоробіт на екологічну тематику

рівня екологічної культури необхідно, перш за все, розуміння змісту екологічної проблеми, її фіксація та вплив на людину саме у місці її постійного проживання. З цієї точки зору роботи даної категорії сприяють підвищенню загального рівня обізнаності школярів та їх оточення про локальні екологічні проблеми та розумінню наближеності екологічної проблеми до людини.

Категорія № 3: екологічні проблеми навколишнього середовища – збереження біорізноманіття, знищення природних екосистем, зміни клімату. У цій категорії виділено найбільшу кількість робіт – 98. Переважна більшість робіт стосувались проблеми збереження біорізноманіття та стану зелених насаджень на локальному рівні. Зміна клімату є найменш охопленою тематикою, що може свідчити про відсутність розуміння значущості проблеми зміни клімату школярами.

Категорія № 4: забруднення довкілля внаслідок накопичення змішаних відходів – шляхи зменшення побутових відходів, їх переробка та повторне використання. 40 робіт були присвячені проблемі відходів, сталого поводження з ними. У роботах надавались приклади сталих практик у громадах по відношенню до сортування відходів, їх вторинного використання. Роботи у цій категорії засвідчили глибоке розуміння проблем, які виникають внаслідок неправильного поводження з твердими побутовими відходами, їх накопиченням та відсутністю сортування.

Категорія № 5: Соціальна екологія – роль людини в захисті природи, відповідальне споживання та еко-

логічна етика. У даній категорії було виділено всього 12 робіт.

Головні висновки. Активізація дослідницької діяльності школярів при формуванні екологічної компетенції можливо через їх залучення до різноманітних конкурсів. Формат проведення конкурсів повинне відповідати сучасним тенденціям розвитку суспільства та молодіжних субкультур. Практичний багаторічний досвід організації та проведення конкурсів на екологічні тематики для школярів дозволив наступні висновки:

1. Добровільність участі школярів є запорукою того, що учасниками стануть виключно ті, кому екологічні проблеми дійсно близькі та хто вже замислюється над збереженням довкілля та має певний рівень екологічної свідомості та екологічної культури.

2. Важливим є побудова комунікаційної стратегії з використанням соціальних мереж для поширення інформації про конкурс.

3. Конкурс відеоробіт на екологічну тематику є перспективним та сучасним форматом конкурсу, який відповідає молодіжному захопленню та моді фіксувати все на відеокамеру та поширювати у соціальних мережах.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонована комунікаційна модель може бути використана при проведенні інших конкурсів для школярів. Ідеї конкурсу відеоробіт для школярів на екологічну тематику може бути використана як для інших тем, так й для більш специфічних тем, наприклад конкурс виключно про проблеми поводження з відходами.

Література

1. Про освіту : Закон України від 05 вересня 2017 р. № 2145-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2017. № 38–39. Ст. 380.
2. Павлова Т. С. Формування екологічної компетентності молодших школярів: діяльнісний підхід. *Acta Paedagogica Volyniensis*. 2024. № 1. С. 42–51.
3. Толочко С. В., Бордюг Н. С. Методологічні засади формування екологічної компетентності школярів. *Теоретико-методичні проблеми виховання дітей та учнівської молоді*. 2022. Т. 2, № 26. С. 140–152.
4. Карук І. В. Екологічна освіта та виховання дошкільників як пріоритетний напрям розвитку культури європейського суспільства. *Наука і техніка сьогодні*. 2023. № 9 (23). С. 320–329.
5. Мороченець О. В. Формування екологічної компетентності молодших школярів у процесі вивчення інтегрованого курсу «Я досліджую світ». *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації*. 2024. № 102. С. 69–72.
6. Скакодуб Т., Блеч Г. До проблеми формування екологічної компетентності у школярів з порушеннями інтелектуального розвитку. *Особлива дитина: навчання і виховання*. 2024. Т. 114, № 2. С. 101–129.
7. Трутень А. В., Толочко С. В. Інноваційні методи та технології у формуванні екологічної компетентності в учнів старших класів. *Вісник науки та освіти (Серія: Філологія, Педагогіка, Соціологія, Культура і мистецтво, Історія та археологія)*. 2024. Т. 5 (23). С. 1525–1540.
8. Казьмірчук Н., Карук І., Стахова І. Інноваційні технології формування екологічної культури: європейський тезаурус. *Наука і техніка сьогодні*. 2024. № 6 (24).
9. Чашечникова О., Ольшанська А. Нові формати проведення конкурсів з математики та фізики як один із шляхів подолання освітніх втрат. *Актуальні питання природничо-математичної освіти: збірник наукових праць*. 2024. Вип. 1 (23). С. 194–200.
10. Скрипник С., Федчук І. Особливості впровадження мобільного навчання на уроках «Біології і екології» у 10 класі. *Психолого-педагогічні проблеми сучасної школи*. 2023. № 2 (10). С. 114–120.
11. Тихомирова Т.С., Шестопалов О.В., Новожилова Т.Б., Босюк А.С., Чікірякін К. В. Використання інструментів «Kahoot!» в освітній діяльності для формування екологічної культури та екологічної свідомості молоді. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2025. № 1. С. 119–129.
12. Белан В.Ю. Використання технологій змішаного навчання для підготовки студентів екологічних спеціальностей на прикладі Національного транспортного університету. *Екологічна безпека та раціональне природокористування: Матеріали Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених, 14 листопада 2024 р. Житомир: Житомирська політехніка*, 2024. С. 275–278.

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ІНВАЗІЙНОГО ВИДУ, АЗІАТСЬКОГО ШЕРШНЯ *VESPA VELUTINA* (HYMENOPTERA: VESPIDAE) В ЄВРОПІ ТА МОЖЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ В УКРАЇНІ ЯК РЕАЛЬНОЇ ЗАГРОЗИ БДЖІЛЬНИЦТВУ

Фурсов В.М.¹, Клименко С.І.¹, Крешун Р.М.²

¹Інститут зоології імені І.І. Шмальгаузена Національної академії наук України
вул. Богдана Хмельницького, 15, 01054, м. Київ

²BTU Biotech company

Вінницька обл., Гайсинський р-н, м. Ладижин

ufensia@gmail.com, fiaska.kyiv@gmail.com, rostyslavkreshun@gmail.com

Проведено аналіз сучасних літературних джерел щодо морфології, біології, екології, трофіки, поширення азіатського шершня, *V. velutina*, у світі та Європі, можливості його інвазії і прогнозу поширення в Україні, оцінка впливу на місцеву ентомофауну та на рівень загрози бджільництву в Україні, а також огляд варіантів моніторингу і контролю популяцій *V. velutina*. У статті розглядається сучасний стан досліджень про цей вид, описується його життєвий цикл та стадії життєвого циклу (розмноження, зимівля, формування, розселення). У статті розглядається вплив цього виду на екосистеми, економіку бджільництва та здоров'я людини (ужалення шершнів *V. velutina* потенційно смертельно небезпечно для людей з алергією). В статті обговорюються сучасні комп'ютерні кліматичні моделі розподілу видів (species distribution model, або SDM) за сучасними та майбутніми кліматичними сценаріями, що дозволяє конкретно оцінити потенційні тенденції ризику інвазії *V. velutina* в Україні. Ці моделі виявилися корисними інструментами для прогнозування розповсюдження інвазійного виду *V. velutina* в різних областях України. Обґрунтовано високу імовірність появи і поширення *V. velutina* в Україні, що становить значну загрозу бджільництву в Україні. Результатами статті встановлено необхідність найскорішої розробки методології щодо 1) визначення, встановлення суворих карантинних заходів та запобігання інтродукції *V. velutina* в Україні, 2) раннього виявлення його можливої присутності, 3) знищення популяцій на початковій стадії інвазії, 4) контролю популяцій для обмеження та пом'якшення його впливу. Застосування превентивних заходів боротьби допоможе обмежити руйнівний вплив небезпечного інвазійного виду, азіатського шершня *V. velutina*, на бджільницьку галузь та сільське господарство в цілому в Україні, особливо в умовах сучасних кліматичних та екологічних викликів. **Ключові слова:** *Vespa velutina*, Vespidae, азіатський шершень, інвазійний, карантин, загроза, бджільництво.

The spread of the invasive species, the Asian hornet *Vespa velutina* (Hymenoptera: Vespidae) in Europe and the possibility of its spread in Ukraine as a real threat to beekeeping industry. Fursov V., Klymenko S., Kreshun R.

The detailed review of literature data was undertaken to provide an analysis of the morphology, biology, ecology, trophic relations and distribution of the Asian hornet, *V. velutina*, in the world and Europe, the possibility of its invasion and the forecast of its spread in Ukraine, an assessment of the impact on local fauna and the level of threat to beekeeping industry in Ukraine, and an overview of options for monitoring and controlling *V. velutina* populations. The article reviews the current knowledge of this species, describes its life cycle and life history stages (reproduction, overwintering, forging and dispersal). The article reviews the impact of this species on ecosystems, on the economics of beekeeping, and on human health (*V. velutina* is potentially deadly for allergic people). The article discusses modern computer climate models of species distribution (SDM) under current and future climate scenarios, which allows to specifically assess potential trends in the risk of invasion of *V. velutina* in Ukraine. These models are proposed as useful tools for predicting the spread of invasive species, *V. velutina*, in different regions of Ukraine. It is established that the high probability of the appearance and spread of *V. velutina* in Ukraine poses a significant threat to beekeeping industry in Ukraine. The results of study of the article emphasize an urgent necessary to develop a methodology for 1) correct identification, use of quarantine measures and prevention of the introduction of *V. velutina* in Ukraine, 2) early detection of its possible presence, 3) destruction of populations at the initial stage of invasion, 4) control of populations to limit and mitigate its impact. The application of preventive control measures will help to limit the destructive influence of dangerous invasive species of Asian hornet, *V. velutina*, on beekeeping industry and agriculture as a whole in Ukraine, especially in the situation of current climate and ecological challenges. **Key words:** *Vespa velutina*, Vespidae, Asian hornet, invasive, quarantine, threat, beekeeping.

Постановка проблеми. Азіатський шершень (*Vespa velutina* Lepelletier, 1836), також відомий як жовтоногий шершень, є видом соціальних ос родини Vespidae (Hymenoptera), що походить із південно-східної Азії та зустрічається в Афганістані, Бангладеш, Бутані, Китаї, Гонконзі, Індії, М'янмі, Непалі, Пакистані, Тайвані, Таїланді, Індонезії (до о. Східний Тимор), Малайзії, Лаосі та В'єтнамі [1].

Цей вид є інтродукованим і широко розповсюдженим у ряді країн Європи та Азії інвазійним чужорідним видом соціальних ос (Vespidae, Hymenoptera). Його поширення створює відповідні екологічні та соціально-економічні наслідки. Вплив на навколишнє середовище несе загрози місцевому біорізноманіттю комах-запилювачів. Соціально-економічні наслідки включають загрози для сектора бджіль-

ництва, економічні наслідки (витрати на ліквідацію гнізд шершнів), соціальні проблеми та проблеми зі здоров'ям. Вид налічує 12 кольорових підвидів у своєму рідному ареалі, чотири на материк (auraria, divergens, variana, i nigrithorax, останній був завезений в Європу, Південну Корею та Японію) і вісім на островах (ardens, celebensis, flavitarsus, floresiana, karyni, sumbana, timorensis, velutina) [2].

Актуальність дослідження. Однією з головних небезпек, яку несе *V. velutina* як інтродукований вид, називають загрозу для людини. Укус *V. velutina* дуже болючий, а для людей, які схильні до сильних алергічних реакцій – смертельно небезпечний [3]. Крім того, імаго шершнів *V. velutina* активно полюють на домашніх медоносних бджіл (*Apis mellifera*), що завдає значних втрат бджільництву та веде до масової загибелі бджолиних колоній. Азіатські шершні живуть колоніями від кількох сотень до кількох тисяч особин. Їхні гнізда зроблені з целюлози і будуються над землею на гілках дерев. Раціон живлення личинок шершнів складається з членистоногих, зокрема комах, які використовуються як джерело білка, на додаток імаго шершнів живляться нектаром з квітів, медовою росю, стиглими фруктами, соком рослин та іноді штучними солодкими речовинами (цукром та ін.) [4]. Цей вид є одним із найбільш інвазійних видів шершнів. В Азії він був завезений на північ до Південної Кореї (в 2003 році), де став інвазійним, і, також натуралізувався на японському острові Цусіма між 2010 і 2012 роками і приблизно в 2015 році на острові Кюсю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями підтверджено, що в Європі азіатський шершень був вперше випадково завезений до Франції з товарами з Китаю в 2004 році. Вперше виявлений у департаменті Лот і Гаронна в 2004 році [5], у наступні роки вид почав поширюватися в сусідніх департаментах, колонізуючи територію 190 000 км² до 2010 року, 360 000 км² до 2012 р. і майже вся країна до 2017 р. [6]. У районі західної Франції щільність гнізд зростає в період 2007–2014 рр. до 4,81 гнізд/км² (враховуючи як міські, так і не міські райони) і до 10,23–12,26 гнізд./км² з урахуванням лише міських територій [7]. Цей інвазійний вид шершнів швидко поширився в Іспанії (2010), Португалії (2011), Італії (Лігурія, П'ємонт, Ломбардія) (2012), Великобританії (південна Англія, о. Джерсі та о. Олдерні) (2016), Бельгії (2017), як Нідерландах, Швейцарії та Люксембургу (2020) зі швидкістю від 78 до кількох сотень миль на рік [3, 8, 6]. Азіатський шершень (*V. velutina*) також був завезений на деякі середземноморські острови, включаючи Балеарські острови (о. Майорка) в Іспанії, острови Греції і Кипр [9]. Зараз поширення *V. velutina* досягло півночі Європи аж до південно-західної і північної Німеччини (Франкфурт, Гамбург), що представляє найпівнічнішу зону поширення виду та демонструє його значний інвазійний потенціал. Імаго *V. velutina* (загибле) було знайдене

у Сполучених Штатах (штаті Юта) у 2020 році [10], але у 2023 році також були знешкоджені 2 великих гнізда азіатських шершнів у штаті Джорджія [11, 12].

Новизна. Вперше проведена оцінка імовірності появи і поширення інвазійного виду, малого азіатського шершня *V. velutina*, можливості його інвазії і прогнозу поширення в Україні, як значної загрози бджільництву. Вперше проведено сучасний аналіз морфології, біології, екології, трофіки, поширення *V. velutina* у світі та Європі. Проведено оцінку впливу шершня *V. velutina* на місцеву ентомофауну та на рівень загрози бджільництву в Україні. Вперше проаналізовано варіанти моніторингу і контролю популяцій *V. velutina* в Україні. Вперше запропоновано розробити методологію щодо запобігання інтродукції *V. velutina* в Україні, раннього виявлення його можливої присутності, знищення популяцій на початковій стадії інвазії, та контролю популяцій.

Матеріал та методи. Проведено аналіз сучасних літературних та Інтернет-джерел щодо особливостей морфології, біології, екології, трофіки, поширення *V. velutina* у світі та Європі, можливості його інвазії і прогнозу поширення в Україні, оцінки впливу на місцеву ентомофауну та на рівень загрози бджільництву в Україні, і огляд варіантів моніторингу і контролю популяцій *V. velutina*.

Викладення основного матеріалу. Вид *V. velutina* Lepeletier, 1836 є одним із найбільш інвазійних серед справжніх шершнів роду *Vespa* завдяки своїй поведінковій пластичності та широким джерелам їжі. Визначити географічне походження перехоплених азіатських шершнів непросте справа. Вид *V. velutina* варіабельний у своєму забарвленні настільки, що принаймні 17 підвидів або інших названих таксонів були описані для регіональних варіацій, знайдених у південно-східній Азії [4, 13]. Забарвлення коливається від майже повністю жовтого або помаранчевого до переважно чорного і може змінюватися навіть у межах популяції [13]. Недавнє дослідження з використанням мітохондріальної ДНК і мікросателітних локусів показало, що кольорні візерунки не відповідають чітко генетичній структурі всередині виду [13]. Генетичний аналіз ідентифікував дві різні групи: одну з материкових ос з Китаю, Південно-Східної Азії, Непалу, Кашміру та північного Пакистану; інший з островів Індонезії, але кольорові візерунки поділяються паралельно або конвергентно, що свідчить про те, що колір сам по собі не може бути хорошим маркером щодо географічного походження. Метод геометричного морфометричного аналізу візерунків жилкування крил може використовуватися як допоміжний засіб для таксономічної ідентифікації крилатих комах. Було показано, що він має значний потенціал для розрізнення кольорних морф азіатських шершнів [13, 14].

Було встановлено та досліджено 12 різних кольорних морф шершнів *V. velutina*, які співіснують в Індії, Непалі, Китаї, Тайвані, В'єтнамі, Лаосі,

М'янмі, Малайзії, Індонезії [14]. Було вивчено морфологічну мінливість таких 14 таксонів: *V.v. var. velutina* Lepeletier, 1836; *V.v. var. auraria* Smith, 1852; *V.v. var. ardens* du Buysson, 1905; *V. auraria var. nigrithorax* du Buysson, 1905; *V.v. var. celebensis* Pérez, 1910; *V. mongolica var. divergens* Pérez, 1910; *V. flavitarsus* Sonan, 1929; *V. auraria flavitarsis* Ma, 1937; *V.v. floresiana* van der Vecht, 1957; *V.v. karnyi* van der Vecht, 1957; *V.v. sumbana* van der Vecht, 1957; *V.v. timorensis* van der Vecht, 1957; *V.v. variana* van der Vecht, 1957; *V. v. pruthii* van der Vecht, 1959.

Підвид, інтродукований у Європі та інших країнах Азії, де вид не є місцевим, це *Vespa velutina nigrithorax* du Buysson, 1905. Цей підвид характеризується мезотораксом від темно-коричневого до майже чорного кольору. Черевце самок, яке складається з шести видимих тергітів, які відповідають II–VII гастральним тергітам, характеризується трьома майже чорними тергітами (II–IV) з жовтим апікальним краєм, V-й тергіт майже жовтого, та VI–VII тергіти чорного кольору. Ноги темні, за винятком лапок жовтого кольору. Дорсальна та вентральна частини вусиків відповідно чорні та темно-коричневі. Відсутність жала і довші антени дозволяють відрізнити самців від робочих і маток. Маса тіла є ознакою кастової диференціації між робочими особами (середнє $\pm$ SD сирого ваги коливається від $188,8 \pm 44,9$ мг у червні до $386,4 \pm 88,3$ мг у листопаді) від маток (від $624 \pm 15,2$ мг у вересень до $721,3 \pm 73,2$ мг у листопаді) [15].

Життєвий цикл колонії *V. velutina* можна розділити на чотири різні фази: базову, робочу, репродуктивну та проміжну. Весною матки, які пережили зиму, починають будувати початкове гніздо невеликого розміру, яке складається з одного стільника і використовується маткою для відкладання яєць перших робочих [3]. Спостереженнями вказана тривалість стадій розвитку в 48,1 дня (13 днів для яєць, 15,8 днів для личинок і 19,3 днів для запечатаного розплоду) [2]. Під час робочої фази робочі особини, які з'явилися, сприятимуть розвитку колонії, збільшуючи гніздо, збираючи їжу для годування розплоду, захищаючи колонію від ворогів, сприяючи очищенню та вентиляції гнізда [16]. Репродуктивна фаза починається з появи самців, що зазвичай відбувається з початку вересня, приблизно за 15 днів до появи молодих королев (потенційних репродуктивних самок). Репродуктивні касты досягли максимальної чисельності в листопаді (середня кількість маток: $191 \pm 195,7$), і більшість із них покинули колонію до кінця листопада [15]. Протягом зими колонія поступово руйнується, хоча в Іспанії гнізда, відновлені в січні, все ще містили живі екземпляри, включно з матками [16]. Зимові активні колонії також спостерігалися в Італії. Розміри колонії змінюються протягом року і загальна кількість особин, вироблених за рік колоніями, зростає в середньому до 6151 особин у листопаді, з максимальним значен-

ням 13340 особин [17]. Найбільші колонії *V. velutina* значно перевищують розмір найбільших колоній європейського шершня *V. crabro* [2]. Таким чином, *V. crabro* навряд чи може конкурувати з величезними колоніями *V. velutina* [17]. Початкове гніздо, побудоване королевою, робочі особини *V. velutina* іноді можуть перемістити протягом річного життєвого циклу колонії. Коли колонія переміщується, її зазвичай називають вторинним гніздом, щоб відрізнити його від основного гнізда.

Присутність *V. velutina* за межами його рідного ареалу викликає занепокоєння через численні впливи, які цей вид може спричинити на місцеве біорізноманіття. Це може статися завдяки поєднанню різних механізмів: хижацтво, конкуренція та зміна екосистем з участю комах-запилювачів. Вид полює на інших комах для вигодовування розплоду, діючи як хижак широкого профілю [18,19]. Аналіз раціону *V. velutina* у Франції показав, що одна колонія може полювати на 159 різних видів (11 рядів і 43 родин комах, три родини павуків і чотири родини хребетних), споживаючи до 11,32 кг біомаси комах за один сезон. Серед комах переважно споживаними жертвами є перетинчастокрилі (60,1%), зокрема медоносні бджоли (38,1%) і соціальні оси (19,7%), за ними йдуть двокрилі (29,9%) та інші менш поширені групи, такі як лускокрилі, напівтвердокрилі, твердокрилі, прямокрилі та мухи скорпіоніці [18]. Харчовий спектр може відрізнятися залежно від середовища проживання, яке оточує колонії *V. velutina*, з вищою часткою соціальних ос і мух у лісах (відповідно 28,3% і 31,5%), ніж у містах (7,8% і 17,2%), і вища присутність бджіл в останніх (66,6% у містах і 33,4% у лісах) [18].

Крім екологічних проблем, присутність *V. velutina* породжує кілька соціально-економічних наслідків, таких як наслідки для сектору бджільництва, витрати на управління та проблеми зі здоров'ям. Медоносні бджоли є одними з комах, на яких найбільше полює *V. velutina* [18,19]. Це може бути пов'язано з привабливістю, створюваною запахами колонії медоносних бджіл (пилок і мед) і феромонами (гераніол, феромон агрегації медоносних бджіл), які можуть сигналізувати про високу щільність здобичі або через комбінацію візуальних і хімічних сигналів, які приваблюють види [2,20,1]. Імаго *V. velutina* полюють на медоносних бджіл, здебільшого зависаючи перед вуликом для лову бджіл, що повертаються [17]. Після того, як медоносну бджолу спіймано, шершень видаляє всі менш білкові частини комах, зберігаючи лише грудину з м'язами, яку повертає в колонію для годування личинок [20]. Особи *V. velutina* можуть відвідувати пасіку більше часу протягом дня, що свідчить про поведінку навчання, яка може сприяти продуктивності пошуку корму [20]. Тиск хижаків на медоносних бджіл зростає протягом сезону (у Франції з липня по жовтень) відповідно до збільшення популяції колоній *V. velutina*

[20,1]. Крім того, тиск хижаків може змінюватися в залежності від умов навколишнього середовища, таких як температура, вологість або швидкість вітру. Успіх хижацтва зростає залежно від кількості шершнів, що переслідують, з піком близько дев'яти шершнів на вулик [20]. Ця інтенсивна хижацька діяльність є джерелом стресу у медоносних бджіл і спричиняє параліч пошуку їжі, що, у свою чергу, може збільшити загибель медоносних бджіл, які повертаються, через більший успіх хижацтва шершнів. З часом тиск хижаків може призвести до розпаду колоній медоносних бджіл через зменшення популяції та запасів меду та пилку, які використовуються медоносними бджолами для зимівлі [20,1]. На відміну від колоній азіатської медоносної бджоли (*Apis cerana* Fabricius, 1793), які зустрічаються з *V. velutina*, колонії європейської медоносної бджоли (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) більш сприйнятливі до тиску хижаків через низку причин: 1) нижчу ефективність або відсутність захисної поведінки, такої як захисна від шершнів «теплова кулька» [21,5,8] і мерехтіння крил, 2) неможливість бджолами відчутти феромон тривоги шершня, 3) меншу кількість бджіл-охоронців біля входу у вулик та 4) нижчу швидкість, прийняту *A. mellifera* для входу всередину вулика [5]. Що стосується оборонної поведінки, декілька досліджень проаналізували поведінку «теплових кульок», коли робочі бджоли реагують на напади шершнів, утворюючи «теплову кулю» бджіл навколо шершня, за допомогою якої їм вдається вбити шершнів завдяки підвищенню температури всередині та концентрації вуглекислого газу [21,5,8]. Робочі особини *A. cerana* краще реагують на атаки *V. velutina* завдяки більшій кількості особин ($32,2 \pm 3,2$ особини для *A. cerana* та $22,7 \pm 3,1$ особини для *A. mellifera*) та більш високій температурі ядра, досягнутої «тепловою кулькою» ($45,6 \pm 0,1$ °C для *A. cerana* та $44,3 \pm 0,2$ °C для *A. mellifera*) [21].

Окрім прямого впливу на сектор бджільництва, присутність *V. velutina* в заражених країнах також створює значні економічні витрати на розвиток методів знешкодження шершнів, особливо тих, які пов'язані із впровадженням заходів зі знищення гнізд. За підрахунками, контрольна діяльність, проведена у Франції в період з 2006 по 2015 рр., коштувала близько 23 мільйонів євро, і якщо вид продовжить поширюватися, річні витрати можуть сягнути 29,5 мільйонів євро в трьох країнах Європи, де вид почав поширюватися (Франція, Італія та Великобританія) та 31,4 мільйона євро у двох країнах Азії (Південній Кореї та Японії) [22,23]. Як і в інших еусоціальних ос, робочі особини *V. velutina* прагнуть захистити свою колонію, якщо комахи відчують загрозу, стаючи потенційним джерелом небезпеки для людей. Оборонна поведінка шершнів може виникнути, коли люди наближаються до гнізда шершнів на три метри, і в деяких випадках кілька шершнів можуть атакувати на відстані до 300 м [24].

Після укусів може виникнути низка реакцій різного ступеня тяжкості, від алергічних до токсичних, які можуть призвести до анафілаксії, що в деяких випадках може призвести до летальних випадків [3].

В Європі, зокрема, *V. velutina* може мати серйозний вплив на бджільництво [25]. Через свій вплив азіатський шершень був включений Європейським Союзом до «чорного списку» інвазійних чужорідних видів (Регламент ЄС 1141/2016), для якого є обов'язковою розробка планів нагляду та дій для обмеження поширення, а також стратегії контролю та стримування [26]. У деяких європейських регіонах хижацтво *V. velutina* призвело до втрати майже 50% бджолиних колоній, що призвело до зменшення продукції бджільництва та втрати прибутку [25].

У країнах або районах, які ще не мають *V. velutina*, стратегії спостереження і моніторингу інвазійних видів шкідників можуть сприяти ранньому виявленню появи виду та спроби знищення популяцій на ранніх стадіях інвазії. Стратегії нагляду за *V. velutina*, охоплюють схеми громадського і наукового моніторингу присутності *V. velutina* за допомогою моніторингових пасток і спостережень біля пасіки [25]. Також були розроблені швидкі молекулярні методи для польової та лабораторної ідентифікації видів [27]. Ці інструменти були б корисними для визначення виду на основі пошкоджених зразків, коли морфологічний аналіз неможливий.

З 2008 року Україна посідає перше місце з виробництва меду серед європейських країн (з валовим збором до 75 тис. тонн) [28], тому проникнення азіатського шершня в Україну може мати великі наслідки. З цієї причини, включаючи проблеми з навколишнім середовищем, необхідність використання програми управління і прогнозування поширення інвазійних видів комах стає гострою потребою. Прогнозування поточного та потенційного майбутнього розподілу інтродукованих інвазійних видів має центральне значення для планування стратегій адаптації та управління чисельністю популяцій. Сучасні дослідження показали, що кліматичні моделі є ефективними для моделювання поширення інвазійних видів тварин в Азії та їх потенційного поширення в Європі [29]. У нещодавніх дослідженнях українських вчених були запропоновані кліматичні моделі за сучасними та майбутніми кліматичними сценаріями, щоб конкретно оцінити потенційні тенденції ризику інвазії *V. velutina* в Україні [9]. Комп'ютерні моделі розподілу видів (species distribution model, або SDM) виявилися корисними інструментами для прогнозування розповсюдження інвазійних видів і з'ясування важливості широкого діапазону екологічних умов, які впливають на їх появу [9]. В якості вхідних даних для SDM використовуються георізноманітні спостереження. Місцезнаходження *V. velutina* були зібрані з GBIF [9] і записів, знайдених у літературі та Інтернет-джерелах (наприклад, <https://observation.org/>). Загалом було зібрано і проаналізовано 26511 непо-

вторних записів знахідок *V. velutina* з європейських місцезнаходжень. Картування потенційної поширеності *V. velutina* за допомогою комп'ютерної програми CLIMEX показало, що шершень може прижитися в більшій частині Європи [29]. Також було розроблено прогнозоване поширення *V. velutina* в Україні за сучасних і майбутніх кліматичних умов відповідно. Відповідно до максимальної екологічної придатності природного середовища існування як міри ризику, області в Україні можна розташувати в такому порядку: Крим > Закарпатська > Львівська > Івано-Франківська > Волинська > Тернопільська > Чернівецька > Хмельницька. Це стосується сучасного клімату. Згідно з майбутнім кліматичним сценарієм, очікується, що більше областей будуть уражені шершнями, а їх рейтинг з точки зору ризику інвазії має такий вигляд: Чернівецька > Львівська > Крим > Івано-Франківська > Закарпатська > Волинська > Тернопільська > Рівненська > Хмельницька > Житомирська > Вінницька. Результати цих прогнозів забезпечать орієнтовну теоретичну основу для запобігання поширенню *V. velutina* в Україні, оскільки розглядалися лише біокліматичні виміри екологічної ніші [9]. Тим не менш, ці дослідження можуть допомогти у створенні відповідних програм моніторингу.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Поява

і поширення інвазійного виду, азійського шершня, *V. velutina*, в Україні становить значну загрозу бджільництву. Імовірність появи цього виду в Україні залежить від кількох факторів: 1) географічне розповсюдження. Основна популяція *V. velutina* розташована в Південній та Західній Європі. Україна межує з деякими з цих країн, і зараз існує високий потенціал для переносу інвазійного виду в Україну через природні міграційні процеси. 2) інфраструктура і транспорт. Поширення *V. velutina* в Україні може здійснюватися транспортними засобами, такими як вантажівки, легкові автомобілі та залізничні вагони, які пересуваються з інших країн. 3) екологічні умови. Україна має різноманітні екологічні умови, і поява *V. velutina* може бути більш імовірною в деяких західних і південних регіонах, де існують більш сприятливі умови для цього виду. Однак важливо зазначити, що наявність *V. velutina* в Україні на даний момент не підтверджена, і важливо вживати карантинні заходи для запобігання її можливій появі та контролювати всякі ознаки можливої інвазії, щоб запобігти шкоді дикій природі і місцевій фауні, а також руйнівного впливу на бджільницьку галузь та сільське господарство в цілому в Україні, особливо в умовах сучасних кліматичних та екологічних викликів. Ця проблема потребує подальших досліджень та розробки ефективних методів боротьби з *V. velutina*.

Література

1. Liroy, S., Bergamino, C., Porporato, M. 2022. The invasive hornet *Vespa velutina*: distribution, impacts and management options. *CABI Reviews*, August, 1–14.
2. Archer, M. 2012. Vespine wasps of the world: behaviour, ecology & taxonomy of the Vespinae. *Siri Scientific Press, Monograph Series*, 4, 1–354.
3. Monceau, K., Bonnard, O., Thiéry, D. 2014. *Vespa velutina*: a new invasive predator of honeybees in Europe. *Journal of Pest Science*, 87, 1–16.
4. Archer M. E. 1994. Taxonomy, distribution and nesting biology of the *Vespa bicolor* group (Hym., Vespinae). *Entomologist's Monthly Magazine*, 130, 149–158.
5. Tan, K., Radloff, S. E., Li, J. J., Hepburn, H. R., Yang, M. X., Zhang, L. J., et al. 2007. Bee-hawking by the wasp, *Vespa velutina*, on the honeybees *Apis cerana* and *A. mellifera*. *Naturwissenschaften*, 94(6), 469–472.
6. Robinet, C., Darrouzet, E., Suppo, C. 2015. Spread modelling: a suitable tool to explore the role of human-mediated dispersal in the range expansion of the yellow-legged hornet in Europe. *International Journal of Pest Management*, 65, 258–267.
7. Franklin, D. N., Brown, M. A., Datta, S., Cuthbertson, A. G. S., Budge, G. E., Keeling, M., J. 2017. Invasion dynamics of Asian hornet, *Vespa velutina* (Hymenoptera: Vespidae): a case study of a commune in south-west France. *Applied Entomology and Zoology*, 52(2), 221–229.
8. Arca, M., Papachristoforou, A., Mougél, F., Rortais, A., Monceau, K., Bonnard, O., et al. 2014. Defensive behaviour of *Apis mellifera* against *Vespa velutina* in France: Testing whether European honeybees can develop an effective collective defence against a new predator. *Behavioural Processes*, 106, 122–129.
9. Tytar, V.M., Kozynenko, I.I. 2023. Potential trends in invasion risk of the yellow-legged hornet, *Vespa velutina*, in Ukraine. *Dopovidi Nacionalnoi akademii nauk Ukraini*, № 1, 81–86.
10. Liroy, S., Bergamino, C., Porporato, M. 2022. The invasive hornet *Vespa velutina*: distribution, impacts and management options. *CABI Reviews*, August, 1–14.
11. Delaplane, K., Hudson, W., Johnson A. 2023. Yellow-legged hornet, *Vespa velutina*. *Department of Entomology, University of Georgia, USDA*, August 15, 1–2.
12. Harper, T. 2023. Discovery of yellow-legged hornet confirmed in Georgia for the first time. *Georgia Department of Agriculture, USDA, University of Georgia*, 15. August, 1–2.
13. Perrard, A., Baylac, M., Carpenter, J.nM., Villemant, C. 2014. Evolution of wing shape in hornets: why is the wing venation efficient for species identification? *Journal of Evolutionary Biology*, 27(122), 665–675.
14. Smith-Perdo, A. H., Polly, D. 2022. Identifying morphs of the Asian Hornet (*Vespa velutina*) and other pests of quarantine importance with geometric morphometrics. *Research Square*, August, 1–24.
15. Rome, Q., Muller, F. J., Touret-Alby, A., Darrouzet, E., Perrard, A., Villemant, C. 2015. Caste differentiation and seasonal changes in *Vespa velutina* (Hym.: Vespidae) colonies in its introduced range. *Journal of Applied Entomology*, 139(10), 771–782.

16. Perrard, A., Haxaire, J., Rortais, A., Villemant, C. 2009. Observations on the colony activity of the Asian hornet *Vespa velutina* Lepeletier 1836 (Hymenoptera: Vespidae: Vespinae) in France. *Annales de la Société entomologique de France*, 45(1), 119–227.
17. Villemant, C., Barbet-Massin, M., Perrard, A., Muller, F., Gargominy, O., Jiguet, F., et al. 2011. Predicting the invasion risk by the alien bee-hawking Yellow-legged hornet *Vespa velutina nigrithorax* across Europe and other continents with niche models. *Biological Conservation*, 144(9), 2142–2150.
18. Rome, Q., Perrard, A., Muller, F., Fontaine, C., Quilès, A., Zuccon, D., et al. 2021. Not just honeybees: predatory habits of *Vespa velutina* (Hymenoptera: Vespidae) in France. *Annales de la Société entomologique de France*, 57(1), 1–11.
19. Verdasca, M. J., Godinho, R., Rocha, R. G., Portocarrero, M., Carvalheiro, L. G., Rebelo R, et al. 2021. A metabarcoding tool to detect predation of the honeybee *Apis mellifera* and other wild insects by the invasive *Vespa velutina*. *Journal of Pest Science*, 95, 997–1007.
20. Requier, F., Rome, Q., Chiron, G., Decante, D., Marion, S., Menard, M., et al. 2019. Predation of the invasive Asian hornet affects foraging activity and survival probability of honey bees in Western Europe. *Journal of Pest Science*, 92(2), 567–578.
21. Ken, T., Hepburn, H. R., Radloff, S. E., Yusheng, Y., Yiqiu, L., Danyin, Z., et al. 2005. Heat-balling wasps by honeybees. *Naturwissenschaften*, 92(10), 492–495.
22. Barbet-Massin, M., Rome, Q., Muller, F., Perrard, A., Villemant, C., Jiguet, F. 2013. Climate change increases the risk of invasion by the Yellow-legged hornet. *Biological Conservation*, 157, 1–10.
23. Barbet-Massin M., Salles J.M., Coudane F. 2020. The economic cost of control of the invasive yellow-legged Asian hornet. *NeoBiota*, 55, 11–25.
24. Choi, M., B. 2021. Defensive behavior of the invasive alien hornet *Vespa velutina nigrithorax* against potential human aggressors. *Entomological Research*, 51(4), 186–295.
25. Laurino, D., Gajger, I. T., Lioy, S., Porporato, M. 2022. COLOSS Task Force to Investigate and Reduce *Vespa velutina* Impacts and Spread. *Bee World*, 99(1), 26–28.
26. Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1141 of 13 July 2016 adopting a list of invasive alien species of Union concern pursuant to Regulation (EU) № 1143/2014 of the European Parliament and of the Council. *Office Journal European Union L*. № 189, 4–8.
27. Stainton, K., Hall, J., Budge, G. E., Boonham, N., Hodgetts, J. 2018. Rapid molecular methods for in-field and laboratory identification of the yellow-legged Asian hornet (*Vespa velutina nigrithorax*). *Journal of Applied Entomology*, 142(6), 610–616.
28. Туринський, В. М., Адамчук, Л. О. 2015. Важливі питання розвитку галузі бджільництва. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*, 223, 190–195.
29. Ibáñez-Justicia, A., Loomans, A. J. M. 2011. Mapping the potential occurrence of an invasive species by using CLIMEX: case of the Asian hornet (*Vespa velutina nigrithorax*) in The Netherlands. *Proceedings Netherlands Entomological Society Meeting*, 22, 39–46.

Дата першого надходження рукопису до видання: 29.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 615.851:582.929.4:502.7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.13>

МЕДИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ *ORIGANUM VULGARE* L.: ФІТОХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА ФАРМАКОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Гнезділова В.І., Різничук Н.І., Миленка М.М., Козак І.І.
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, 76000, Івано-Франківськ
viktoria.gniezdilova@cnu.edu.ua, nadiiariznychuk@cnu.edu.ua,
myroslava.mylenska@cnu.edu.ua, kozak.ihor@cnu.edu.ua

У статті здійснено поглиблений аналіз та комплексний літературний огляд сучасних наукових досліджень, присвячених перспективам використання *Origanum vulgare* L. (материнка звичайна) як природного джерела біологічно активних речовин із широким спектром фармакологічної дії. Особлива увага приділена антимікробним, протигрибковим, антиоксидантним та імуномодуючим властивостям компонентів цієї рослини. Зростання стійкості патогенних мікроорганізмів до традиційних антибіотиків та синтетичних антисептиків актуалізує потребу в пошуку ефективних, екологічно безпечних і органічних альтернативних засобів лікування інфекцій, що обумовлює наукову та практичну значущість дослідження лікарських рослин.

У роботі узагальнено та систематизовано дані щодо хімічного складу *Origanum vulgare* L., зокрема вмісту ефірних олій, фенольних сполук, флавоноїдів, терпеноїдів, карбонових кислот і вітамінів, які визначають її фармакологічну активність. Проведено порівняльний аналіз сучасних методик екстракції біоактивних сполук (гідродистиляція, надкритична флюїдна екстракція, ультразвукові та мікрохвильові методи) та оцінено їхній вплив на якісний і кількісний склад отриманих екстрактів. Окремо розглянуто механізми антимікробної дії основних компонентів – карвакролу, тимолу та γ-терпінену, які проявляють здатність порушувати цілісність клітинних мембран мікроорганізмів і гальмувати їхній ріст.

Підкреслено необхідність стандартизації препаратів на основі *Origanum vulgare* L., оптимізації умов культивування та збору рослинної сировини з метою забезпечення стабільності хімічного складу і фармакологічної активності. Отримані результати свідчать про значний потенціал використання материнки як доступної, відновлюваної та перспективної сировини для фармацевтичної, косметичної й харчової промисловості. Представлене дослідження формує наукове підґрунтя для подальшого розвитку доказової фітотерапії, створення екологічно чистих органічних антимікробних препаратів і впровадження інноваційних підходів до профілактики та лікування інфекційних захворювань відповідно до сучасних вимог охорони здоров'я та екології. **Ключові слова:** *Origanum vulgare* L., інтродукція рослин, вирощування в великих масштабах, морфометрія, біоекологічна оцінка, антимікробні властивості, антигрибкові властивості, оксидативний стрес, прогнозування, нітроген, калій, сталий розвиток, біорізноманіття, зміни клімату, життєва форма, систематичний аналіз.

Medical properties of *Origanum vulgare* L.: phytochemical composition and pharmacological potential. Gniezdilova V., Riznychuk N., Mylenka M., Kozak I.

The article presents an in-depth analysis and comprehensive literature review of current scientific studies devoted to the prospects of using *Origanum vulgare* L. (common oregano) as a natural source of biologically active compounds with a wide range of pharmacological properties. Particular attention is given to its antimicrobial, antifungal, antioxidant, and immunomodulatory effects. The increasing resistance of pathogenic microorganisms to traditional antibiotics and synthetic antiseptics highlights the urgent need for effective, environmentally safe, and organic alternatives for infection treatment, which determines the scientific and practical relevance of researching medicinal plants.

The paper summarizes and systematizes data on the chemical composition of *Origanum vulgare* L., including essential oils, phenolic compounds, flavonoids, terpenoids, carboxylic acids, and vitamins that determine its pharmacological activity. A comparative analysis of modern extraction techniques for bioactive compounds – such as hydrodistillation, supercritical fluid extraction, and ultrasound- or microwave-assisted methods – was carried out, assessing their influence on the qualitative and quantitative composition of the obtained extracts. Special attention is paid to the mechanisms of antimicrobial action of key components such as carvacrol, thymol, and γ-terpinene, which disrupt microbial cell membrane integrity and inhibit microbial growth.

The study emphasizes the necessity of standardizing *Origanum vulgare* L. – based preparations and optimizing cultivation and harvesting conditions to ensure the stability of chemical composition and pharmacological properties. The findings demonstrate the high potential of oregano as an accessible, renewable, and promising raw material for the pharmaceutical, cosmetic, and food industries. This research lays a scientific foundation for the further development of evidence-based phytotherapy, the creation of eco-friendly organic antimicrobial agents, and the implementation of innovative approaches to infection prevention and treatment in accordance with modern healthcare and environmental standards. **Key words:** *Origanum vulgare* L., plant introduction, large-scale cultivation, morphometrics, bioecological assessment, antimicrobial properties, antifungal properties, oxidative stress, forecasting, nitrogen, potassium, sustainable development, biodiversity, climate change, systematic analysis.

Постановки проблеми. Глобальна загроза розвитку резистентності мікроорганізмів до антибіотиків призводить до потреби в пошуку ефективних, безпечних антимікробних засобів природного походження та посилення наукового інтересу до лікарських рослин, зокрема до *Origanum vulgare* L., яка ще здавна використовувалася в народній медицині, крім того, рослина демонструє широкий спектр біологічно активних властивостей, зокрема антибактеріальних, протигрибкових, антиоксидантних та імуномодуючих. Тому важливо проаналізувати інформацію та розповсюдити її для подальшого використання у дослідженнях.

Актуальність дослідження зумовлена пошуком нових джерел біоактивних речовин із комплексною дією, здатних відповідати сучасним викликам медицини та фармації. Фітотерапія є безпечнішою та екологічно прийнятною альтернативою синтетичних медичних препаратів, що зумовлює виникнення потреби в науковому обґрунтуванні доказовості використання рослинної сировини з багатим біохімічним складом в медицині.

У ході зростання попиту на органічні біодобавки, консерванти та імуностимулятори особливої уваги заслуговує *O. vulgare* L., яка має значний потенціал для використання у різних галузях – від фармацевтичної до харчової промисловості.

Водночас, невисокий рівень стандартизації препаратів виготовлених на її основі та недостатній об'єм наукових даних щодо взаємодії активних компонентів з мікроорганізмами, а також потреба у вивченні їх впливу на мікроорганізми саме на клітинному рівні, підкреслюють необхідність поглибленого дослідження можливого використання *O. vulgare* в медицині, адже рослина є доступною, поширеною в багатьох регіонах та піддається культивуванню, що робить її перспективною для масового використання в індустріальному виробництві.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження націлене на подолання проблемних питань у сфері медицини та фітотерапії, зокрема щодо підвищення ефективності антимікробної терапії, удосконалення методів екстракції біологічно активних речовин з рослинної сировини та оптимізації використання лікарських рослин у профілактиці і лікуванні інфекційних та запальних захворювань. Узагальнення інформації про хімічний склад, фармакологічні активності та механізмів дії компонентів *Origanum vulgare* L. дозволить зорієнтувати майбутні напрями наукових досліджень, спрямованих на створення природоорієнтованих засобів з багатовекторною дією.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання результатів у фармацевтичній галузі, стандартизації сировини, розробці нових видів антисептичних, протигрибкових і антиоксидантних засобів, а також у формуванні науково

обґрунтованих підходів до культивування *O. vulgare*. Таким чином, представлена робота має вагоме значення для галузей, що пов'язані з охороною здоров'я, фармацевтичною промисловістю та біотехнологіями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведені дослідження фокусуються в основному на вивченні антимікробної, протигрибкової та антиоксидантної активності *Origanum vulgare* L. А також мова йде про використання цього виду, як джерела природних біоактивних речовин. Значна увага приділяється аналізу хімічного складу ефірних олій та фенольних сполук, а також впливу різних методів екстракції на якість і концентрацію активних компонентів. Особливо актуальним є дослідження синергетичних ефектів карвакролу і тимолу у поєднанні з антибіотиками та антимікотиками, що відкриває нові можливості для підвищення ефективності лікування інфекцій.

Загалом, наукові дослідження спрямовані на інтеграцію фітопрепаратів у медичну практику, підкреслюючи їх потенціал, як безпечних і ефективних засобів для боротьби з резистентністю бактерій до антибіотиків.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У межах поширеної проблеми дослідження органічних антимікробних речовин, означена стаття узагальнює вже проведені дослідження та виокремлює низку питань, що залишаються недостатньо вивченими та потребують подальшого наукового осмислення. Зокрема, одним з таких є відсутність загально зібраних даних про вплив різних методів екстракції сировини на якісний та кількісний склад біологічно активних компонентів *Origanum vulgare* L., що безпосередньо впливає на фармакологічну ефективність майбутніх органічних препаратів.

Новизна представленого дослідження полягає в комплексному підході до аналізу та узагальнення інформації про біохімічний склад *Origanum vulgare* L. з урахуванням впливу абіотичних та біотичних факторів на проявлення його властивостей.

Методологічне та загальнонаукове значення дослідження полягає у аналізі попередніх досліджень, систематизації знань, виявленні прогалин в попередніх наукових роботах та визначення напрямків для майбутніх досліджень. А також надання узагальної картини стану проблеми вивчення біологічно активних рослинних компонентів. Їх хімічний аналіз, фармакологічні дослідження та молекулярно-біологічні методи для детального огляду і аналізу механізму дії активних речовин, що входять до складу сировини *Origanum vulgare* L.

Виклад основного матеріалу. Материнка звичайна (*Origanum vulgare* L.) – це представник родини *Lamiaceae*, який здавна використовувався в народній медицині, як засіб з протизапальними, антисептичними, відхаркувальними та спазмолітичними

властивостями [1]. У сучасних наукових реаліях ця рослина набула значного інтересу завдяки багатому біохімічному складу та широкому спектру впливу біологічно активних речовин, зокрема їх антибактеріальним властивостям, протигрибковій, антиоксидантній та імуномодуючій дії [2].

Протягом двох останніх десятиліть, після зростання резистентності бактерій до антибіотиків, що в свою чергу стало глобальною загрозою здоров'ю людства, інтерес вчених зосередився на дослідженнях щодо покращення захисту та нових методів лікування бактеріальних хворіб [9]. Згідно з літературними даними, близько третини медичних методів антибактеріальної терапії розроблені на основі продуктів органічного синтезу [10]. Дослідження показують, що ефірні олії є надійними та екологічно безпечними сполуками антибактеріальними дії в боротьбі з інфекційними захворюваннями [11]. Складові ефірних олій можуть пригнічувати активний ріст бактерій та дріжджів. Стійкість мікроорганізмів до них є слабшою, ніж до самостійної молекули антибіотика [12].

Представники роду *Origanum* належать до трав'янистих та ароматичних лікарських рослин. Вони поширені в гірських районах з помірно теплим кліматом. *O. vulgare* L. (відома як «Орегано») поширена в Середземноморському регіоні, Західній та Південно-Західній Євразії [1]. Назва «орегано» є проміжною назвою для багатьох видів, наприклад, мексиканського орегано (*Lippia graveolens* Kunth), що походить із південного заходу США (Техас і Нью-Мексико), Мексики та Центральної Америки. Він є чагарником з насиченим запахом, часто використовується як приправа у кулінарії, а також цей вид відомий своїми антиоксидантними та антибактеріальними властивостями.

Підвиди *O. vulgare* L. зростають на різному за складом ґрунті, з не однаковим показником родючості. Їх можна культивувати як лікарські чи садові рослини або як інгредієнти в кулінарії. Вони відіграють важливу роль в агрономічній промисловості та є однією з найбільш культивованих ароматичних рослин у світі. Один з найбільших світових ринків пов'язаний з *O. vulgare* ssp. *hirtum* (відомим як грецький орегано) завдяки його якості та високій концентрації ефірних олій у біохімічному складі. Цей вид зустрічається в Туреччині, Греції, на Кіпрі та в Італії [5, 6].

Виходячи з гідрофільних та гідрофобних властивостей, у *Origanum vulgare* L. існують дві основні групи фітохімічних речовин, включаючи ефірні олії та фенольні сполуки (флавоноїди та фенольні кислоти). Інші біологічно активні речовини складаються з терпеноїдів, танінів та стеролів [4].

До складу ефірних олій входять монотерпенові феноли, переважає карвакрол і тимол, які виявляють властивості антимікробної дії. Склад олій надзвичайно варіабельний, це зумовлено генетичними

й екологічними чинниками. Варіабельність хімотипів (різні співвідношення карвакролу, тимолу, сабінену, γ -терпінену) підкреслює потребу стандартизації для терапевтичних чи промислових застосувань екстрактів *O. vulgare* L. Було виявлено щонайменше дев'ять хімотипів ефірної олії з переважанням таких компонентів, як: тимол, карвакрол, сабінен, γ -терпінен, р-цимен, β -каріофілен, тощо. Зокрема, у різних популяціях *O. vulgare* L. виявлено суттєві коливання у вмісті ефірної олії (наприклад, від 0,07 % до 0,80 % на основі сухої ваги в популяціях поширених на просторах Гімалаїв) і складових класів: монотерпенових вуглеводнів, оксигеновмісних монотерпенів, сесквітерпенових вуглеводнів [7, 8].

Фенольні монотерпеноїди – тимол і карвакрол – виділяються, як ключові біоактивні компоненти, що ймовірно формують основу багатьох фармакологічних властивостей. Екстракти та ефірні олії *O. vulgare* L. проявляють бактерицидну, фунгіцидну та віруліцидну дію.

Ці речовини здатні дестабілізувати клітинну мембрану мікроорганізмів, змінюючи її проникність, тим самим призводять до втрати клітинного вмісту, тобто до загибелі бактеріальних клітин. Дослідження показали активність екстрактів *O. vulgare* проти різного виду патогенів, включаючи: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* та інших [15].

Механізм дії, як зазначено вище, передбачає порушення цілісності мембрани бактеріальної клітини, тобто викликає процес лізису, витік внутрішньоклітинного вмісту, а також інгібування активності ефлюксних насосів. Окрім того, забезпечує зменшення рухливості бактерій та придушення формування біоплівки. Для обміну інформацією всередині біоплівки між окремими клітинами одного або різних видів бактерії використовують сигнальні молекули системи quorum sensing.). Фенольні монотерпеноїди та ефірні олії *O. vulgare* L. призводять також до порушення цього кворум-синного (quorum sensing) зв'язку [16].

Антибактеріальні властивості *O. vulgare* L. відрізняються залежно від виду мікроорганізмів (дикий, еталонний, чутливий до препаратів або стійкий) та типу рослинної екстракції (ефірні олії або інші екстракти), це слід враховувати при вивченні потенціалу цього виду рослин для розробки нових антимікробних препаратів [13]. Бактерії, що є грам-позитивними (*Staphylococcus aureus*) є більш чутливими до ефірних олій *O. vulgare* L., ніж грам-негативні, хоча ефект у широкому спектрі дії все одно присутній [13].

Недавні дослідження підтверджують, що екстракти з *O. vulgare* L., отримані водними, спиртовими способами та методами надкритичної CO₂ екстракції, проявляють значну протигрибкову активність.

Наприклад, у дослідженнях екстрактів водного типу виявлена протигрибкова дія до *Candida albicans*. Екстракт *Origanum vulgare* L. виявив також інгібуючий ефект при концентрації 200 мг/мл на всі досліджені штами дріжджоподібних грибків [17].

У дослідженні з надкритичною CO₂-екстракцією, при мікроскопічному спостереженні грибкових клітин, виявлено зниження життєздатності грибків, проте не було зафіксовано вивільнення внутрішньоклітинного натрію й калію. Це свідчить про те, що дія екстракту не обов'язково пов'язана з прямим руйнуванням клітинної мембрани або мембранні ефекти можуть бути тільки частиною механізму, а не основою процесу.

При використанні CO₂-екстракції, встановлено, що за температури 40 °C, 50 °C та 60 °C екстракти з *O. vulgare* L. виявляли активну протигрибкову дію до грибів роду *Fusarium*. Зокрема, для *F. graminearum* та *F. avenaceum* мінімальні концентрації інгібування та фунгіцидні концентрації становили 7,5 мг/мл незалежно від температури екстракції. Для *F. equiseti* екстракт, витягнутий за 60 °C, мав концентрації інгібування та фунгіцидні концентрації 1,90 мг/мл, тоді як екстракти при 40/50 °C – 7,5 мг/мл [10, 15].

Інші дослідження вказують на те, що ефірна олія *Origanum vulgare* L. інгібувала ріст *Staphylococcus aureus* при мінімальній концентрації інгібування – 3,13 мг/мл та *Bacillus cereus* при 6,25 мг/мл, а також повністю пригнічувала ріст *Peronophythora litchii* при концентрації 12,5 мг/мл екстракту за 7-денний інкубаційний період [15, 16].

Протигрибковий ефект *Origanum vulgare* L. зумовлений поліфенольними сполуками і проявляється у пригніченні росту дріжджових і пліснявих грибів, зокрема *Candida albicans* та *Aspergillus niger*. Це дозволяє розглядати *Origanum vulgare* L., як перспективний компонент антимікотичних препаратів та біоактивних добавок. Комбінація карвакролу або тимолу з антибіотиками або антимікотиками може мати синергічний ефект, що відкриває перспективу застосування таких поєднань [4, 6].

Вміст фенольних сполук, зокрема розмаринової кислоти, кверцетину, апігеніну зумовлює антиоксидантну активність *Origanum vulgare* L. Вміст фенолів відповідно до сухої маси може становити 1406–2221 мг на 100 г сировини, а вміст L-аскорбінової кислоти й каротиноїдів – 4,2–23,1 мг і 25,5–51,0 мг на 100 г. Ці речовини ефективно нейтралізують вільні радикали, пригнічують процеси ліпопероксидації та захищають клітини від оксидативного стресу. З огляду на це, *O. vulgare* може розглядатися, як природне джерело антиоксидантів для профілактики хронічних неінфекційних захворювань, включаючи атеросклероз, діабет, онкологічні та нейродегенеративні стани [11, 16].

Окрім того, варто зазначити, що останні наукові дослідження демонструють в *O. vulgare* потенціал, як імуномодуючого агента. Біологічно активні компоненти цього виду можуть впливати на продукцію прозапальних цитокінів в організмі, а також на активність макрофагів і нейтрофілів та модуляцію адаптивної імунної відповіді. Не слід заперечувати спазмолітичний, знеболювальний та седативний ефект, який є корисним при функціональних розладах шлунково-кишкового тракту або може входити до складу заспокійливих фітозасобів [8, 9, 16].

Головні висновки. З опрацьованої літератури та аналізу попередньо проведених досліджень, можемо зазначити, що *Origanum vulgare* L. є багатим джерелом біологічно активних речовин, зокрема включає в себе широкий вміст ефірних олій і фенольних сполук, які володіють антимікробною, протигрибковою, антиоксидантною та імуномодуючою активністю. Варіабельність хімічного складу *Origanum vulgare* L., зумовлена генетичними та екологічними факторами, що впливає на фармакологічні властивості. З цього можемо підкреслити необхідність стандартизації та контролю якості лікарської сировини розробленої з *Origanum vulgare* L.

Важливо відзначити, що сучасні методи екстракції сировини, такі як надкритична CO₂-екстракція, дозволяють виготовляти висококонцентровані та якісні екстракти. Це відкриває нові методи та перспективи їх використання у створенні екологічно чистих, ефективних, діючих антимікробних та антигрибкових препаратів. Особливо, сполуки карвакролу і тимолу демонструють здатність до синергетичної взаємодії з сучасними ліками – це має велике значення у майбутньому подоланні проблеми резистентності до антибіотиків у мікроорганізмів. В цілому, підсумовуючи, що *Origanum vulgare* L. є перспективним об'єктом у медицині для подальшої розробки нових фітотерапевтичних засобів і функціональних продуктів із широким спектром їхнього застосування.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати будуть використані для проведення подальших досліджень можливості використання *Origanum vulgare* L. у медичній та фармакологічній промисловості, що полягає у розробці нових антимікробних і протигрибкових препаратів, які можуть ефективно застосовуватися для лікування інфекцій, включно з тими, що спричинені резистентними до традиційних антибіотиків штамми мікроорганізмів. Крім того, отримані дані створюють основу для виробництва стандартизованих фітопрепаратів із чітко визначеним складом і стабільною біологічною активністю, що підвищить їхню клінічну ефективність та безпеку.

Література

1. Ietswaart J. H. *A taxonomic revision of the genus Origanum (Labiatae)*. Leiden University Press The Hague. 1980.
2. Mozaffarian V. A. *Dictionary of Iranian plant names*. Farhang Moaser, Tehran. 1996. 396.
3. Andi S.A., Nazeri V., Zamani Z. *Morphological diversity of wild Origanum vulgare (Lamiaceae) in Iran*. 2011. 17 (1): 88-97.
4. Morshedloo M.R., Craker L.E., Salami A., Nazeri V. *Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono-and sesquiterpene synthesis in two oregano (Origanum vulgare L.)*. Plant Physiol. Biochem. 2017. 111:119-28.
5. Aboukhalid K., Al Faiz C., Douaik A., Bakha M., *Inuence of environmental factors on essential oil variability in Origanum compactum Benth growing wild in Morocco*. Chem. Biodivers. 2017. 14:e1700158.
6. Skoufogianni E., Solomou A.D. and Danalatos N.G. *Ecology, Cultivation and Utilization of the Aromatic Greek Oregano (Origanum vulgare L.)*. A Review. Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj Napoca. 2019. 47: 545-52.
7. Ličina B.Z., Stefanović O.D., Vasić S.M., Radojević I.D. *Biological activities of the extracts from wild growing Origanum vulgare L.* Food control. 2013. 33:498-504.
8. Khaki M.R.A., Pahlavan Y., Sepehri G., Sheibani V. and Pahlavan B. *Antinociceptive effect of aqueous extract of Origanum vulgare L. in male rats: possible involvement of the GABAergic system*. J. Pharm. Sci. 2013. 12: 407. Qamar M.U., Rasool M.H., Jahan S. *Antimicrobial resistance. antimicrobials, antibiotic resistance, antibiolm strategies and activity methods*. BoD–Books on Demand. 2019.
9. Farha M.A. and Brown E.D. *Strategies for target identification of antimicrobial natural products*. Nat. Prod. Rep. 2016. 33: 668-680.
10. Oulia P., Saderi H., Rasouli I. and Sedkon F. *Antimicrobial characteristics of some herbal Oils on Pseudomonas aeruginosa with special reference to their chemical compositions*. Journal of Pharmaceutical Research. 2009. 107-14.
11. Burt S. *Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in food*. Int. J. Food Microbiol. 2004. 94: 223-53.
12. Pezzani R., Vitalini S. and Iriti M. *Bioactivities of Origanum vulgare L.: an update*. Phytochem. Rev. 2017. 16: 1253-68.
13. Nurzyńska-Wierdak R., Walasek-Janusz M. *Chemical Composition, Biological Activity, and Potential Uses of Oregano (Origanum vulgare L.) and Oregano Essential Oil*. Pharmaceuticals. 2025. 18(2), 267.
14. Saba Soltani Abolfazl Shakeri Mehrdad Iranshahi Motahhareh Boozari *A Review of the Phytochemistry and Antimicrobial Properties of Origanum vulgare L. and Subspecies*. Journal of Pharmaceutical Research. 2021. 20(2):268-285.
15. Gwiazdowska D., Waśkiewicz A. *Antimicrobial and Antibiofilm Activity of Origanum vulgare Extracts Obtained by Supercritical Fluid Extraction Under Various Extraction Conditions*. Molecules. 2024. 10;29(24):5823.
16. Abdul sattar B. A., Hassan A.M., *In Vitro Antimicrobial Activity of Thymus Vulgaris, Origanum Vulgare and Rosmarinus Officinalis Against Dental Caries Pathogens*. Al-Haitham Journal for Pure and Applied Sciences. 2017. 25(2).
17. Yan Li, Lu He. *Antimicrobial activity of Origanum vulgare L. essential oil and its effects on fungal gene expression*. PubMed. 2025. 1;20(8):e0329548.

Дата першого надходження рукопису до видання: 29.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

УДК 62-6

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.14>

ГАРМОНІЗАЦІЯ ВИМОГ ДОКУМЕНТА ПРО ПІДТВЕРДЖЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ, ВИДАНОГО ІНОЗЕМНИМ СУБ'ЄКТОМ ДО ЗАСАД ТЕХНІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ ЩОДО ВИМОГ ДО АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНІВ, ДИЗЕЛЬНОГО, СУДНОВИХ ТА КОТЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Головач Ю.М.

Державна екологічна інспекція у Львівській області
holovachyuriy7@gmail.com

У статті розглядається проблематика імплементації норм європейського права у сфері технічного регулювання якості паливно-мастильних матеріалів, а саме вимог стандартів EN 228 (європейський стандарт, який установлює вимоги та методи випробувань для неетилізованого бензину, що використовується в автомобілях) і EN 590 (європейський стандарт, який визначає вимоги до автомобільного дизельного палива, призначеного для продажу на ринках держав – членів ЄС). У фокусі дослідження перебувають питання їх безпосереднього застосування під час введення в обіг зазначених видів палива на українському ринку, а також особливості здійснення заходів державного ринкового нагляду за дотриманням установлених вимог.

Детально проаналізовано взаємозв'язок між якісними показниками імпортованих видів пального, визначених у названих європейських стандартах, та змістом і принципами чинних нормативно-правових актів України, що регулюють вимоги до аналогічних показників автомобільних бензинів і дизельного палива, які вводяться в обіг та реалізуються на території держави. Окрема увага приділяється тому, що забезпечення відповідності таких вимог спрямоване не лише на дотримання міжнародних зобов'язань, а й на досягнення стратегічних цілей – захист життя і здоров'я людини, тварин і рослин, гарантування національної безпеки, охорону навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів.

Зазначене питання набуває особливої актуальності у контексті виконання Україною зобов'язань у межах механізму програми фінансової підтримки Ukraine Facility на 2024–2027 роки [5]. Відновлення та ефективне функціонування системи державного ринкового нагляду розглядається як ключовий інструмент захисту прав споживачів, забезпечення належної якості товарів і підвищення рівня довіри до українського ринку з боку європейських партнерів.

У статті також окреслено проблему часткової невідповідності окремих положень чинного законодавства України вимогам європейських стандартів, зокрема у сфері маркування бензину та дизельного палива. Розглянуто питання гармонізації технічних регламентів, а також відповідності цифрових показників октанових чисел зразків пального, отриманих за результатами досліджень у різних лабораторіях, допустимим межах похибок їх вимірювання.

На підставі проведеного аналізу запропоновано основні напрями вдосконалення законодавчого регулювання для забезпечення поступового узгодження українських норм із європейськими вимогами, що, у свою чергу, сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняного ринку палив, розвитку міжнародного співробітництва та формуванню єдиного правового простору у сфері енергетики. *Ключові слова:* Технічний регламент, октанове число, гармонізація законодавства, ринковий нагляд, маркування пального, європейські стандарти.

Harmonization of the requirements for a document confirming the conformity of petroleum products issued by a foreign entity with the principles of the technical regulation on automotive gasoline, diesel, marine and boiler fuels. Holovach Yu.

The article examines the issue of implementing European legal norms in the field of technical regulation of fuel quality, in particular the requirements of EN 228 (a European standard that sets out the specifications and test methods for unleaded petrol used in motor vehicles) and EN 590 (a European standard defining the requirements for automotive diesel fuel marketed in EU member states). The focus of the study is on the direct application of these standards in the process of placing the respective fuels on the Ukrainian market, as well as on the peculiarities of exercising state market surveillance over compliance with the established quality requirements.

The research provides a detailed analysis of the relationship between the quality indicators of imported fuels, as defined in the above European standards, and the content and principles of the current Ukrainian legal acts regulating similar indicators for motor gasoline and diesel fuel placed on the market and sold within the country. Particular attention is paid to the fact that ensuring such compliance aims not only to fulfill international obligations but also to achieve strategic objectives – protecting human, animal, and plant life and health, guaranteeing national security, preserving the environment, and ensuring the sustainable use of natural resources.

This issue is of special relevance in the context of Ukraine's implementation of its obligations under the Ukraine Facility financial support program for 2024–2027 [5]. The restoration and effective functioning of the state market surveillance system are viewed as key instruments for protecting consumer rights, ensuring product quality, and strengthening confidence in the Ukrainian market among European partners.

The article also outlines the problem of partial inconsistency between certain provisions of the current Ukrainian legislation and European standards, particularly in the field of fuel labelling. It further examines the need for harmonizing technical regulations and ensuring that numerical indicators of octane ratings of fuel samples, obtained from various laboratories, fall within the permissible measurement tolerances.

Based on the conducted analysis, the author proposes key directions for improving legislative regulation to ensure the gradual alignment of Ukrainian norms with European requirements. Such harmonization is expected to enhance the competitiveness of the domestic fuel market, foster international cooperation, and contribute to the formation of a unified legal space in the field of energy policy. *Key words:* Technical Regulation, octane number, legislative harmonization, market surveillance, fuel labeling, European standards.

Постановка проблеми. В Україні, незважаючи на триваючу збройну агресію Російської Федерації, триває процес удосконалення та реформування системи ринкового нагляду. Невід’ємною складовою цього процесу є імплементація норм європейського законодавства, що регулюють правовідносини у сфері ринку, зокрема нехарчової продукції та захисту прав споживачів. Реалії воєнного стану зумовили необхідність тимчасового застосування окремих стандартів і норм права Європейського Союзу за умов недостатньої гармонізації з національним законодавством. Метою даного дослідження є висвітлення окремих питань, що виникають під час виконання положень Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднового та котельного палива, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 1 серпня 2013 року № 927 (далі – Регламент), у процесі здійснення заходів ринкового нагляду.

Збройна агресія Російської Федерації спричинила суттєві зміни на ринку пального України: від повної втрати національного виробника до докорінної трансформації структури логістичних потоків та складу основних учасників ринку. Ці чинники зумовили потребу оперативного реагування здійсненого шляхом внесення змін до Регламенту. Ймовірно, саме необхідність швидких рішень залишила без належного пояснення деякі розбіжності у вимогах Регламенту та неузгодженості в документах про якість.

Актуальність дослідження. Усунення зазначених неузгодженостей є не лише важливим, а й необхідним, оскільки це дозволить мінімізувати випадки затримок під час перевірки характеристик продукції органами ринкового нагляду у випадках призупинення митного оформлення, а також зменшить кількість необґрунтованих рішень про вжиття обмежувальних (коригувальних) заходів. Це, у свою чергу, скоротить час і витрати постачальників пального, що має особливе значення в умовах воєнного стану.

Зв’язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження спрямоване на оцінку рівня інтеграції європейських норм у текст Регламенту. Особлива увага приділяється узгодженню вимог пункту 5 Регламенту (доповненого згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 292 від 16.03.2022 у редакції постанови України № 555 від 10.05.2022) щодо додаткових тимчасових умов дозволу на введення в обіг палива, яке ввозиться на митну територію України. Актуальною є необхідність тлумачення окремих положень цієї норми при застосуванні стандартів якості, визначе-

них директивами ЄС. Отримані результати можуть бути використані як для розроблення стратегій заходів ринкового нагляду, так і для удосконалення менеджменту ринку пального та іншої нехарчової продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика імплементації міжнародного права, зокрема права Європейського Союзу, у національні правові системи тривалий час перебуває у центрі наукових досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних учених. Зазначеним питанням присвячені праці І. Брацук, Л. Луць, В. Плавича, Т. Середи. Водночас практично не дослідженим залишається аспект, пов’язаний із проблемами, що виникають у разі неповного або недостатньо глибокого опрацювання змісту тексту нормативних документів.

Виклад основного матеріалу. Пункт 5 Регламенту, відповідно до Закону України «Про правовий режим воєнного стану», Указу Президента України від 24 лютого 2022 р. № 64 «Про введення воєнного стану в Україні» та Постанови Кабінету Міністрів України № 292 від 16.03.2022, був доповнений абзацом такого змісту: *«Дозволяється введення в обіг і обіг палив, які ввозяться на митну територію України з країн ЄС на підставі документа, що підтверджує відповідність нафтопродуктів вимогам цього Технічного регламенту, виданого іноземним суб’єктом господарювання або органом з оцінки відповідності мовою оригіналу, що підтверджує відповідність нафтопродуктів стандартам EN 228 (автомобільні бензини) і EN 590 (дизельне паливо), – до припинення або скасування воєнного стану в Україні та протягом наступних 90 календарних днів. Нафтопродукти, підтверджені зазначеним документом, можуть реалізовуватися кінцевим споживачам на території України до припинення або скасування воєнного стану та протягом наступних 90 календарних днів»* [7].

Разом із цим, Додаток 1 до Регламенту містить вимоги щодо позначення автомобільного бензину та дизельного палива. Згідно з пунктом 7 Регламенту, під час роздрібного постачання (реалізації) пального його позначення (відповідне Додатку 1) має бути розміщене у місцях, доступних для споживача (зокрема на паливо-розподільчому обладнанні), а також відображене у розрахункових документах.

В Європейському Союзі вимоги щодо маркування пального регулюються національним законодавством, розробленим на основі Директиви 2014/94/ЄС про розгортання інфраструктури для альтернативних видів палива та Директиви 98/70/ЄС, яка встановлює, зокрема, екологічні вимоги до пального

для двигунів із примусовим і компресійним запалюванням.

У результаті виникає ситуація, коли підприємство-імпортер, поширюючи пальне (автомобільні бензини чи дизельне паливо) під назвою, зазначеною у документі, виданому іноземним суб'єктом господарювання або органом з оцінки відповідності, не дотримується вимог Додатку 1 до Регламенту, щодо позначення пального.

Таким чином, у розповсюджувачів виникає потреба під час роздрібного постачання вносити зміни до позначень пального, розміщених у місцях, доступних для споживачів, а також у розрахункових документах, щоб привести їх у відповідність до вимог Додатку 1 до Регламенту. Водночас виконання цієї вимоги неможливе у документах, виданих іноземними суб'єктами господарювання чи органами з оцінки відповідності, оскільки вони ґрунтуються на положеннях європейського законодавства. Вітчизняні суб'єкти, своєю чергою, не мають можливості забезпечити таку зміну в позначенні без проведення процедури оцінки відповідності.

Головне управління ДФС у м. Києві в індивідуальній податковій консультації від 17.08.2018 р. № 3568/ПК/26-15-14-08-28 коментує питання зміни назви імпортованого товару, зокрема пального, таким чином: оскільки *«первинним документом, на підставі якого в обліку відображається придбання товару (ввезеного на митну територію України), є митна декларація, складена з дотриманням установлених законодавством вимог...»* [12], то назва імпортованого товару в номенклатурі підприємства має відповідати інформації, зазначеній у митній декларації. Аналогічна позиція міститься й у листі ГУ ДФС у м. Києві від 31.03.2017 р. № 6964/10/26-15-14-05-04-22: *«...для оприбуткування імпортованого товару слід застосовувати інформацію, наведену у ВМД (митній декларації)»* [11].

Отже, простежується чітка позиція податкових органів: на всіх етапах постачання товарів (імпортованих, підакцизних) до кінцевого споживача продавець зобов'язаний зазначати інформацію, що відповідає документам, які підтверджують придбання відповідної продукції.

Водночас слід враховувати, що назва пального відповідно до вимог Технічного регламенту безпосередньо пов'язана з визначенням його характеристик, складу, якості та інших параметрів. Так, у позначенні бензину:

- перша літера «А» означає паливо для автомобільних двигунів з іскровим (примусовим) запалюванням;
- друга група знаків – цифрове позначення октанового числа (92, 95, 98), визначеного за дослідним методом;
- третя група – символи екологічного класу (Євро-3, Євро-4, Євро-5);

– четверта група – символ визначення вмісту біостанолу (Е0, Е5, Е7, Е10).

Позначення дизельного палива також складається з кількох груп знаків, розташованих у визначеній послідовності через дефіс:

- перша група – «ДП», що позначає дизельне паливо для автомобільних дизельних двигунів;
- друга група – літерне позначення кліматичного періоду (Л – літнє, З – зимове, Арк – арктичне);
- третя група – символи екологічного класу (Євро-3, Євро-4, Євро-5);
- четверта група – символ визначення вмісту метилових/етилових естерів жирних кислот (В0 – за їх відсутності, В5, В7).

Усі зазначені показники мають кількісні параметри, закріплені в додатках 2 і 3 до Регламенту. Відповідно, зміна назви пального є можливою лише після проходження процедури оцінки його відповідності. Ця процедура передбачає використання результатів лабораторних випробувань, які підтверджують відповідність продукції технічним характеристикам і показникам безпеки, а також вивчення технічної документації, опису продукції, інструкцій з експлуатації, паспортів якості, листів безпеки та інших документів, що містять відомості про продукт і його відповідність вимогам Регламенту.

Також слід звернути увагу на вимогу пункту 6 Регламенту, відповідно до якої під час оптового постачання (реалізації) пального розповсюджувач зобов'язаний надати користувачеві, на його вимогу, копію декларації про відповідність. Водночас сама декларація ґрунтується на результатах оцінки відповідності пального вимогам Регламенту.

Окремої уваги заслуговує ситуація, коли в документах, виданих у Європейському Союзі та підтверджуючих відповідність нафтопродуктів стандарту EN 228 (автомобільні бензини), іноді виявляється невідповідність числових показників октанового числа пального визначеного за моторним методом у порівнянні з результатами, отриманими під час аналогічного дослідження у вітчизняній лабораторії.

Причина полягає в тому, що іноземні лабораторії застосовують стандарт LST EN ISO 5163, який регламентує визначення детонаційних характеристик моторного та авіаційного пального. У вітчизняній практиці використовується ДСТУ 8736:2017. Обидва стандарти – і ДСТУ 8736:2017, і LST EN ISO 5163 – є ідентичними міжнародному стандарту ISO 5163, який встановлює моторний метод визначення октанового числа. Отже, з методологічної точки зору, вони збігаються, і результати мали б бути однаковими.

Проте у реальних лабораторних умовах завжди існують похибки вимірювання, які враховуються через показники повторюваності (*repeatability*) та відтворюваності (*reproducibility*).

- Повторюваність (*r*) – це максимальна різниця між результатами послідовних вимірювань, отри-

маних одним оператором на одному обладнанні за однакових умов, яка з імовірністю 95% не буде перевищена.

– Відтворюваність (R) – це максимальна різниця між результатами, отриманими різними операторами у різних лабораторіях на різному обладнанні, яка з імовірністю 95% не буде перевищена.

Хоча конкретні значення цих показників залежать від рівня октанового числа, у середньому для моторного методу вони становлять близько 0,7 одиниці. Це означає, що різниця між двома результатами, отриманими у різних лабораторіях (наприклад, за ДСТУ та за LST EN ISO), може досягати 0,7 одиниці і водночас залишатися в межах допустимої статистичної похибки.

Варто підкреслити, що Технічний регламент є нормативно-правовим актом, прийнятим уповноваженим органом влади, який встановлює обов'язкові вимоги до продукції, процесів чи послуг. Його метою є забезпечення безпеки, якості та відповідності встановленим принципам правового регулювання.

Головні висновки. Складається враження, що після доповнення Пункту 5 Регламенту відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 292 від 16.03.2022 та його узгодження з постановою № 555 від 10.05.2022, текст зазнав істотних суперечностей між окремими положеннями. Це призвело до порушення основних принципів нормотворчості, зокрема:

– принципу системності, який передбачає узгодженість норм, їх взаємозв'язок у межах одного акта та в системі законодавства загалом;

– принципу ясності й доступності, що вимагає чітких формулювань, точності термінів та використання зрозумілих юридичних конструкцій.

Разом з тим, зазначене доповнення до Регламенту було прийнято як оперативна відповідь на наслідки збройної агресії Російської Федерації, спрямованої на створення паливної кризи в державі. Метою цих норм стало швидке наповнення внутрішнього ринку паливом та усунення дефіциту. Вони ґрунтуються на положеннях Закону України «Про правовий режим воєнного стану», зокрема статті 28, яка визначає: «Нормативно-правові акти, прийняті до набрання чинності цим Законом, діють у частині, що не суперечить цьому Закону».

Переваги регулювання у період воєнного стану полягають у наданні державі розширених повноважень для забезпечення оборони, безпеки та безперервного функціонування суспільства. До них належать: оперативне реагування на екстремальні умови, мобілізація ресурсів, адаптація трудових та інших відносин, а також тимчасове, зумовлене загрозою, обмеження конституційних прав і свобод громадян та правових інтересів юридичних осіб із визначенням строків їх дії.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані як основа для розроблення методичних рекомендацій щодо проведення заходів ринкового нагляду та тлумачення положень Закону України «Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції» і Регламенту. Особливої уваги заслуговує питання перевірки характеристик продукції, митне оформлення якої було призупинене, а також порядок дій органів ринкового нагляду на підставі повідомлень митних органів. Йдеться, зокрема, про вжиття необхідних та пропорційних заходів, передбачених законом, з метою забезпечення законності та захисту прав учасників ринку.

Література

1. Плавич В.П. Імплементація норм і принципів сучасного міжнародного права у внутрішнє право (порівняльно-правові аспекти). Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління. Одеський національний університет імені І. І. Мечникова. Одеса: *Наука і техніка*, 2017. Т. 16. Вип. 2. С. 39-52.
2. Брацук І. З. Механізм імплементації норм права ЄС у національні правопорядки держав-членів. *Юридична Україна*. – 2009. – № 5. – С. 126-131.
3. Луць Л. Формування правового механізму взаємодії України з Радою Європи та Євросоюзом. *Віче*. – 2006. – Вип. 7–8. – С. 54–55.
4. Середа Т. М. Загальнотеоретична характеристика механізму імплементації норм права Європейського Союзу в Україні. *Науковий вісник Національної академії внутрішніх справ*. 2013. № 2. С. 405-411.
5. Про ратифікацію Рамкової угоди між Україною та Європейським Союзом щодо спеціальних механізмів реалізації фінансування Союзу для України згідно з інструментом Ukraine Facility: Закон України від 06.06.2024 р. № 3786-IX. Відомості Верховної Ради України. 2024. № 41, стор. 2, стаття 254.
6. Про правовий режим воєнного стану: Закон України від 12.05.2015 року № 389-VIII. Дата оновлення 14.05.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text> (дата звернення 20.10.2025).
7. Технічний регламент щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив: Постанова Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 р. № 927. Дата оновлення 26.01.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення 20.10.2025).
8. Про припинення заходів державного нагляду (контролю) в умовах воєнного стану: Постанова Кабінету Міністрів України від 13.03.2022 р. № 303. Дата оновлення 24.10.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/303-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення 20.10.2025).
9. Про внесення змін до Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив: Постанова Кабінету Міністрів України від 16.03.2022 р. № 292. Офіційний вісник України. 2022. № 25. С. 455.

10. Про внесення змін до постанов Кабінету Міністрів України від 1 серпня 2013 р. № 927 і від 26 травня 2021 р. № 523: Постанова Кабінету Міністрів України від 10.05.2022 р. № 555. Офіційний вісник України 2022. № 40, С. 107.
11. Лист ГУ ДФС у місті Києві від 31.03.2017 року № 6964/10/26-15-14-05-04-22. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/UPR17055> (дата звернення 29.10.2025).
12. Індивідуальна податкова консультація Головного управління ДФС у місті Києві від 17.08.2018 року за № 3568/ІПК/26-15-14-08-28. URL: <https://ipk.vobu.ua/view/6853-3568-ІПК-26-15-14-08-28> (дата звернення 29.10.2025).
13. EN 228:2012+A1:2017 Automotive fuels – Unleaded petrol – Requirements and test methods. URL: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/81cde377-aac3-4a49-9bde-bb71e02c4585/en-228-2012a1-2017?srsId=AfmBOoowZAcgL_19-4j9I-84Wmlsq9KwLbS7nQbmZ4mFJNSyKruHzХуА (дата звернення 20.10.2025).
14. EN 590:2025 Automotive fuels – Diesel – Requirements and test methods. URL: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/afae4da1-e17c-4def-9e92-19752938de62/en-590-2025?srsId=AfmBOorWi-Qs_-IC99vW5OCUFN1pNTigf9zPA-F92IAcV4_Y1SRpAG0K (дата звернення 20.10.2025).
15. ДСТУ 8736:2017 Паливо для двигунів. Моторний метод визначення октанового числа. 2017. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73930 (дата звернення 20.10.2025).
16. LST EN ISO 5163:2014 Petroleum products – Determination of knock characteristics of motor and aviation fuels – Motor method. URL: <https://www.iso.org/standard/61715.html> (дата звернення 29.10.2025).
17. Директива 98/70/ЄС Європейського Парламенту та Ради Європейського Союзу від 13.10.1998 р. Щодо якості бензину та дизельного палива та внесення змін до Директиви Ради 93/12/ЄС. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60061 (дата звернення 20.10.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРАЦІВНИКІВ ОБ'ЄКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА

Євтушенко О.В., Сірик А.О., Шевченко О.Ю., Літвинчук С.І., Маринін А.І., Святненко Р.С.
Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, 01601, м. Київ
0677389857@ukr.net

У роботі проаналізовано основні екологічні проблеми галузі бджільництва та особливості організації виробничого процесу на об'єктах бджільництва. Розглянуто умови праці працівників на основі Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві НПАОП 01.0-1.02-18 (Глава XI), вимог міжнародного законодавства та професійного стандарту майстра з комплексного обслуговування об'єктів бджільництва під час виробничої діяльності. Розуміння екологічних особливостей з урахуванням безпеки праці працівників об'єктів бджільництва під час виробничої діяльності дозволить запропонувати заходи, які необхідно впровадити для мінімізації виробничих ризиків травмування працівників та наслідків екологічних проблем для галузі. Розглянуто особливості організації робочого місця із використанням спецодягу, засобів індивідуального захисту, дотриманням правил безпеки при експлуатації обладнання, правил пожежної безпеки та санітарно-гігієнічних вимог. Запропоновано заходи на основі концепції з синергії ключових цілей-напрямків Рамкової Стратегії Європейського Союзу із безпеки та здоров'я на роботі «Безпека праці та охорона здоров'я на роботі в мінливому світі праці» (БЗР) на 2021–2027 роки. Захист працівників від небезпечних чинників, що загрожують здоров'ю та безпеці на роботі є головною складовою забезпечення стабільних гідних умов праці, а впровадження Рамкової Стратегії БЗР в систему управління безпекою праці об'єктів бджільництва створює основу для дій, співпраці, обміну та забезпечить урахування належним чином стандартів БЗР як частини зобов'язань щодо трудових і соціальних стандартів. Отримані результати можуть бути використані при створенні інформаційного забезпечення системи екоменеджменту та системи управління охороною праці на об'єктах бджільництва в частині розробки систем управління та контролю екологічної безпеки, безпеки праці. В цілому робота присвячена актуальній проблемі у сфері екології та безпеки праці працівників об'єктів бджільництва для ефективного управління, контролю, систематизації та моніторингу процесів виробництва з урахуванням екологічних особливостей галузі. *Ключові слова:* бджільництво, екологічна безпека, безпека праці, здоров'я, працівник, охорона праці.

Environmental features and occupational safety of beekeeping facilities employees. Yevtushenko O., Siryk A., Shevchenko O., Litvynchuk S., Marynin A., Svyatnenko R.

In this paper, the main environmental problems of the beekeeping industry and the features of the organization of production process at beekeeping facilities and analyzed. THE WORKING CONDITIONS OF EMPLOYEES AND CONSIDERED BASED ON RULES OF LABOR PROTECTION IN AGRICULTURAL PRODUCTION (NPAOP 01.0-1.02-18, CHAPTER XI), the requirements of international legislation and the professional standard of the beekeeping master regarding the maintenance of beekeeping facilities during production activities. Understanding the ecological features and safety requirements for employees of beekeeping facilities during production activities allows for the introduction of measures necessary to minimize occupational injury risks and consequences of environmental problems for the industry, the peculiarities of organizing the workplace using special tools, personal protective equipment, adherence to safety rules during equipment operation, fire safety regulations, and sanitary and hygienic requirements are considered. Proposed measures are based on the concept and synergy of the key directions of the European Union Framework Strategy on Occupational Safety and Health "Occupational Safety and Health at work" for 2021–2027. Protecting workers from hazardous factors that threaten health and safety at work is the main component of ensuring stable and decent working conditions and the implementation of the EU Framework Strategy on Occupational Safety and Health (OSH). The occupational safety management system at beekeeping facilities creates conditions for cooperation, information exchange, and public awareness regarding labor and social standards. The obtained results can be used when developing information support systems for environmental management and occupational safety management systems at beekeeping facilities, particularly in the development of systems for managing and monitoring environmental safety and labor protection. This paper highlights current problems in the field of ecology and occupational safety of beekeeping workers to ensure effective management, control, systematization, and monitoring of production processes, taking into account the environmental characteristics of the industry. *Key words:* beekeeping, environmental safety, occupational safety, health, employee, occupational health.

Постановка проблеми. Сільське господарство є однією із стратегічних галузей вітчизняної економіки найбільш важливим завданням якої є забезпечення продовольчої безпеки, створення належних умов та безпеки праці для сталого розвитку, соціальної стабільності й підвищення якості життя населення. Забезпечення динамічного розвитку аграрного сектору економіки України, підвищення ефективності та продуктивності праці значною

мірою залежать від стану умов та охорони праці у галузі [1]. Одне із найважливіших місць серед галузей аграрного сектору займає бджільництво, основою функціонування якого є бджолопродукти: мед, віск, квітковий пилок, прополіс, перга, маточне молоко, бджолиний підмор та трутневий гомогенат, які є важливою сировинною базою. Крім цього, бджоли виконують важливу роль у процесі запилення окремих видів рослин, що робить їх

ключовими учасниками в екосистемі та сільсько-господарському виробництві. Адже в Україні є всі передумови для успішного ведення цієї діяльності – сприятливі кліматичні та природні умови, достаток медоносів у лісах, лугах і степах, працьовитість українських господарів. Україна займає вигідне географічне положення, що робить доцільним розвиток бджільництва в масштабах, які дають змогу виробляти продукцію не тільки для задоволення внутрішнього попиту, а й на експорт.

Оцінюючи сучасний стан галузі бджільництва, варто підкреслити, що Україна входить до числа провідних експортерів меду у світі. Основним ринком збуту українського меду є ЄС, куди відправляється 80 % продукції. Зокрема, за обсягом поставок у 2024 році перше місце зайняв Китай (169,6 тис. т), друге місце – Індія (94,8 тис. т), а третє місце – Україна (85,8 тис. т). Україна також постачає мед до таких країн, як Болгарія, Данія, Ізраїль, Іспанія, Італія, Ліберія, Маршаллові острови, Німеччина, Польща, Румунія, Сінгапур, Туреччина, Угорщина, Франція, Чехія та Швейцарія. Найбільшими імпортерами українського меду є Німеччина, Польща, Франція та Іспанія [2]. З огляду на прагнення України інтегруватись у європейську та світову системи господарювання великого значення потребують вирішення проблем забезпечення гуманізації умов праці та визначення пріоритетної ролі людського чинника у створенні ефективної системи регулювання соціально-трудових відносин в аграрному секторі. Однією з операційних цілей Стратегії сталого розвитку України до 2030 року, схвалених на Саміті ООН, визнано забезпечення реалізації політики, яка сприяє продуктивній діяльності створенню гідних умов праці [3], що зумовило актуальність і необхідність проведення дослідження екологічних особливостей та безпеки праці працівників об'єктів бджільництва.

Актуальність дослідження. На сьогодні в умовах ринкової трансформації головним у процесах екологізації виробництва стає власник, підприємець. А це означає, що екологічне підприємництво має якнайповніше використовувати ринкові механізми в розв'язанні екологічних проблем сталого розвитку суспільства. Основні цілі екологізації бджільництва мають включати питання розвитку сталого землекористування при висіві медоносних культур, забезпечення внесення органічних добрив, контролю за використанням пестицидів та здійсненням моніторингу екологічної безпеки й забезпечення сертифікації органічного бджільництва [4]. Також необхідно відмітити, що військові дії сприяють появі негативних екологічних чинників, що становлять ризик для бджільництва, насамперед на прикордонних територіях [5]. Варто відзначити, що більшість виробників меду у країні зосереджено у власних господарствах, і лише обмежена частина відводиться зареєстрованим суб'єктам господарювання [6].

Тому, виходячи із умов сьогодення, зважаючи на важливість галузі бджільництва, необхідно акцентувати увагу на дослідженні екологічної складової, умов та безпеки праці працівників об'єктів бджільництва для ефективного управління, контролю, систематизації та моніторингу процесів виробництва.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Розглянута тема відповідає актуальним науковим дослідженням у сфері екології та безпеки праці працівників галузі бджільництва. Слід зазначити, що в Україні відбувається гармонізація національного законодавства з європейськими та міжнародними стандартами, в тому числі шляхом впровадження в систему управління охорони праці Рамкової Стратегії Європейського Союзу із безпеки та здоров'я на роботі «Безпека праці та охорона здоров'я на роботі в мінливому світі праці» (БЗР) на 2021–2027 роки [7]. Ключове значення Рамкової Стратегії БЗР має посилення взаємодії з країнами-партнерами ЄС, регіональними й міжнародними організаціями та іншими міжнародними форумами задля підвищення стандартів безпеки та охорони здоров'я на роботі у світовому масштабі. Потенційним кандидатам надається підтримка з узгодження їх правової бази та політики з БЗР із законодавством ЄС. Захист працівників від небезпечних чинників, що загрожують здоров'ю та безпеці на роботі, є головною складовою забезпечення стабільних гідних умов праці. Це дає змогу зменшити ризики для здоров'я на роботі та покращити стандарти БЗР у масштабах ЄС та в усіх галузях виробництва. Захист здоров'я й безпеки працівників закріплені, у Договорах [8] і Хартії основних прав ЄС, є одним із ключових елементів економіки ЄС. Право на здорове та безпечне робоче місце відображено у принципі 10 Європейської опори соціальних прав і має вирішальне значення для досягнення Цілей сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй. Такий принцип є також одним із компонентів Європейського союзу охорони здоров'я. У Рамковій Стратегії з БЗР на 2021–2027 роки, анонсованій у плані дій із Європейської опори соціальних прав, встановлені ключові пріоритети та заходи, що необхідні для покращення здоров'я та безпеки працівників у наступні роки в умовах постпандемічного періоду, що включає екологізацію та цифровізацію, економічні та демографічні виклики та зміну поняття традиційного робочого середовища. Здорові та безпечні умови праці – це передумова існування здорової та продуктивної робочої сили. Ніхто не мусить страждати від захворювань або нещасних випадків, пов'язаних із трудовою діяльністю. Цей чинник, до того ж, є важливим аспектом як сталості, так і конкурентоспроможності економіки ЄС. На основі концепції з синергії ключових цілей-напрямків Рамкової Стратегії БЗР пропонується нова модель для сталого розвитку організації, де присутній взаємозв'язок трьох складових: економічного

розвитку, безпеки праці та екологічної безпеки [9]. Впровадження Рамкової Стратегії БЗР в систему управління безпекою праці об'єктів бджільництва утворює основу для дій, співпраці, обміну та забезпечить урахування належним чином стандартів БЗР як частини зобов'язань щодо трудових і соціальних стандартів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджуючи наукову літературу щодо розвитку галузі бджільництва, можна стверджувати про вагомий науковий доробок Т. Мірзоевої та Л. Ільківа щодо характеристики ризиків, які супроводжують бджільництво на сучасному етапі господарювання і окреслюють перспективи розвитку галузі [10]. Колектив авторів О. Лукаш, А. Давиденко, Є. Пирожков розглядають екологічні аспекти негативного впливу військових дій на сучасний стан та подальший розвиток бджільництва [11]. Дослідження умов та безпеки праці працівників аграрного сектору економіки України розглянуті в роботах: О. Войналовича [12–17], О. Левченко [18–19], І. Подобєда [20–25], О. Костенко [26], А. Соколової [1] тощо. У проаналізованих наукових працях не досліджені питання умов та безпеки праці працівників об'єктів бджільництва з урахуванням екологічних особливостей. Це зроблено авторами вперше, що підсилює значення проведених досліджень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Основною задачею науковців в сфері екології галузі бджільництва є дослідження екологічної складової з урахуванням безпеки праці на робочих місцях об'єктів бджільництва. Проведений аналіз науково-практичної літератури [1, 12–26] свідчить щодо недостатнього вирішення питання екологічних особливостей, умов та безпеки праці працівників об'єктів бджільництва під час виробничої діяльності з урахуванням вимог вітчизняного та міжнародного законодавства.

Новизна. Новизна дослідження полягає у комплексному дослідженні умов та безпеки праці працівників об'єктів бджільництва з урахуванням екологічних особливостей галузі. Результати наукової роботи дадуть змогу впроваджувати відповідні заходи щодо мінімізації виробничих ризиків та обґрунтувати управлінські рішення контролю екологічної безпеки з урахуванням безпеки праці працівників об'єктів бджільництва.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження екологічних особливостей та безпеки праці працівників об'єктів бджільництва має як методологічне, так і наукове значення. Проведене дослідження допоможе розробити інструментарій для оцінки ризиків у галузі бджільництва – виробничих ризиків, а також ризиків від використання хімічних речовин. Результати дослідження можна застосувати для розробки ергономічних рішень, що зменшують ризик травм працівників. Дослідження

безпеки праці працівників об'єктів бджільництва також впливає на екологічні аспекти, пов'язані із застосуванням пестицидів, що впливають на здоров'я бджолиних сімей. Виявлення ризиків, пов'язаних з хімічними речовинами, сприяє розробці безпечних методів ведення бджільництва.

Метою статті є дослідження умов та безпеки праці працівників об'єктів бджільництва з урахуванням екологічних особливостей галузі.

Виклад основного матеріалу. Законодавство України, а саме Закон України «Про бджільництво» з поточною редакцією від 18 січня 2025 р., регулює відносини щодо розведення, охорони бджіл, виробництва, заготівлі та переробки продуктів бджільництва, а також ефективного використання бджіл для запилення ентомофільних рослин сільськогосподарського призначення, інших видів запилювальної флори, створення умов для підвищення продуктивності бджіл і сільськогосподарських культур, забезпечення гарантій дотримання прав та захисту інтересів фізичних і юридичних осіб, які займаються бджільництвом [27].

На рис. 1 зазначені основні екологічні проблеми в галузі бджільництва, що пов'язані із забрудненням середовища, зокрема, використання пестицидів під час обробки сільськогосподарських культур, особливо під час цвітіння, що призводить до загибелі бджіл. Це є однією з найсерйозніших проблем для бджільництва. Також іншими проблемами є: зменшення посівів медоносних (ентомофільних) рослин та втрата дикоростучих медоносів, що призводить до нестачі їжі для бджіл; погіршення стану довкілля, загальне забруднення повітря, води та ґрунтів промисловими відходами та іншими шкідливими речовинами, що негативно впливає на здоров'я бджіл, які є індикаторами екологічної чистоти території; глобальне потепління, яке може призвести до порушення природних циклів цвітіння рослин та впливати на активність бджіл; недостатній ветеринарний контроль, що сприяє поширенню хвороб (наприклад, вароатозу) серед бджіл та призводить до загибелі цілих сімей.

Наслідками екологічних проблем для галузі бджільництва є: зменшення чисельності бджіл (масове отруєння та хвороби призводять до різкого скорочення їх популяції), що загрожує не тільки галузі, а й запиленню багатьох сільськогосподарських культур; зниження продуктивності (навіть якщо бджоли виживають, вони можуть бути ослаблені, що призводить до зниження виробництва меду, воску та інших бджолопродуктів); втрата біорізноманіття (бджоли є ключовими запилювачами, тому їх зникнення негативно впливає на всю екосистему, призводячи до зниження врожайності диких і культурних рослин).

На працівників об'єктів бджільництва в процесі виробничої діяльності впливають наступні чинники: фізичні (робота з важким інвентарем, вплив темпе-

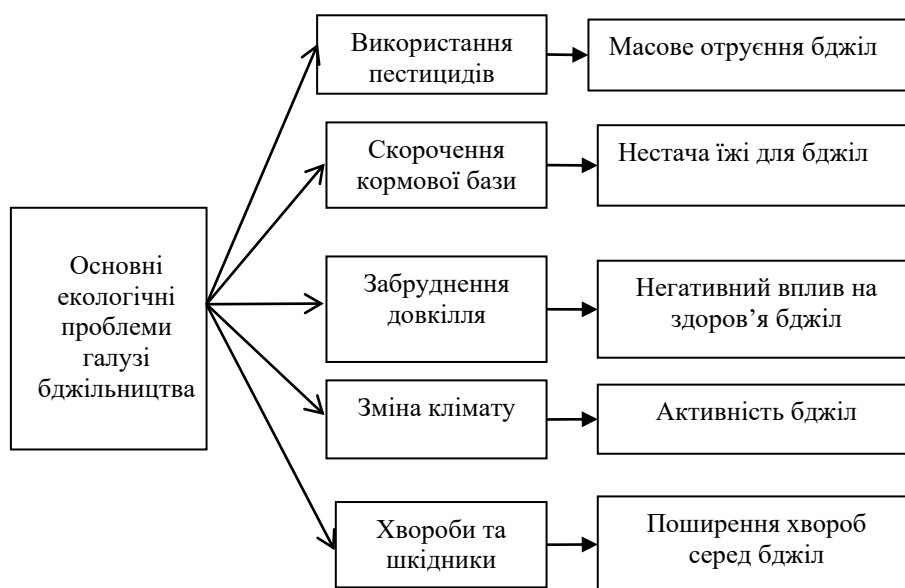


Рис. 1. Основні екологічні проблеми галузі бджільництва

ратури, шуму, статичні та динамічні навантаження); хімічні (дим, хімікати для дезінфекції та обробки, а також алергени в повітрі); біологічні (укуси бджіл та інших комах, контакт з алергенами, що можуть спричинити алергічні реакції); психофізіологічні (емоційне напруження) та нервово-психологічні (стрес пов'язаний з можливими укусами, відповідальність за пасіку, необхідність приймати рішення в стислі терміни). Необхідно пам'ятати про те, що мед та інші бджолопродукти, зокрема прополіс, є сильними алергенами. Тому працівникам схильним до алергічних захворювань, потрібно бути обережними під час виробничої діяльності. На кожному етапі виробництва меду існує безліч ризиків, які залежать в тому числі і від природних умов [28].

На рис. 2 представлені особливості організації виробничого процесу на об'єктах бджільництва, які зумовлюють виробничі ризики травматизму працівників.

Основні вимоги щодо створення та організації безпечної праці на об'єктах бджільництва визначені в Правилах охорони праці у сільськогосподарському виробництві НПАОП 01.0-1.02-18, зокрема Глава XI «Вимоги безпеки в бджільництві» [29]. При виконанні робіт на об'єктах бджільництва, а також при підготовці меду для експорту, необхідно дотримуватися вимог міжнародного законодавства. Так, у документах Міжнародної організації праці Конвенція № 155 «Про безпеку та гігієну праці» [30] зобов'язує держави-виробники створювати політику безпечних умов праці у всіх галузях, включно з аграрною; Конвенція № 184 «Про безпеку та гігієну праці в сільському господарстві» [31] стосується працівників пасік, визначає вимоги до обладнання, використання хімічних речовин, навчання персо-

налу. ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці» [32] підтримує принципи належної гігієнічної практики (GHP) і системи НАССР.

Згідно професійного стандарту [33] майстер з комплексного обслуговування об'єктів бджільництва (код професії 6123) виконує комплекс робіт по догляду за бджолиними сім'ями, формує нові бджолині сім'ї, пакети бджіл для пересилання; проводить селекційно-племінну роботу з поліпшення племінних якостей бджіл, бонітування бджолиних сімей для подальшого їх використання в селекційному процесі, кочівлю, відбір та відкачування меду, заготівлю і переробку продуктів бджільництва. У таблиці 1 представлено основні предмети та знаряддя праці майстра з комплексного обслуговування об'єктів бджільництва під час виробничої діяльності (згідно професійного стандарту).

Вимоги безпеки для майстра з комплексного обслуговування об'єктів бджільництва, згідно чинних Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві [29] включають: використання засобів індивідуального захисту (спецодяг, зокрема, куртка і сітка бджоляра, рукавички, захисні окуляри); дотримання правил поводження з інструментами (теплоізоляція, електробезпека); безпечну висоту штабелювання вуликів (не більше 2 м) та достатню ширину проходів (не менше 0,8 м). Також важливо уникати протягів, стежити за порядком на робочому місці та використовувати припливно-витяжну вентиляцію під час певних робіт.

При роботі на об'єкті бджільництва необхідно пам'ятати: бджоли не люблять різкі пахощі (косметика, алкоголь, харчові продукти, які гостро пахнуть) і швидкі рухи, оскільки це викликає у них

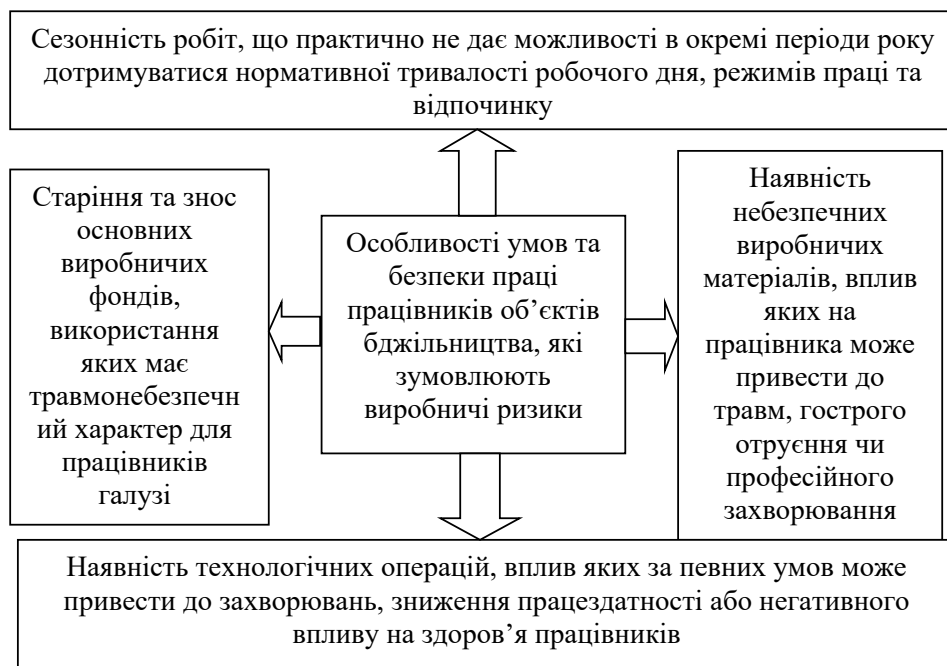


Рис. 2. Особливості організації виробничого процесу на об'єктах бджільництва, які зумовлюють виробничі ризики травматизму працівників

Таблиця 1

Основні предмети та знаряддя праці майстра з комплексного обслуговування об'єктів бджільництва під час виробничої діяльності

Трудові функції	Предмети та знаряддя праці
Загальне обслуговування об'єктів бджільництва	автоматизована лінія із розпечатування і відкачування медових стільників, комплект інвентарю та обладнання для обслуговування бджолиних сімей
Проведення селекційно-плеємних робіт	трубка Флобер, матковловлювач, маркер для мітки бджолиних маток, клітка маткова, пристрій для вилову маток, ковпачок для підсадки маток, шпатель для перенесення личинок, нуклеус, форма для виготовлення воскових мисочок, ящик для бджолопакетів, роївня, куртка бджоляра, сітка бджоляра
Переробка продукції бджільництва	вулик, поїлка для бджіл, годівниця, пилокзбірник, воскотопка парова, прополісо-збірник, трутневловлювач, медогонка, скреп ремінний, подушка на вулик, пастка для ос, тент на контрольний вулик, рамка Рута, рамка Дадана, намет для відкачки меду, совок-лопатка, ніж пасічний, фільтр для меду, каток голчастий для розпечатування стільників, декристалізатор меду, вилка з прямими (вигнутими) голками, фільтр-воронка, стіл для розпечатки стільників, стамеска пасічна, димар, рамконос, роївня, захват для рамок, щітка пасічна, відро для меду, куботейнер, відстійник ваги бджільницькі для контрольного вулика, імпульсні інфрачервоні сушарки
Фасування, пакування та зберігання продуктів бджільництва	автоматичний міністіл з дозатором, пристрій для дозування, і накачування меду з блатом (зубчастий модуль), відстійник поліпропіленовий з краном, насос-дозатор для розливу меду з підставкою, відстійник для меду з ситом вертикальним з підігрівом

сильне роздратування. Тому, перш ніж приступити до огляду бджолиних сімей, необхідно надіти чистий одяг, а голову і обличчя закрити спеціальною сіткою. Не можна оглядати бджолині сім'ї у пізній вечірній час, в погану і вітряну погоду, в період, коли відсутній медозбір, обкурювати бджіл гарячим димом. Тільки холодний дим у невеликих дозах може заспокоїти їх. Якщо виникає потреба оглянути бджіл у той період, коли немає медозбору, краще робити

це наприкінці дня. Сильно роздратовуючись, бджола жалить людину. На місці ужалень відчувається сильний біль, і через кілька хвилин виникає запальний набряк. Людина відчуває запаморочення, слабкість, тиск у грудях. На шкірі може утворитися сип. При великій кількості ужалень (до 200...400) виникає тяжка токсична реакція, яка супроводжується головним болем, нудотою, сильним виділенням поту, а також значним підвищенням темпера-

тури тіла. Інколи може виникнути розлад шлунку і відбутися втрата свідомості. При 500 і більше ужалень настає смерть від паралічу дихального центру. Слід відзначити, що серйозну небезпеку становить ужалення в рогівку ока, а також глотку, піднебіння, язик. Імунітет до бджолоїної отрути, який виробляється організмом людини, як правило, нестійкий і при тривалих перервах у роботі з бджолами зникає. У зв'язку з цим навіть у працівників, які працюють тривалий час, навесні організм значно чутливіше реагує на укуси, ніж влітку.

Згідно Правил безпеки праці при обслуговуванні машин і обладнання [34] до роботи на машинах і механізмах, що використовуються в бджільництві, можуть бути допущені лише особи, не молодші за 18 років, обізнані з їхньою будовою, правилами експлуатації і безпеки праці. У місцях встановлення машин і механізмів повинна бути на видному місці інструкція по їх безпечному обслуговуванню; медогонки, віброножі та інші механізми мають бути добре закріплені на міцних фундаментах чи верстатах. Кріпильні болти медогінок обов'язково повинні мати контргайки, а стержні болтів – виступати за поверхню гайок на півтора-два витки. Корпуси електромедогінок і віброножів повинні бути надійно заземлені. Після встановлення устаткування необхідно перевірити його технічний стан, випробувати роботу на холостому ходу, а потім під навантаженням. Забороняється експлуатація при частоті обертання, вищій за зазначену у паспорті. Монтуючи устаткування, необхідно вжити заходів, що забезпечують зниження виробничого шуму і вібрації. Категорично забороняється залишати без нагляду електричні медогонки та віброножі, що працюють. Після ремонту чи тривалої зупинки пуск машин і устаткування може бути здійснений тільки головним інженером (механіком) або інженером з механізації. Готовність устаткування до подальшої експлуатації оформлюється актом. Згідно Правил безпеки праці при роботі у цехах по переробці продуктів бджільництва, виконуються такі роботи: підігрівання і розфасування меду; переробка воскової сировини; збирання прополісу з рамок і полотнинок. При цьому необхідно дотримуватись правил експлуатації і устаткування, щоб запобігти можливим травмам. При перетоплюванні стільників на паровій воскотопці не дозволяється закривати кран для зливу, тому що від високого тиску пари може статися вибух. Необхідно дотримуватись запобіжних заходів і при роботі з пасічним воскопресом, тому що гаряча вода і розплавлений віск можуть спричинити важкі опіки. При відкачуванні меду медогонка повинна бути закрита кришкою. Категорично забороняється відкривати кришку, проводити встановлення чи виймання стільників при вимкненому роторі медогонки. При пропусканні полотнянки між вальцями (барабанами) руки необхідно тримати подалі від барабана, щоб уникнути травми. При розпечатуванні стіль-

ників з медом за допомогою віброножа чи парового ножа потрібно дотримуватись запобіжних заходів, передбачених правилами для роботи з електроприладами і паровими установками.

Згідно правил пожежної безпеки, що регламентується Кодексом цивільного захисту України [35] та Правилами пожежної безпеки в Україні [36], при роботі на об'єктах бджільництва необхідно запобігти виникненню пожежі. Працівники повинні пам'ятати: до всіх пасічних споруд має бути вільний підхід; проходи, виходи, коридори, тамбури, сходи, горищні приміщення всіх будівель утримують у справному стані і нічим не захащують; приміщення, де є печі і плити, можна розміщувати не ближче як за 25 м від зимівника.

Більшість досліджень, проведених у сфері бджільництва, зосереджені на здоров'ї бджіл, їх захисту від хвороб та способах отримання більшого врожаю. Проте існують ергономічні ризики під час бджільницької діяльності, які впливають на здоров'я працівників та опосередковано впливають на продуктивність праці. Найважливішими ергономічними ризиками для працівників є ті, що загрожують здоров'ю опорно-рухового апарату. Ці ризики виникають через роботу у неправильній позі тіла протягом тривалого часу або через використання неергономічних ручних інструментів [37]. При перевезенні вуликів на медозбір необхідно дотримуватись вимог законодавства щодо переміщення вантажів вручну як для чоловіків, так і для жінок [38]. Перед відправленням транспорту з бджолами необхідно перевірити наявність аптечки для надання домедичної допомоги (йод, бинт, нашатирний спирт, джгут тощо). Перед навантаженням частини вулика (дно, корпус, надставка, піддашник, дах) повинні бути наглухо з'єднані спеціальною скріпою чи збиті між собою дерев'яними брусками, а льотки вулика закриті або в них встановлена металева сітка. Після навантаження на автомобіль вулики необхідно зафіксувати, перев'язавши товстою мотузкою. Якщо під час руху транспорту відкриється льоток чи зсунеться з місця складова частина вулика, треба негайно зупинити автомобіль і усунути дефекти, які виникли. При перевезенні бджолиних сімей необхідно мати з собою димар і крутий розчин глини, що дає змогу швидко замазати у вулику можливі щілини, через які можуть вилетіти бджоли. Після прибуття на пасіку вулики з бджолами обережно знімають з автомобіля і розносять по заздалегідь визначених місцях.

При проведенні профілактичних заходів на пасіці необхідно дотримуватись обережності, особливо при використанні засобів для дезінфікації та хімікатів. Здійснюючи дезінфекцію, газацию (зимівників, стільникосховищ, стільників під плівкою), необхідно пам'ятати: проводити газацию забороняється, якщо об'єкт розміщений на відстані менш як 200 м від житлових і 100 м – від виробничих приміщень, якщо перед початком роботи сила вітру становить

понад 7 м/с; проводити газацию приміщень дозволяється лише при температурі (як зовнішньої, так і всередині приміщення) не нижче 10 і не вище 25 °С (під час спеки робота виконується вранці). Роботу проводить бригада у кількості не менше трьох працівників, які заздалегідь пройшли спеціальне навчання. Всі члени бригади повинні мати протигазу відповідного розміру. Брати з собою в приміщення, що піддається газациї, тютюнові вироби, їжу та напої категорично заборонено. До проведення газациї у приміщенні щільно зачиняють всі вікна, люки і вентиляційні отвори. Працівники надягають протигазу і комбінезони, які пошиті із тканини з плівковим хлорвініловим покриттям. Після виконання робіт бригада виходить із приміщення, щільно зачиняє двері і лише після цього знімає протигазу. Після закінчення газациї приміщення працівники знову надягають протигазу, заходять, в стільниковосховище чи зимівник і починають дегазацию, відчиняючи при цьому вентиляційні отвори, люки, вікна і двері. Дезінфекцію вуликів необхідно здійснювати шляхом пропалювання їх паяльною лампою з наступним промиванням лужним розчином і гарячою водою. Перед роботою з паяльною лампою необхідно уважно ознайомитися з правилами її експлуатації, а також стежити, щоб лужний розчин не потрапив на незахищені ділянки тіла.

Ефективними заходами щодо попередження виробничих ризиків та підвищення безпеки праці працівників об'єктів бджільництва є: навчання та перевірка знань з питань охорони праці, проведення інструктажів, підвищення трудової дисципліни, забезпечення безпечної експлуатації виробничого обладнання та устаткування, забезпечення періодичних медоглядів, використання засобів індивідуального захисту, здійснення ефективного контролю стану охорони праці під час виробничої діяльності.

Головні висновки. На підставі проведеного дослідження розглянуто основні екологічні проблеми галузі бджільництва, які пов'язані із забрудненням середовища, зменшенням посівів медоносних (ентомофільних) рослин та втрати дикоростучих медоносів, погіршенням стану довкілля, недостатнім ветеринарним контролем, і, як наслідок, зменшенням чисельності бджіл, зниженням продуктивності, втратою біорізноманіття. Це негативно впливає на всю екосистему в цілому. Проаналізовано виробничі ризики травматизму працівників під час виробничого процесу. Розглянуто основні вимоги щодо створення та організації безпечної праці на об'єктах бджільництва. Тому для підвищення рівня безпеки праці працівників з урахуванням екологічних особливостей об'єктів бджільництва необхідна правильна організація робочого місця, використання спецодегу, засобів індивідуального захисту, вчасне проходження навчання з охорони праці та медоглядів, дотримання правил експлуатації обладнання та санітарно-гігієнічних вимог на пасіці та в цеху з обробки меду. Це є важливе для запобігання контамінації продукту та захисту здоров'я працівників.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані при створенні інформаційного забезпечення системи екоменеджменту та системи управління охороною праці на об'єктах бджільництва в частині розробки систем управління та контролю екологічної безпеки, безпеки праці.

Перспективним напрямком подальших досліджень у зазначеній сфері може бути широке коло питань щодо розроблення методів визначення причинно-наслідкових зв'язків ризику травмування працівників об'єктів бджільництва з урахуванням екологічної складової та розроблення ефективних заходів щодо підвищення рівня безпеки праці.

Література

- Соколова А.О., Кільницька О.С., Старунська Л.В. Умови та охорона праці в аграрному секторі: сучасний стан та ідентифікація проблеми. *Причорноморські економічні студії*. 2021. Вип. 71. С. 157-164. DOI: <https://doi.org/10.32843/bses.71-25>
- Літвинчук С.І., Сірик А.О., Євтушенко О.В., Святненко Р.С. Аналіз та практичне застосування європейських стандартів контролю якості і безпечності меду. *Здорове харчування від дитинства до довголіття: комплексний підхід, стан та перспективи*: збірник наукових матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 23–24 жовтня 2025 р.). Київ: НУХТ, 2025. С. 117–118.
- Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: Указ Президента України від 30 вересня 2019 р. № 722/2019 / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 21.10.2025).
- Дребот О.І., Височанська М.Я. Еколого-економічні основи збалансованості розвитку бджільництва. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 4. С. 24–30. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2022.275600
- Подольчук О.А., Польова О. Л., Коваль О. В. Організація обліку в галузі бджільництва. *Наукові перспективи*. 2024. № 4. С. 755–769.
- Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 19.10.2025).
- Рамкова стратегія ЄС із безпеки та здоров'я на роботі на 2021-2027 роки. URL: <https://oppb.com.ua/news/ramkova-strategiya-yes-iz-bezpeky-ta-zdorovya-na-roboti-na-2021-2027-roky> (дата звернення: 20.10.2025).
- Founding agreements. URL: https://europa.eu/european-union/law/treaties_en (дата звернення: 20.10.2025).
- Цопа В. А., Чеберячко С. І., Яворська О. О., Дерюгін О. В., Ченчева О. О., Сукач С. В., Резнік Д. В. Аналіз вимог Рамкової стратегії ЄС до систем управління охороною здоров'я та безпекою праці. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2023. Том 2. № 72. С. 190–198. URL: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.190>
- Мірзоева Т.В., Ільків Л.А. Ризики та перспективи розвитку бджільництва в Україні. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 56. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-73>

11. Лукаш О., Давиденко А., Пирожков Є. Екологічні фактори впливу військових дій на бджільництво у поліській частині Чернігівської області. *Biota. Human. Technology*. 2022. No 3. С. 60–72.
12. Войналович О.В., Подобед І.М. Підходи до оцінювання сезонності виробничого травматизму в аграрному секторі економіки України. *Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць ННДІОП*. 2005. Вип. 10. С. 39–46.
13. Войналович О.В., Подобед І.М. Залежність рівня виробничого травматизму від порушень вимог з охорони праці потерпілими при виконанні сільськогосподарських робіт. *Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць ННДІОП*. 2006. Вип. 11. С. 27–37.
14. Wojnalowicz A.W., Podobied I.M. Przyczyny urazowości pracowników zatrudnionych przy zmechanizowanych pracach w produkcji rolnej. *Instytut medycyny wsi im. Witolda Chodźki w Lublin*. Lublin.: 2006. Ark. 118–122.
15. Войналович О.В., Цапко В.Г. Деякі науково-практичні аспекти з охорони праці та довкілля у сучасному сільському господарстві. *Науковий вісник НАУ*. 2000. № 7. С. 32–35.
16. Войналович О.В., Скафа В.М. Статистичні аспекти причин виробничого травматизму в АПК України. *Науковий вісник НАУ*. 2005. № 80. С. 209–217.
17. Войналович О.В., Подобед І.М., Репін В.М. Аналіз причин травматизму в сільськогосподарському виробництві України. *Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць ННДІОП*. 2005. Вип. 10. С. 23–38.
18. Левченко О.Г. Залежність рівня виробничого травматизму від якості проведення навчання та інструктажів з охорони праці в АПК. *Інформаційний бюлетень з промислової безпеки ННДІОП*. 2007. № 3. С. 31–35.
19. Левченко О.Г. Прогнозування – шлях до запобігання травматизму в АПК. *Вісник Національного НДІ охорони праці*. 2007. № 19. С. 19–22.
20. Подобед І.М. Виявлення потенційних небезпек, як складова зниження виробничого травматизму та професійних захворювань в АПК. *Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць ННДІОП*. 2006. Вип. 12. С. 17–24.
21. Подобед І.М. До питання зменшення виробничого травматизму та професійних захворювань в АПК. *Інформаційний бюлетень з охорони праці Національного НДІ охорони праці*. 2006. № 4. С. 23–27.
22. Подобед І.М. Сучасні методи прогнозування потенційних небезпек та їх наслідків у аграрному секторі економіки. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2006. Вип. 45. С. 119–129.
23. Подобед І.М. Профілактика виробничих небезпек-запорука зменшення травматизму в аграрному секторі економіки України. *Інформаційний бюлетень з охорони праці Національного НДІ промислової безпеки та охорони праці*. 2007. № 1. С. 21–24.
24. Подобед І.М. Оцінювання та закономірності формування потенційної небезпеки в аграрному секторі економіки. *Інформаційний бюлетень з охорони праці Національного НДІ промислової безпеки та охорони праці*. 2007. № 2. С. 11–16.
25. Подобед І.М. Прогнозування майбутніх подій – запорука усунення нещасних випадків в аграрному секторі економіки України. *Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць ННДІОП*. 2007. Вип. 13. С. 22–29.
26. Костенко О.М. Удосконалення методів і засобів комплексного аналізу, прогнозу та попередження виробничого травматизму у сільськогосподарському виробництві: дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01. Полтава, 2001. 244 с.
27. Про бджільництво: Закон України від 22.02.2000 р. № 1492-III / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1492-14#Text> (дата звернення: 20.10.2025).
28. Topal E., Strant M., Pocol C., Kösoğlu M. A critical moment in beekeeping: beekeepers' health. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca. Food Science and Technology*. 2019. Vol. 76. No 1. P. 10-18. DOI: 10.15835/buasvmcn-fst:2018.0021
29. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві: Наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 р. № 1240 / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1090-18#Text> (дата звернення: 18.10.2025).
30. Про безпеку та гігієну праці: Конвенція, Міжнародний документ від 22.06.1981 р. № 155. / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/993_050#Text
31. Про безпеку та гігієну праці в сільському господарстві Конвенція, Міжнародний документ від 21.06.2001 р. № 184. / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/993_504#Text
32. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Чинний від 2019.26.12. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ. 2020. 39 с.
33. Професійний стандарт МАЙСТЕР З КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ БДЖІЛЬНИЦТВА затверджений Міністерством аграрної політики та продовольства України. Наказ від 08.04.2024 № 1136. URL: <https://register.nqa.gov.ua>
34. Технічний регламент безпеки машин. X. : Індустрія. 2025. 100 с.
35. Кодекс цивільного захисту України. Закон, Кодекс від 02.10.2012 № 5403-VI / Верховна рада України. (Редакція від 12.09.2025). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
36. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні. Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.14 № 1417 / Верховна рада України. (Редакція 14.08.2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>
37. Özgün Ö., Çinkiliç T., Ak İ. Ergonomics in Beekeeping Activities. *Tr. J. Nature Sci.* 2024. Vol. 13. Is. 1. P. 118-122. URL: <https://doi.org/10.46810/tdfd.1405223>
38. Про затвердження Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості від 19.01.2015 № 21 / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0124-15#Text>

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ОКСИД ВУГЛЕЦЮ ЯК КОМПОНЕНТ СИСТЕМИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ: ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ДИНАМІКА ВИКИДІВ У МІСТІ ЖИТОМИР

Кагукіна А.М., Пацева І.Г., Валерко Р.А., Герасимчук Л.О.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
ke_kham@ztu.edu.ua

У статті розглянуто екологічні, кліматичні та токсикологічні аспекти впливу оксиду вуглецю як одного з важливих компонентів системи парникових газів, що формують сучасну структуру техногенного навантаження на атмосферу урбанізованих територій. Актуальність дослідження зумовлена посиленням антропогенного тиску на навколишнє природне середовище, зокрема через активний розвиток транспортної інфраструктури, зростання обсягів автомобільного руху, використання застарілих енергетичних технологій і недостатній рівень очищення промислових викидів. У роботі проаналізовано динаміку концентрацій оксиду вуглецю в атмосферному повітрі міста Житомир за період 2019–2024 рр., визначено основні тенденції його просторово-часових змін та встановлено взаємозв'язок між рівнем урбанізаційного навантаження й якістю повітряного середовища. Протягом досліджуваного періоду середні концентрації оксиду вуглецю зросли від 0,4–0,8 ppm до 1,4–1,8 ppm, що свідчить про стабільну дію антропогенних джерел забруднення. Накопичення CO у приземному шарі повітря знижує ефективність природних процесів самоочищення атмосфери, провокує розвиток фотохімічного смогу, який негативно впливає на стан здоров'я населення. З огляду на отримані результати, обґрунтовано необхідність удосконалення системи екологічного моніторингу, модернізації транспортної інфраструктури, впровадження екологічно безпечних технологій спалювання палива, підвищення ефективності каталітичних систем двигунів внутрішнього згоряння, а також поступового переходу до використання електротранспорту та відновлюваних джерел енергії. Розроблення та реалізація комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення викидів оксиду вуглецю, є важливою та невід'ємною складовою сучасної екологічної політики, орієнтованої на досягнення цілей сталого розвитку, зниження техногенного навантаження на атмосферу, підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів і забезпечення адаптаційної стійкості урбоєкосистем до проявів кліматичних змін. *Ключові слова:* оксид вуглецю, парникові гази, атмосферне повітря, урбоєкосистема, екологічний моніторинг, динаміка викидів, автотранспорт, кліматичні зміни, фотохімічний смог, антропогенний вплив.

Carbon monoxide as a component of the greenhouse gas system: environmental aspects and emission dynamics in the city of Zhytomyr. Kahukina A., Patseva I., Valerko R., Herasymchuk L.

The article examines the ecological, climatic, and toxicological aspects of the impact of carbon monoxide as one of the important components of the greenhouse gas system that shapes the modern structure of technogenic pressure on the atmosphere of urbanized territories. The relevance of the study is determined by the intensification of anthropogenic load on the environment, in particular due to the rapid development of transport infrastructure, the growing volume of automobile traffic, the use of outdated energy technologies, and the insufficient level of industrial emission purification. The paper analyzes the dynamics of carbon monoxide concentrations in the atmospheric air of Zhytomyr city for the period 2019–2024, identifies the main trends of its spatio-temporal variations, and establishes the relationship between the level of urbanization pressure and air quality. During the study period, the average CO concentrations increased from 0.4–0.8 ppm to 1.4–1.8 ppm, which indicates the persistent influence of anthropogenic pollution sources. The accumulation of CO in the near-surface atmospheric layer reduces the efficiency of natural self-purification processes and provokes the formation of photochemical smog, which negatively affects public health. Based on the obtained results, the necessity of improving the environmental monitoring system, modernizing transport infrastructure, introducing environmentally safe fuel combustion technologies, enhancing the efficiency of internal combustion engine catalytic systems, and gradually transitioning to the use of electric transport and renewable energy sources has been substantiated. The development and implementation of a comprehensive set of environmental protection measures aimed at reducing carbon monoxide emissions constitute an essential and integral component of modern environmental policy focused on achieving the goals of sustainable development, reducing technogenic pressure on the atmosphere, increasing energy resource efficiency, and ensuring the adaptive resilience of urban ecosystems to the manifestations of climate change. *Key words:* carbon monoxide, greenhouse gases, atmospheric air, urban ecosystem, environmental monitoring, emission dynamics, motor transport, climate change, photochemical smog, anthropogenic impact.

Постановка проблеми Сучасний етап розвитку людського суспільства супроводжується стрімким зростанням техногенного навантаження на компоненти навколишнього природного середовища, що зумовлює суттєве погіршення якості атмосферного повітря. Одним із ключових чинників цього процесу є інтенсифікація промислового виробництва, урбанізація, а також зростання кількості

автотранспорту, що виступає головним джерелом викидів забруднюючих речовин антропогенного походження [1]. Серед численних компонентів техногенного забруднення особливе місце посідає оксид вуглецю, який утворюється в результаті неповного згоряння вуглецевмісних речовин, таких як бензин, дизельне паливо, природний газ, вугілля, деревина тощо.

Накопичення оксиду вуглецю в атмосфері створює серйозну екологічну та соціально-гігієнічну проблему, оскільки ця сполука належить до групи токсичних забруднювачів повітря. При потраплянні в організм людини монооксид вуглецю зв'язується з гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін, що істотно знижує здатність крові переносити кисень і призводить до гіпоксії тканин [2]. Навіть відносно низькі концентрації цього газу в атмосфері при тривалому впливі можуть викликати порушення роботи серцево-судинної та нервової систем, зниження працездатності, головні болі, запаморочення, а у високих дозах — летальні наслідки.

З екологічної точки зору, оксид вуглецю належить до парникових газів непрямої дії, адже він не має значного власного потенціалу поглинання інфрачервоного випромінювання, проте бере активну участь у фотохімічних реакціях в тропосфері [3]. В умовах інтенсивної автомобілізації населення проблема контролю викидів оксиду вуглецю набуває глобального характеру [4]. Збільшення кількості транспортних засобів без відповідного розвитку екологічної інфраструктури сприяє зростанню концентрації CO у приземному шарі атмосфери, що негативно впливає не лише на стан довкілля, а й на якість життя населення урбанізованих територій.

Актуальність дослідження. Проблематика дослідження викидів оксиду вуглецю є надзвичайно актуальною в умовах інтенсивного техногенного розвитку та зростання антропогенного навантаження на атмосферне повітря [5-8]. Сучасні тенденції урбанізації, збільшення кількості транспортних засобів, використання застарілих енергетичних технологій і недостатній рівень очищення промислових викидів зумовлюють систематичне підвищення концентрації CO в приземному шарі атмосфери [8]. Особливо гостро ця проблема проявляється у великих урбанізованих агломераціях, де транспортний сектор є основним джерелом забруднення [9]. Оксид вуглецю, попри те, що не належить до потужних парникових газів за прямою дією, відіграє важливу роль у глобальних кліматичних процесах. Його екологічна небезпека полягає у здатності впливати на окислювальний потенціал атмосфери через зміну концентрації гідроксильних радикалів, які є головним механізмом природного самоочищення повітря. Зменшення кількості цих радикалів унаслідок взаємодії з CO призводить до підвищення атмосферної тривалості існування метану (CH₄) — одного з найефективніших парникових газів. Таким чином, навіть непрямий вплив оксиду вуглецю сприяє посиленню глобального парникового ефекту та зміні радіаційного балансу Землі [3]. Підвищені концентрації CO у поєднанні з іншими забруднюючими речовинами такими як оксиди азоту та леткими органічними сполуками створюють сприятливі умови для розвитку фотохімічного смогу, характерного для індустріально розвинених регіонів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останнього десятиліття спостерігається активізація наукових досліджень, присвячених проблемі викидів оксиду вуглецю, їх просторово-часовій мінливості та екологічних наслідків. Особливу увагу науковців привертають питання удосконалення методів спостереження, уточнення джерел антропогенних емісій [5]. У роботах [9;10] відзначено, що на глобальному рівні основними джерелами утворення оксиду вуглецю залишаються транспортний сектор, промислові підприємства та побутове спалювання палива. При цьому результати супутникових і наземних вимірювань свідчать про значну географічну неоднорідність концентрацій CO, зокрема про підвищені рівні у густонаселених урбанізованих регіонах [11]. Важливим напрямом сучасних досліджень є уточнення емісійних інвентарів та моделювання просторово-часового розподілу викидів CO. Застосування інверсійних методів, які поєднують наземні спостереження, супутникові вимірювання та хімічно-транспортні моделі, дозволяє підвищити точність оцінювання реальних обсягів антропогенних викидів [12].

Транспортний сектор залишається провідним джерелом емісій CO в урбанізованих територіях [13-15]. У країнах із низьким рівнем екологічного контролю та великою кількістю старих автомобілів спостерігається підвищений рівень забруднення повітря CO, що становить загрозу для здоров'я населення [14].

Питання токсикологічного впливу оксиду вуглецю на організм людини продовжують залишатися предметом медико-екологічних досліджень. За результатами робіт [2;14;16], навіть відносно низькі концентрації CO у повітрі можуть спричиняти хронічну гіпоксію, порушення серцево-судинної діяльності та негативно впливати на центральну нервову систему. Аналіз сучасних наукових джерел свідчить, що оксид вуглецю є важливою складовою системи антропогенних забруднювачів, який поєднує екологічний, кліматичний та соціально-гігієнічний аспекти.

Викладення основного матеріалу. Парникові гази становлять один із головних чинників антропогенного впливу на кліматичну систему Землі. Їхня здатність утримувати частину теплового випромінювання у межах нижніх шарів атмосфери зумовлює формування парникового ефекту — природного механізму, який забезпечує підтримання температурного балансу планети на рівні, сприятливому для існування життя. Втім, унаслідок зростання масштабів промислового виробництва, урбанізації та збільшення транспортного навантаження відбувається інтенсивне накопичення парникових газів в атмосфері, що призводить до посилення глобального потепління та зростання кліматичних ризиків. Серед широкого спектра атмосферних забруднювачів, які опосередковано впливають на кліматичні процеси,

важливе місце займає оксид вуглецю. Хімічна стійкість молекули СО зумовлює її тривале перебування у тропосфері – від одного до двох місяців, що забезпечує можливість її активної участі у глобальних фотохімічних реакціях.

Основними джерелами надходження СО до атмосфери є антропогенні процеси: автомобільний транспорт, промислові підприємства металургійного, хімічного та енергетичного профілів, а також побутовий сектор, де СО утворюється внаслідок спалювання твердого палива у системах опалення. До природних джерел цього газу належать лісові пожежі, вулканічна активність, процеси розкладання органічних сполук у ґрунті та болота [7].

З екологічного погляду, оксид вуглецю відіграє подвійну роль. З одного боку, він є індикатором забруднення повітря, особливо у густонаселених урбанізованих регіонах, де його концентрації можуть у декілька разів перевищувати гранично допустимі норми [5]. З іншого боку – це активний компонент фотохімічних процесів у тропосфері, що впливають на баланс озону та метану, а отже, і на глобальний парниковий ефект.

Механізм кліматичного впливу СО базується на його здатності взаємодіяти з гідроксильними радикалами (ОН), які є головними «очисниками» атмосфери. Під час реакції СО з ОН утворюється вуглекислий газ (CO_2) і водень, однак при цьому знижується концентрація самих радикалів, що уповільнює розклад метану (CH_4). Як наслідок, у повітрі накопичується метан – один із найпотужніших парникових газів, що має у 28–34 рази вищий потенціал утримання тепла, ніж CO_2 [3]. Зростання вмісту СО у тропосфері побічно сприяє підвищенню температури планети через подовження «життєвого циклу» метану.

Крім того, оксид вуглецю бере участь у формуванні фотохімічного смогу. Дане явище характерне для великих міст з інтенсивним рухом транспорту. Під дією сонячного випромінювання монооксид вуглецю вступає у реакції з оксидами азоту, утворюючи тропосферний озон, який, хоч і є корисним у стратосфері, у приземному шарі повітря чинить негативний вплив на здоров'я людини. Зростання концентрації тропосферного озону супроводжується зниженням якості повітря, збільшенням частоти респіраторних захворювань і погіршенням стану урбанізованих екосистем [16].

З біологічної точки зору, оксид вуглецю є однією з найнебезпечніших сполук серед атмосферних забруднювачів. Потрапляючи в організм людини через дихальні шляхи, він має високу спорідненість до гемоглобіну крові – у 200–250 разів більшу, ніж кисень. Утворений карбоксигемоглобін (HbCO) блокує здатність крові переносити кисень, що призводить до тканинної гіпоксії, порушення функцій центральної нервової системи, серцево-судинних розладів і в тяжких випадках – до летального

наслідку [2]. Навіть при незначних концентраціях спостерігаються головний біль, запаморочення, слабкість, а тривале перебування в умовах підвищеного рівня СО становить серйозну небезпеку для здоров'я людини.

Високі концентрації СО у приземному шарі атмосфери є показником не лише техногенного навантаження, а й загального стану екологічної безпеки території. У міських агломераціях, де інтенсивність руху транспорту поєднується з низькою вентиляцією повітря, спостерігається стійке підвищення фонових концентрацій СО, що створює загрозу для якості повітря та мікроклімату міського середовища. Його екологічне, токсикологічне та кліматичне значення вказує на необхідність досліджень у напрямі оцінки динаміки його викидів.

Аналіз графічних даних (Рис. 1) свідчить про нерівномірний розподіл показників протягом досліджуваного періоду, із вираженими коливаннями рівнів забруднення повітря. На початковому етапі спостережень середні концентрації СО переважно перебували в межах 0,4–0,8 ppm, що відповідає фоновим значенням для середніх міських територій. Проте вже у 2021 році фіксується тенденція до поступового підвищення рівня викидів. У 2022–2023 рр. показники СО досягають 1,2–1,5 ppm, що вказує на посилення техногенного навантаження. Наприкінці аналізованого періоду спостерігається відносно стабільне збереження високих концентрацій СО на рівні 1,4–1,8 ppm, що перевищує значення попередніх років. Така тенденція свідчить про зростання середньорічних концентрацій оксиду вуглецю у Житомирі протягом 2019–2024 рр. Аналіз динаміки дозволяє зробити висновок про тривалу дію антропогенних джерел забруднення, серед яких провідну роль відіграє автотранспорт, на частку якого припадає більшість викидів. Додатковий внесок у загальний рівень забруднення роблять енергетичні та промислові підприємства, а також побутовий сектор у зимовий період.

З огляду на наведене, питання моніторингу та регулювання викидів оксиду вуглецю набуває особливої актуальності. Отримані результати свідчать про необхідність посилення системи екологічного моніторингу та впровадження комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення викидів СО. Ефективне зниження рівня СО в атмосфері можливе за рахунок модернізації транспортної інфраструктури, переходу на альтернативні види палива, вдосконалення систем каталізаторів у двигунах внутрішнього згорання, розвитку електромобільності, а також підвищення енергоефективності промислового виробництва. У глобальному контексті скорочення викидів СО розглядається як елемент політики декарбонізації та боротьби з кліматичними змінами [17]. Розроблення та реалізація комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення викидів оксиду вуглецю, є важли-

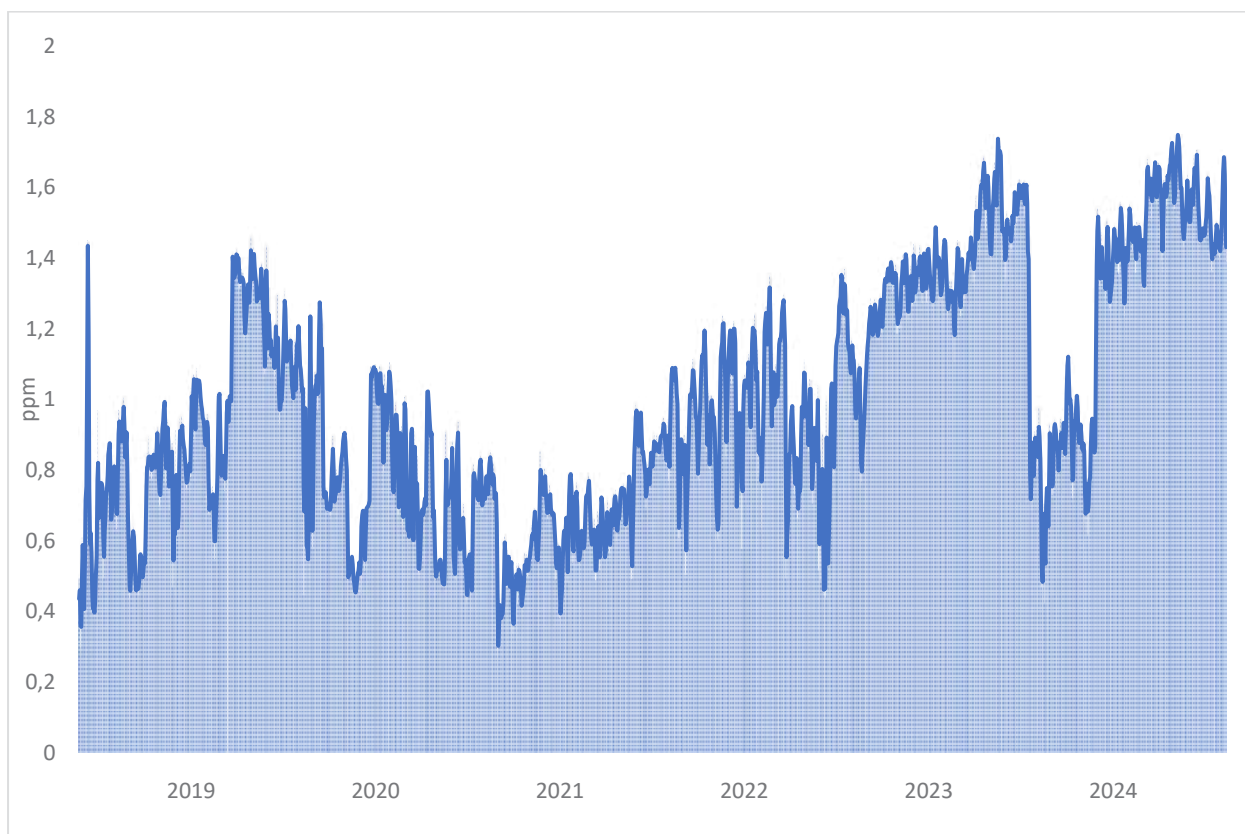


Рис. 1. Динаміка концентрацій оксиду вуглецю (CO) в атмосферному повітрі міста Житомир за період 2019–2024 рр. [18]

вою та невід’ємною складовою сучасної екологічної політики, орієнтованої на досягнення цілей сталого розвитку, зниження техногенного навантаження на атмосферу, підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів і забезпечення адаптаційної стійкості урбоєкосистем до проявів кліматичних змін.

Висновки. Проведене дослідження дозволило встановити, що оксид вуглецю є одним із ключових компонентів техногенного забруднення атмосфери міських територій, який поєднує токсикологічний, кліматичний та екологічний аспекти впливу. Аналіз динаміки концентрацій CO у місті Житомир за період

2019–2024 рр. виявив тенденцію до поступового зростання середніх значень, що свідчить про підвищення техногенного навантаження. Накопичення CO у приземному шарі повітря не лише погіршує якість атмосферного середовища, а й впливає на кліматичні процеси. Результати дослідження підкреслюють необхідність посилення системи екологічного моніторингу, впровадження сучасних методів контролю викидів, переходу на низьковуглецеві технології транспорту. Комплексний підхід до регулювання емісій оксиду вуглецю є запорукою підвищення екологічної безпеки, покращення якості повітря та зменшення негативного впливу на кліматичну систему.

Література

1. Луньова О.В., Кагукіна А.М. Аналіз антропогенного забруднення Житомирського регіону. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 3(48). С. 48-52.
2. Afzal M., Agarwal S., Elshaikh R.H., Babker A.M.A., Choudhary R.K., Prabhakar P.K., Zahir F., Sah A.K. Carbon Monoxide Poisoning: Diagnosis, Prognostic Factors, Treatment Strategies, and Future Perspectives. *Diagnostics*. 2025. № 15(5). P. 581. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15050581>
3. Chua G., Naik V., Horowitz L.W. Exploring the drivers of tropospheric hydroxyl radical trends in the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory AM4.1 atmospheric chemistry–climate model. *Atmos. Chem. Phys.* 2023. № 23. P. 4955–4975. <https://doi.org/10.5194/acp-23-4955-2023>
4. Кагукіна А.М., Пацева І.Г. Аналіз показників монооксиду вуглецю, діоксиду азоту та аміаку в повітряному басейні міста Житомир за даними громадського моніторингу повітря ECOCITY. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 3(54). С. 23-31.
5. Владимірова О.Г., Бургаз О.А., Тимошук М.О. Особливості забруднення атмосферного повітря м. Одеси діоксидом сірки й оксидом вуглецю. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 7(34). С. 44-50.
6. Кагукіна А.М., Пацева І.Г. Взаємозв’язок метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир. *Екологічні науки*. 2025. Вип. 1(58). С. 58-64.

7. Савенець М.В., Осадчий В.І., Орещенко А.В. Лісові пожежі квітня 2020 року та зумовлені ними зміни якості атмосферного повітря в Україні. *Вісник Національної Академії Наук України*. 2020. № 5. С. 80-89.
8. Kahukina A., Patseva I. Assessment and forecast of atmospheric pollutant dynamics in the urban ecosystem of Zhytomyr. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. № 2(3(82)). P. 36–42. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326893>
9. Біляєв М.М., Русакова Т.І. Зменшення концентрації оксиду вуглецю у вихлопних газах автотранспорту. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93. № 3. С. 247-252.
10. Tsvlidou M., Sauvage B., Bennouna Y., Blot R., Boulanger D., Clark H., Le Flochmoën E., Nédélec P., Thouret V., Wolff P., Barret B. Tropical tropospheric ozone and carbon monoxide distributions: characteristics, origins, and control factors, as seen by IAGOS and IASI. *Atmos. Chem. Phys.* 2023. № 23. P. 14039–14063. <https://doi.org/10.5194/acp-23-14039-2023>
11. Faïn X., Szopa S., Naik V., Martinerie P., Etheridge D.M., Rhodes R.H., Trudinger C.M., Petrenko V.V., Fourteau K., Place P. Preindustrial-to-present-day changes in atmospheric carbon monoxide: agreement and gaps between ice archives and global model reconstructions. *Atmos. Chem. Phys.* 2025. № 25. P. 1105.
12. Li X., Cohen J.B., Tiwari P. Space-based inversion reveals underestimated carbon monoxide emissions over Shanxi. *Commun Earth Environ.* 2025. № 6. P. 357. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02301-5>
13. Sharma R., Kumar R., Singh P.K., Raboaca M.S., Felseghi R.-A. A Systematic Study on the Analysis of the Emission of CO, CO₂ and HC for Four-Wheelers and Its Impact on the Sustainable Ecosystem. *Sustainability*. 2020. № 12(17). P. 6707. <https://doi.org/10.3390/su12176707>
14. El-Fadel M., Abi-Esber L. In-vehicle Exposure to Carbon Monoxide Emissions from Vehicular Exhaust: A Critical Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2009. № 39(8). P. 585–621. <https://doi.org/10.1080/10643380701798264>
15. Fry M.M., Schwarzkopf M.D., Adelman Z., Naik V., Collins W.J., West J.J. Net radiative forcing and air quality responses to regional CO emission reductions. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. № 13. P. 5381–5399.
16. Yuan Z., De La Cruz L.K., Yang X. Carbon monoxide signaling: examining its engagement with various molecular targets in the context of binding affinity, concentration, and biologic response. *Pharmacol. Rev.* 2022. № 74. P. 823–873.
17. Пацева І.Г., Кагукіна А.М. Коефіцієнти суттєвості відхилень середньомісячних показників температури повітря та кількості опадів в місті Житомир. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 2(53). С. 238-242.
18. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [База даних результатів моніторингу]. *Кабінет дослідника якості повітря України*. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1009 164 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В КОНТЕКСТІ ЗАКОНОДАВСТВА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

Калініченко О.О., Мельников А.Ю., Нікітіна С.В., Волков Ю.В.

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
вул. Єніна Євгенія, 6, 61165, м. Харків,
ecolog525@ukr.net

У роботі досліджується методи вимірювання різних форм вмісту важких металів у ґрунті, зокрема, запроваджених в ЄС екологічно доступних форм та нормованих в Україні рухомих форм. Обґрунтовано нагальну потребу у порівнянні вмісту різних форм важких металів у ґрунті, а саме валового вмісту, рухомих форм та екологічно доступних форм, визначенні необхідності розроблення нових нормативів ГДК при переході до визначення екологічно доступних форм згідно з ISO 17586:2016. У ході дослідження вперше проведено співставлення валового вмісту та масових часток рухомих форм (вилучених амонійно-ацетатним буферним розчином) і екологічно доступних форм (вилучених розведеною азотною кислотою згідно з ISO 17586:2016) у пробах ґрунту, відібраних на території та у межах санітарно-захисної зони місця видалення відходів. За результатами дослідження середній вміст важких металів для різних форм у досліджених пробах складає наступні ряди: валовий вміст: Zn (79,6 мг/кг) > Cu (28,8 мг/кг) > Ni (20,8 мг/кг) > Co (8,34 мг/кг) > Cd (0,24 мг/кг); рухомі форми: Zn (19,9 мг/кг) > Cu (1,412 мг/кг) > Ni (1,094 мг/кг) > Co (0,033 мг/кг) > Cd (0,0622 мг/кг); Екологічно доступні форми: Zn (39,6 мг/кг) > Cu (20 мг/кг) > Ni (6,4 мг/кг) > Co (2,98 мг/кг) > Cd (0,1396 мг/кг). В результаті дослідження встановлено, що найменшим є вміст рухомих форм, в середньому, він виявився в 60 разів менше від валового вмісту та в 23 рази менше вмісту екологічно доступних форм. У досліджуваних пробах вміст рухомих форм переважно слабо корелює з валовим вмістом та вмістом екологічно доступних форм. За простотою дослідження та задіяними реактивами визначення екологічно доступних форм є кращим та більш економічним, але потребує попередньої інформації про вміст CaCO_3 у ґрунті. Перехід на визначення екологічно доступних форм під час дослідження проб ґрунтів потребує розроблення відповідних нормативів ГДК. *Ключові слова:* ґрунт, важкі метали, валовий вміст, рухомі форми, екологічно доступні форми, законодавство Європейського Союзу, місце видалення відходів.

Research on forms of heavy metal content in the context of European Union legislation. Kalinichenko O., Melnykov A., Nikitina S., Volkov Yu.

The paper examines methods for measuring various forms of heavy metals content in soil, in particular, environmentally accessible forms introduced in the EU and mobile forms standardized in Ukraine. The urgent need for comparison of the content of different forms of heavy metals in the soil, namely gross content, mobile forms and environmentally available forms, determination of the need to develop new MPC standards in the transition to the definition of environmentally available forms in accordance with ISO 17586:2016 has been substantiated. In the course of the study, for the first time, a comparison of the gross content and mass fractions of mobile forms (extracted with ammonium-acetate buffer solution) and environmentally available forms (extracted with dilute nitric acid according to ISO 17586:2016) in soil samples taken on the territory and within the sanitary protection zone of the waste disposal site was carried out. According to the results of the study, the average content of heavy metals for different forms in the samples studied is as follows: gross content: Zn (79.6 mg/kg) > Cu (28.8 mg/kg) > Ni (20.8 mg/kg) > Co (8.34 mg/kg) > Cd (0.24 mg/kg); mobile forms: Zn (19.9 mg/kg) > Cu (1.412 mg/kg) > Ni (1.094 mg/kg) > Co (0.033 mg/kg) > Cd (0.0622 mg/kg); Ecologically available forms: Zn (39.6 mg/kg) > Cu (20 mg/kg) > Ni (6.4 mg/kg) > Co (2.98 mg/kg) > Cd (0.1396 mg/kg). As a result of the study, it was found that the content of mobile forms is the smallest, on average, it turned out to be 60 times less than the gross content and 23 times less than the content of environmentally available forms. In the studied samples, the content of mobile forms is mostly weakly correlated with the gross content and the content of environmentally available forms. Due to the simplicity of the study and the reagents involved, the determination of ecologically available forms is preferable and more economical, but requires preliminary information about the content of CaCO_3 in the soil. The transition to the determination of ecologically accessible forms during the study of soil samples requires the development of appropriate MPC standards. *Key words:* soil, heavy metals, gross content, movable forms, environmentally accessible forms, European Union legislation, place of waste disposal.

Постановка проблеми. Забруднення ґрунтів важкими металами є одним з основних чинників погіршення їх стану та зниження родючості. Важкі метали з забрудненого ґрунту надходять в рослини та включаються у трофічні ланцюги екосистем, що може призвести до їх деградації.

Важкі метали є невід'ємними мікрокомпонентами будь-якого ґрунту. Фонові концентрації багатьох елементів в різних ґрунтах можуть відрізнятися на десятки або навіть сотні мг/кг ґрунту. Наприклад валовий вміст міді у легко суглинкових ґрунтах зони

лісостепу у середньому становить 4,2 мг/кг, в той час як для важко суглиннистих та глинистих цей показник у середньому становить 19,0 мг/кг [1]. Значна розбіжність фонових показників створює необхідність розроблення підходу, який би враховував саме ту частку загальної концентрації металу, яка чинить негативну дію на біоту. Такий підхід реалізовано в Україні за рахунок вимірювання вмісту рухомих форм важких металів, які вилучаються з ґрунту амонійно-ацетатним буферним розчином з $\text{pH} = 4,8$ од. pH . Нормування вмісту рухомих форм важким металів

у ґрунті закріплено постановою Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. № 1325 [2].

Євроінтеграція України потребує гармонізації національного законодавства з європейським, зокрема з додатком 1 Пропозиції до Директиви Європейського Парламенту та Ради про моніторинг та стійкість ґрунтів (Закону про моніторинг ґрунтів) [3] щодо дескрипторів ґрунту – критеріїв здорового стану ґрунту, встановлених на рівні держав-членів. До дескрипторів забруднення ґрунту віднесено концентрації важких металів: миш'яку, сурми, кадмію, хрому (загального), хрому (VI), міді, ртуті, свинцю, нікелю, талію, ванадію, цинку. У додатку 2 зазначених Пропозицій встановлено вимоги щодо відповідних методів вимірювань. Ці методи мають передбачати вимірювання вмісту потенційно екологічно доступних форм важких металів, які вилучаються з ґрунту розбавленою азотною кислотою згідно з ISO 17586:2016 [4].

Актуальність дослідження. Відмінність вимірюваних форм важких металів у ґрунті, запровадження в ЄС, від нормованих в Україні рухомих форм потребує нагального вивчення, оскільки імплементація положень [3] може вимагати розроблення нової методологічної та нормативної бази для контролю забруднення ґрунтів важкими металами.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Реалізація основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 року [5] передбачає мінімізацію забруднення ґрунтів небезпечними забруднюючими речовинами. Але без актуальної нормативно-методичної бази щодо контролю забруднення ґрунтів важкими металами неможливо встановити факт забруднення ґрунтів і неможливо проводити співставлення результатів вимірювань, отриманих в Україні та ЄС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні, зважаючи на проведення нормування вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті, під час моніторингових досліджень визначають переважно саме ці форми [6-8].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Таким чином, постає нагальна потреба у порівнянні вмісту різних форм важких металів у ґрунті (які вилучаються різними екстрагентами), а саме валового вмісту, рухомих форм та екологічно доступних форм; визначенні переваг та недоліків методів вимірювання вмісту рухомих та екологічно доступних форм у ґрунтах; визначенні необхідності розроблення нових нормативів ГДК при переході до визначення екологічно доступних форм згідно з ISO 17586:2016 [4].

Новизна. У ході дослідження вперше порівняно валовий вміст та масові частки рухомих форм (вилучених амонійно-ацетатним буферним розчином) і екологічно доступних форм (вилучених розведе-

ною азотною кислотою згідно з ISO 17586:2016 [4]) у пробах ґрунту, відібраних на території та у межах санітарно-захисної зони місця видалення відходів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримані результати дозволять оцінити необхідність розроблення нових нормативів ГДК при переході на методи вимірювання екологічно доступних форм важких металів згідно з ISO 17586:2016 [4].

Викладення основного матеріалу. Дослідження проведено на 5 пробах ґрунту, відібраних з території місця видалення відходів та в його санітарно захисній зоні за сторонами горизонту: проба 1 – територія місця видалення відходів; проба 2 – на схід в межах санітарно захисної зони, проба 3 – на північ в межах санітарно захисної зони, проба 4 – на захід в межах санітарно захисної зони, проба 5 – на південь в межах санітарно захисної зони.

Вимірювання валового вмісту металів проведено з використанням мікрохвильової підготовки проб згідно з ISO 16729:2013 [9].

Підготовку проб до вимірювання вмісту рухомих форм проводили відповідно до пункту 8.6 MBV № 081/12-0787-11 [10].

Для вимірювання вмісту екологічно доступних форм металів проводили підготовку проб згідно з ISO 17586:2016 [4].

Вимірювання вмісту важких металів, а саме міді, нікелю, кобальту, кадмію, цинку проводили методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивною плазмою на приладі PlasmaQuant PQ 9000 Elite виробництва Analytik Jena (Німеччина).

Результати дослідження проб ґрунту наведені в таблицях 1–3.

Результати дослідження валового вмісту демонструють низькі значення вмісту для всіх елементів, окрім цинку в пробі, відібраній на території місця видалення відходів. За вмістом цинку спостерігається досить високе значення, яке може вказувати на забруднення ділянки цим елементом, хоча ГДК для валового вмісту цинку в ґрунті не встановлено.

Як бачимо, масова частка рухомих форм значно нижча від валового вмісту, при цьому перевищення ГДК фіксується лише по цинку у пробі 1.

Середній вміст важких металів для різних форм складає наступні ряди:

Валовий вміст: $Zn (79,6 \text{ мг/кг}) > Cu (28,8 \text{ мг/кг}) > Ni (20,8 \text{ мг/кг}) > Co (8,34 \text{ мг/кг}) > Cd (0,24 \text{ мг/кг})$

Рухомі форми: $Zn (19,9 \text{ мг/кг}) > Cu (1,412 \text{ мг/кг}) > Ni (1,094 \text{ мг/кг}) > Co (0,033 \text{ мг/кг}) > Cd (0,0622 \text{ мг/кг})$

Екологічно доступні форми: $Zn (39,6 \text{ мг/кг}) > Cu (20 \text{ мг/кг}) > Ni (6,4 \text{ мг/кг}) > Co (2,98 \text{ мг/кг}) > Cd (0,1396 \text{ мг/кг})$.

Треба відмітити, що для всіх досліджених металів у всіх пробах ефективність вилучення кислотною витяжкою $pH \sim 0,5$ од. pH набагато більша, ніж у разі використання амонійно-ацетатного буферного розчину $pH = 4,8$ од. pH . Для міді, зокрема, ефективність вилучення екологічно доступних форм важких

Таблиця 1

Валовий вміст важких металів у досліджених пробах

Номер проби	Масова частка, мг/кг				
	Мідь	Нікель	Кобальт	Кадмій	Цинк
1	18	17	6,3	0,14	190
2	34	22	9,3	0,25	47
3	29	20	9	0,22	52
4	31	22	8,5	0,31	53
5	32	23	8,6	0,28	56
ГДК за [2]	-	-	-	3	-

Таблиця 2

Масова частка рухомих форм важких металів у досліджених пробах

Номер проби	Масова частка, мг/кг				
	Мідь	Нікель	Кобальт	Кадмій	Цинк
1	1,2	0,77	0,039	0,047	85
2	1,7	1,5	0,036	0,065	3,9
3	1,6	1,1	0,03	0,056	4,2
4	1,8	1,4	0,044	0,089	3,8
5	0,76	0,7	0,016	0,054	2,6
ГДК за [2]	3	4	5	0,7	23

Таблиця 3

Масова частка екологічно доступних форм металів у досліджених пробах

Номер проби	Масова частка, мг/кг				
	Мідь	Нікель	Кобальт	Кадмій	Цинк
1	11	4,3	2,4	0,078	140
2	23	6,9	2,4	0,14	12
3	19	5,8	3,3	0,12	15
4	25	6,7	3,5	0,19	16
5	22	8,3	3,3	0,17	15

металів згідно з ISO 17586:2016 [4] у 10 разів перевищує ефективність вилучення рухомих форм.

Проводили розрахунок коефіцієнта Пірсона – коефіцієнта кореляції між вмістом різних форм важких металів, при цьому екстремальні значення відкидалися (лише в одному випадку, а саме у разі цинку було відкинута екстремальне значення, виміряне в пробі 1).

Значення коефіцієнтів кореляції наведено на рис. 1. Як бачимо, майже для всіх досліджених металів значення вмісту рухомих форм слабо корелюють із валовим вмістом, на відміну від вмісту екологічно доступних форм, який для всіх металів, окрім кадмію, значно корельовані з валовим вмістом.

Для повноти порівняння методів підготовки проб для визначення рухомих та екологічно доступних форм, треба відмітити основні характеристики їх практичного використання, а саме необхідність

додаткових досліджень перед проведенням підготовки проб, час, необхідний для підготовки проб, необхідні реагенти, особливості подальшого вимірювання підготовлених проб. Результати такого порівняльного аналізу наведено у таблиці 4.

Головні висновки. В результаті дослідження встановлено:

1. Найменшим є вміст рухомих форм, в середньому, він виявився в 60 разів менше від валового вмісту та в 23 рази менше вмісту екологічно доступних форм.

2. У досліджуваних пробах вміст рухомих форм переважно слабо корелює з валовим вмістом та вмістом екологічно доступних форм.

3. За простотою дослідження та задіяними реактивами визначення екологічно доступних форм є кращим та більш економічним, але потребує попередньої інформації про вміст CaCO_3 у ґрунті.

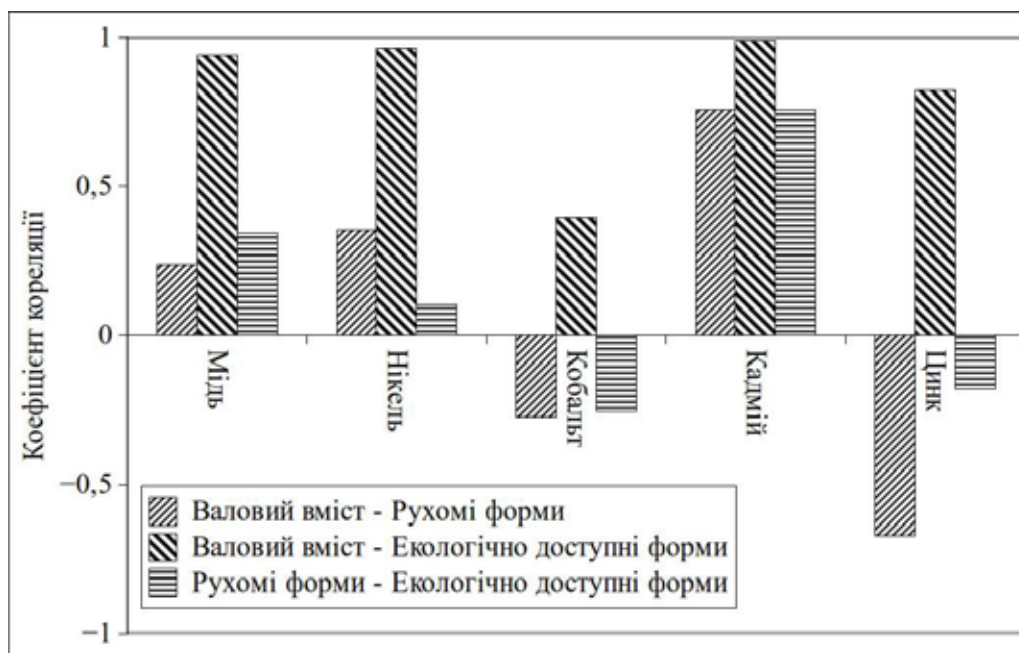


Рис. 1. Значення коефіцієнтів кореляції між формами вмісту важких металів у ґрунті

Таблиця 4

Порівняння методів проб підготовки проб для визначення рухомих та екологічно доступних форм

Характеристики	Метод	
	Рухомі форми (МБВ № 081/12-0787-11)	Екологічно доступні форми (ISO 17586:2016)
Необхідність додаткових досліджень перед проведенням пробопідготовки	Ні	Так, необхідно визначити вміст CaCO_3 у ґрунті.
Необхідні реагенти	Оцтова кислота, аміак водний або ацетат амонію	Азотна кислота
Особливості подальшого вимірювання	Для атомно-спектральних методів необхідно готування стандартних розчинів на основі використовуваного буферного розчину. Для спектрофотометричного методу необхідно видалення амонію (аміаку) для елементів, для яких цей заважаючий вплив є критичним	Для атомно-спектральних методів профільований екстракт використовується без необхідності додаткових дій. Для спектрофотометричного методу може знадобитися Нейтралізація проби.

4. Перехід на визначення екологічно доступних форм під час дослідження проб ґрунтів потребує розроблення відповідних нормативів ГДК.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані у подальшому для розроблення

методичних документів щодо вимірювання вмісту важких металів у пробах ґрунтів з врахуванням рекомендацій, наведених у Пропозиції до Директиви Європейського Парламенту та Ради про моніторинг та стійкість ґрунтів (Закон про моніторинг ґрунтів) ЄС.

Література

1. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А.І. Фатєєва і Я.В. Пашенко. Харків, 2003. 71 с.
2. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин: Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. № 1325 / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 27.10.2025)
3. On Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council 5.7.2023 COM/2023/416 final / European commission. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52023PC0416> (дата звернення: 27.10.2025)

4. ISO 17586:2016 Soil quality – Extraction of trace elements using dilute nitric acid. Geneva, 2016. 14 p.
5. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 27.10.2025)
6. Гриценко А.В., Калініченко О.О., Мельников А.Ю., Волков Ю.В., Нікітіна С.В. Проблеми хімічного забруднення ґрунтів півдня України за умов воєнних дій. Ґрунтовий покрив України в умовах воєнних дій: стан, виклики, заходи з відновлення: збірник тез Міжнародної наук.-практ. конф. (Харків, 5 грудня 2023 р.). Харків. 2023. С.36-37. DOI: 10.31073/978-966-540-612-9
7. Андрусишина І.М., Голуб І.О., Демченко В.Ф., Лампека О.Г. Порівняльна оцінка вмісту важких металів у ґрунтах різних міських агломерацій: методологічні підходи до моніторингу довкілля. ENVIRONMENT & HEALTH. 2020. № 4. С. 71-79. <https://doi.org/10.32402/dovkil2020.04.071>
8. Сплодитель А.О., Курасва І.В., Злобіна К.С. Особливості акумуляції важких металів у ґрунтах урбанізованих ландшафтів м. Бровари. Геологічний журнал. 2020. № 2. С. 39-51. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.200245>
9. ISO 16729:2013 Soil quality – Digestion of nitric acid soluble fractions of elements. Geneva, 2013. 8 p.
10. МБВ № 081/12-0787-11 Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки рухомих форм свинцю, міді, цинку, кадмію, хрому, кобальту, марганцю із однієї витяжки атомно-абсорбційним методом (полуменева атомізація). Київ, 2012. 20 с.

Дата першого надходження рукопису до видання: 26.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 504.062:004.8

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.18>

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СИСТЕМАХ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ: ВІД МОНІТОРИНГУ ДО ПРЕВЕНТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Плотніков Є.О.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
valerko_ruslana@ukr.net, gerasim4uk@ukr.net, epunxx@gmail.com

У статті розглянуто використання технологій штучного інтелекту (ШІ) в екологічному моніторингу та забезпеченні екологічної безпеки, зокрема для прогнозування та оцінки якості повітря, води, ґрунтів, а також зміни клімату і біорізноманіття. Встановлено, що штучний інтелект, зокрема методи машинного навчання, нейронні мережі та комп'ютерний зір, можуть значно підвищити точність і оперативність аналізу екологічних даних, що є необхідним для швидкого реагування на екологічні загрози та стихійні лиха. Завдяки інтеграції ШІ з дистанційним зондуванням Землі (ДЗЗ), геоінформаційними системами (ГІС) та сенсорними мережами, стало можливим створення адаптивних моделей екологічного моніторингу, що здатні до самооновлення та навчання на основі реальних даних.

Дослідження також показало, що використання ШІ сприяє підвищенню ефективності управління природними ресурсами, оптимізації сільськогосподарських практик і боротьбі з ерозією ґрунтів. Моделювання змін клімату та прогнозування екологічних ризиків дозволяють розробляти стратегії пом'якшення наслідків і адаптації до нових екологічних умов. Однак, важливими викликами є необхідність у великих та високоякісних масивах даних для ефективного навчання моделей ШІ, а також упередженість даних, що може призвести до викривлення прогнозів та посилення існуючих соціальних і екологічних нерівностей.

Практичне значення дослідження полягає в можливості створення інтегрованих систем «цифрової екології», які поєднують прогнозування, моделювання та раннє попередження для мінімізації природних і антропогенних загроз. Результати дослідження відкривають перспективи для підвищення ефективності екологічного моніторингу та управління природними ресурсами, сприяючи сталому розвитку та забезпеченню екологічної безпеки в умовах зміни клімату. *Ключові слова:* штучний інтелект, екологічний моніторинг, прогнози екологічних ризиків, екологічна безпека, сталий розвиток, управління природними ресурсами.

Artificial intelligence in environmental safety systems: from monitoring to preventive management. Valerko R., Herasymchuk L., Plotnikov I.

The article examines the use of artificial intelligence (AI) technologies in environmental monitoring and ensuring environmental safety, particularly for forecasting and assessing the quality of air, water, and soil, as well as climate change and biodiversity. It is established that AI methods, including machine learning, neural networks, and computer vision, can significantly improve the accuracy and efficiency of environmental data analysis, which is essential for rapid response to environmental threats and natural disasters. The integration of AI with Earth remote sensing (ERS), geographic information systems (GIS), and sensor networks has enabled the development of adaptive environmental monitoring models capable of self-updating and learning based on real-time data.

The study also demonstrates that the use of AI enhances the efficiency of natural resource management, optimizes agricultural practices, and supports soil erosion control. Climate change modeling and environmental risk forecasting make it possible to develop strategies for mitigation and adaptation to new environmental conditions. However, key challenges remain, including the need for large and high-quality datasets for effective AI training, as well as data bias, which can lead to distorted predictions and exacerbate existing social and environmental inequalities.

The practical significance of the study lies in the potential to create integrated “digital ecology” systems that combine forecasting, modeling, and early warning to minimize natural and anthropogenic threats. The results of the research open up prospects for improving the effectiveness of environmental monitoring and natural resource management, contributing to sustainable development and environmental safety under conditions of climate change. *Key words:* artificial intelligence, environmental monitoring, environmental risk forecasting, environmental safety, sustainable development, natural resource management.

Постановка проблеми. Сучасні глобальні екологічні виклики, такі як: зміна клімату, деградація ґрунтів, забруднення водних ресурсів, урбанізаційний тиск та наслідки воєнних дій потребують принципово нових підходів до моніторингу, оцінювання та управління станом довкілля. Традиційні методи екологічного аналізу, засновані на періодичних вимі-

рюваннях і статистичних оцінках, все частіше виявляються недостатніми для своєчасного реагування на динамічні екосистемні зміни. У цьому контексті штучний інтелект (ШІ) постає як стратегічний інструмент підвищення ефективності систем екологічної безпеки, що здатний забезпечити оперативне опрацювання великих обсягів даних, виявлення при-

хованих закономірностей і побудову прогнозів екологічних ризиків у реальному часі.

Актуальність дослідження. Технології машинного навчання, нейронних мереж, комп'ютерного зору та інтелектуальної аналітики відкривають можливості для створення «розумних» систем екологічного моніторингу – від автоматичного розпізнавання джерел забруднення на супутникових знімках до прогнозування наслідків промислових аварій, лісових пожеж або техногенних катастроф. Наприклад, інтеграція ШІ з дистанційним зондуванням Землі (ДЗЗ) та IoT-системами вже реалізується для моніторингу забруднення ґрунтів, води та повітря [1]. Інтеграція ШІ з геоінформаційними системами (ГІС), дистанційним зондуванням Землі і сенсорними мережами дає змогу формувати адаптивні екологічні моделі, здатні до самооновлення та навчання на основі потоку реальних даних [2].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю формування нової парадигми екологічної безпеки, орієнтованої на превентивне управління ризиками та сталий розвиток. Використання штучного інтелекту може стати основою для побудови інтегрованих систем «цифрової екології», що поєднують технології прогнозування, моделювання та раннього попередження з метою мінімізації антропогенних і природних загроз. Метою дослідження є визначення науково-практичних перспектив застосування технологій штучного інтелекту у сфері забезпечення екологічної безпеки, аналіз основних напрямів їх розвитку, потенційних ризиків та можливостей для удосконалення систем моніторингу, прогнозування і прийняття екологічних рішень.

Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями. Авторський доробок безпосередньо пов'язаний із реалізацією державних пріоритетів у сфері екологічної безпеки, цифровізації та сталого розвитку України. Дослідження відповідає стратегічним положенням Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», Національної економічної стратегії-2030, Стратегії цифрової трансформації довікільєвого управління, а також цілям Європейського зеленого курсу (European Green Deal) та Цілям сталого розвитку ООН.

Практичне значення дослідження полягає у створенні основ для інтелектуалізації національної системи екологічної безпеки, що забезпечує перехід від реактивного до превентивного управління екологічними ризиками. Використання алгоритмів штучного інтелекту дозволяє інтегрувати великі масиви екологічних, кліматичних і соціально-економічних даних у єдині аналітичні платформи, підвищуючи точність прогнозів і оперативність реагування на потенційні загрози довікілью.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні роки характеризуються зростанням кілько-

сті міждисциплінарних досліджень, у яких технології штучного інтелекту поєднуються з дистанційним зондуванням Землі, геоінформаційними системами (ГІС) та сенсорними мережами для підвищення ефективності екологічного моніторингу. Систематичні огляди підтверджують, що алгоритми машинного та глибокого навчання забезпечують точне виявлення джерел забруднення, аналіз тенденцій і короткострокове прогнозування екологічних ризиків [3, 4].

Дослідження у сфері водних і повітряних екосистем демонструють ефективність нейронних мереж і ансамблевих методів для моніторингу якості води, виявлення нафтових плям і прогнозування концентрацій забруднювачів повітря [1]. Гібридні підходи, що поєднують фізичне моделювання та ШІ, довели свою ефективність у прогнозуванні паводків, пожеж і розповсюдження контамінантів.

Поряд із технологічними перевагами, у сучасних публікаціях зростає увага до питань етичності, прозорості та енергоефективності моделей ШІ, зокрема до управління невизначеністю й забезпечення достовірності екологічних даних [5, 6].

Отже, сучасні дослідження підтверджують значний потенціал штучного інтелекту у сфері екологічної безпеки, особливо для побудови інтегрованих систем прогнозування, які забезпечують перехід від реактивного до превентивного управління станом довкілля.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна. Попри значний прогрес у застосуванні штучного інтелекту у сфері екологічного моніторингу, низка ключових аспектів залишається недостатньо розробленою. Сучасні дослідження здебільшого зосереджуються на окремих задачах, а саме: виявленні джерел забруднення, прогнозуванні якості повітря або моделюванні лісових пожеж без формування інтегрованої системи екологічної безпеки, яка б поєднувала моніторинг, аналіз, прогнозування та управлінські рішення в єдиному інтелектуальному контурі.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення даного дослідження полягає в розробці та вдосконаленні підходів до використання штучного інтелекту для екологічного моніторингу та управління природними ресурсами.

Виклад основного матеріалу. Використання штучного інтелекту у сфері екологічного моніторингу та забезпечення екологічної безпеки останнім часом зазнало значного зростання та диверсифікації. Ці технології були впроваджені у різних сферах для вирішення критичних екологічних проблем, демонструючи універсальність та ефективність.

Моніторинг якості повітря

Методи штучного інтелекту та машинного навчання використовуються для прогнозування та моніторингу рівнів якості повітря. Наприклад, моделі машинного навчання можуть аналізувати

історичні дані про забруднення повітря та метеорологічні змінні для прогнозування майбутніх рівнів забруднення, що має вирішальне значення для планування та розробки політики в галузі охорони здоров'я. Дослідження показали, що нейронні мережі та методи ансамблевого навчання можуть досягати високої точності в прогнозуванні якості повітря [7, 8].

Системи ШІ можуть збирати та аналізувати дані найбільш точно порівняно з традиційними підходами, тим самим зменшуючи ймовірність помилок та невідповідностей у даних про якість повітря. Крім того, алгоритми ШІ можуть пропонувати індивідуальні рішення для різних джерел забруднення та регіонів. Аналізуючи дані з певних місць та джерел, ШІ може пропонувати індивідуальні рішення щодо забруднення повітря, такі як регулювання транспортного потоку, оптимізація промислових процесів або зміна міського планування [9]. Оцінюючи дані про якість повітря та стан здоров'я, алгоритми ШІ можуть виявляти групи ризику та створювати індивідуальні втручання для зміцнення громадського здоров'я [10].

Моніторинг якості води

Моделі на основі штучного інтелекту використовуються для оцінки та прогнозування параметрів якості води, таких як рН, розчинений кисень та рівень забруднюючих речовин. Такі моделі можуть обробляти дані з сенсорних мереж та технологій дистанційного зондування, забезпечуючи оцінювання у режимі реального часу, необхідне для управління водними ресурсами та забезпечення чистішої води [11, 12].

Використання ШІ для оцінки якості води має ряд переваг порівняно з традиційними методами. Системи на основі ШІ можуть безперервно та миттєво контролювати якість води, що може зменшити небезпеку для здоров'я населення та навколишнього середовища [13]. Алгоритми штучного інтелекту можуть створювати цільові втручання, такі як плани очищення або методи запобігання забрудненню, для зниження ризиків та наслідків цих проблем шляхом аналізу даних з конкретних регіонів та типів проблем із якістю води, а також створювати спеціалізовані рішення для контролю забруднення та захисту середовища існування для збереження водних екосистем та біорізноманіття [14].

Моніторинг ґрунту

Застосування ШІ для моніторингу ґрунту є значним прогресом в управлінні сільським господарством, охороні навколишнього середовища та плануванні землекористування [15]. Точність алгоритмів ШІ значно зменшує людські помилки, що призводить до точніших прогнозів властивостей ґрунту. Масштабованість рішень на основі ШІ дозволяє проводити комплексні оцінки стану ґрунту на великих сільськогосподарських площах [16]. Прогнозовані дані моделей штучного інтелекту дозволяють про-

водити проактивне управління ґрунтом, таке як коригування графіків поливу, оптимізація внесення добрив [17] та впровадження заходів боротьби з ерозією, підвищуючи стійкість та продуктивність сільськогосподарських практик [18].

Загалом, впровадження ШІ у моніторинг ґрунту ілюструє, як передові технології можуть трансформувати традиційні сільськогосподарські та екологічні практики. Розвиток технологій дає змогу більшого розуміння та ефективності, сприяючи більш сталим та продуктивним практикам управління земельними ресурсами [19].

Моделювання зміни клімату

Алгоритми машинного навчання відіграють важливу роль у моделюванні клімату, де вони використовуються для моделювання та прогнозування кліматичних моделей на основі великомасштабних екологічних даних. Ці моделі допомагають зрозуміти наслідки зміни клімату та розробити стратегії пом'якшення наслідків та адаптації [20].

Моніторинг біорізноманіття та екосистем

Методи штучного інтелекту, зокрема ті, що включають розпізнавання та обробку зображень, використовуються для моніторингу біорізноманіття та оцінки стану екосистем. Наприклад, автоматизовані системи, що використовують глибоке навчання, можуть ідентифікувати та класифікувати види за зображеннями з фотопасток, допомагаючи відстежувати популяції диких тварин та зміни біорізноманіття з часом [21].

Управління стихійними лихами

Штучний інтелект та машинне навчання мають вирішальне значення в управлінні стихійними лихами та реагуванні на них [22]. Прогнозні моделі можуть передбачати стихійні лиха, такі як повені, урагани та лісові пожежі, що дозволяє своєчасно втручатися та розподіляти ресурси. Крім того, ШІ може допомогти в аналізі даних соціальних мереж для оцінки впливу стихійних лих та координації зусиль реагування [23]. Прогнозування стихійних лих з використанням ШІ базується на використанні різних джерел, а саме: супутникових знімків, метеорологічних та історичних даних, що дає змогу виявити закономірності і тренди, які вказують на наближення катастрофи [3].

Проте, не дивлячись на переваги прогнозування стихійних лих на основі ШІ, для забезпечення його успішного використання необхідно вирішити низку проблем. Якість даних, що використовуються для аналізу, є однією із основних перешкод. Низька якість даних може призвести до викривлення результатів прогнозування, що, у свою чергу, негативно позначається на рівні суспільної безпеки [24].

Епідеміологічні дослідження забруднювачів навколишнього середовища

Застосування ШІ в епідеміологічних дослідженнях, пов'язаних із забруднювачами навколишнього середовища, показало надзвичайно перспективні

результати, пропонуючи точні, своєчасні та практичні дані про вплив забруднювачів на здоров'я людини [25]. Моделі на базі ШІ відіграють важливу роль у прогнозуванні спалахів захворювань, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища, шляхом аналізу великих наборів даних, що включають вимірювання якості повітря та води, метеорологічні дані та медичні записи [26]. Інтегруючи історичні дані про рівні забруднення, результати здоров'я та демографічну інформацію, моделі штучного інтелекту можуть генерувати різні сценарії та прогнозувати майбутні тенденції у сфері охорони здоров'я [27].

Отже, застосування штучного інтелекту для моніторингу навколишнього середовища продемонструвало значний потенціал, однак для повного використання його переваг необхідно подолати кілька ключових обмежень. Одним із таких є залежність від великих і високоякісних наборів даних. Моделі штучного інтелекту вимагають обсягу точних та репрезентативних даних для ефективного навчання, що може стати серйозним обмеженням, якщо такі дані відсутні. Крім того, упередженість у даних може призвести до спотворення прогнозів і посилення наявних нерівностей, що підкреслює важливість ретельного керування та попередньої обробки даних.

Висновки. Застосування штучного інтелекту в екологічному моніторингу та забезпеченні екологічної безпеки відкриває нові можливості для ефективного управління навколишнім середовищем. Інтеграція таких технологій у різні сфери, зокрема в моніторинг якості повітря, води, ґрунту, зміни клімату, біорізноманіття та управління стихійними лихами, значно підвищує точність прогнозів і швидкість реагування на екологічні загрози. ШІ здатен надавати детальні, своєчасні дані, що є критично важливим для прийняття ефективних управлінських

рішень та планування стратегій адаптації до зміни клімату.

Проте, для досягнення максимальних результатів, необхідно подолати кілька важливих обмежень. Зокрема, залежність від великих і високоякісних масивів даних залишається суттєвим викликом для ефективного застосування ШІ. Відсутність точних та репрезентативних даних може обмежити потенціал таких технологій. Крім того, упередженість даних може призвести до спотворених прогнозів та поглиблення існуючих соціальних та екологічних нерівностей, що підкреслює важливість належної обробки та керування даних.

Попри ці виклики, штучний інтелект демонструє значний потенціал у вирішенні критичних екологічних проблем. Успішна інтеграція цих технологій у повсякденну практику моніторингу та управління екологічними ресурсами сприятиме сталому розвитку та покращенню якості життя, створюючи нові можливості для ефективного реагування на екологічні загрози і запобігання їх негативним наслідкам.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження відкривають перспективи для покращення екологічного моніторингу за допомогою штучного інтелекту, зокрема для точнішого прогнозування якості повітря, води та ґрунтів, а також для оцінки змін клімату і біорізноманіття. Це дозволить значно підвищити ефективність реагування на екологічні загрози та кризові ситуації, такі як стихійні лиха та забруднення.

Використання ШІ також сприятиме розробці індивідуальних стратегій управління природними ресурсами, оптимізації сільськогосподарських практик та покращенню управління біорізноманіттям. Застосування цих технологій у національних і міжнародних програмах охорони навколишнього середовища дозволить адаптуватися до змін клімату та забезпечити сталий розвиток.

Література

1. Popescu S. M., Mansoor S., Wani O. A. та ін. Artificial intelligence and IoT driven technologies for environmental pollution monitoring and management. *Frontiers in Environmental Science*. 2024. Vol. 12, Article 1336088. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1336088.
2. Alotaibi E., Nassif N. Artificial intelligence in environmental monitoring: in-depth analysis. *Discover Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 4, Article 84. DOI: 10.1007/s44163-024-00198-1.
3. Olawade D. B., Wada O. Z., Ige A. O., Egbewole B. I., Olojo A., Oladapo B. I. Artificial intelligence in environmental monitoring: Advancements, challenges, and future directions. *Hygiene and Environmental Health Advances*. 2024. Vol. 12, Article 100114. DOI: 10.1016/j.heha.2024.100114.
4. Toderas M. Artificial Intelligence for Sustainability: A Systematic Review. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 17. P. 8049. DOI: 10.3390/su17178049.
5. McGovern A., Ebert-Uphoff I., Gagne D. J. II, Bostrom A. The need for ethical, responsible, and trustworthy artificial intelligence for environmental sciences. *arXiv preprint*. 2021. arXiv:2112.08453. URL: <https://arxiv.org/abs/2112.08453>.
6. Pachot A., Patissier C. Towards Sustainable Artificial Intelligence: An Overview of Environmental Protection Uses and Issues. *arXiv preprint*. 2022. arXiv:2212.11738. URL: <https://arxiv.org/abs/2212.11738>.
7. Grange S. K., Lewis A. C., Carslaw D. C. Source apportionment advances using polar plots of bivariate correlation and regression statistics. *Atmos Environ*. 2016. 145:128–34. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2016.09.016>.
8. Haridasan A., Thomas J., Raj E. D. Deep learning system for paddy plant disease detection and classification. *Environ Monit Assess*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10656-x>.
9. Ortega-Fernández A., Martín-Rojas R., García-Morales V. J. Artificial Intelligence in the Urban Environment: Smart Cities as Models for Developing Innovation and Sustainability. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, No. 19. P. 7860. DOI: 10.3390/su12197860.

10. Subramaniam S., Raju N., Ganesan A., Rajavel N. та ін. Artificial Intelligence Technologies for Forecasting Air Pollution and Human Health: A Narrative Review. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 16. P. 9951. DOI: 10.3390/su14169951.
11. Chen K., Chen H., Zhou C. та ін. Comparative analysis of surface water quality prediction performance and identification of key water parameters using different machine learning models based on big data. *Water Research*. 2020. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115454.
12. Li X., Su J., Wang H. та ін. Bibliometric analysis of artificial intelligence in wastewater treatment: current status, research progress, and future prospects. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2024. Vol. 12, No. 4, Article 113152. DOI: 10.1016/j.jece.2024.113152.
13. Chen Y., Song L., Liu Y., Yang L., Li D. A Review of the Artificial Neural Network Models for Water Quality Prediction. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, No. 17. P. 5776. DOI: 10.3390/app10175776.
14. Zhu M., Wang J., Yang X., Zhang Y., Zhang L., Ren H., Wu B., Ye L. A review of the application of machine learning in water quality evaluation. *EcoEnvironment & Health*. 2022. Vol. 1, Is. 2. P. 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.06.001>.
15. Abdulraheem M. I., Zhang W., Li S., Moshayedi A. J., Farooque A. A., Hu J. Advancement of Remote Sensing for Soil Measurements and Applications: A Comprehensive Review. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 21. P. 15444. DOI: 10.3390/su152115444.
16. Chaterji S., DeLay N., Evans J., Mosier N., Engel B., Buckmaster D., Chandra R. Artificial Intelligence for Digital Agriculture at Scale: Techniques, Policies, and Challenges. *arXiv preprint*, 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2001.09786.
17. Elshaikh A., Elsiddig Elsheikh, Jamal Mabrouki. Applications of Artificial Intelligence in Precision Irrigation. *Journal of Environmental & Earth Sciences*. 2024. Vol. 6, No. 2. P. 176–186. DOI: 10.30564/jees.v6i2.6679.
18. Sachithra V., Subhashini L.D.C.S. How artificial intelligence uses to achieve the agriculture sustainability: Systematic review. Artificial Intelligence in Agriculture. 2023. Vol. 8, P. 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2023.04.002>.
19. Nishant R., Kennedy M., Corbett J. Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda. *International Journal of Information Management*. 2020. Vol. 53. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102104>.
20. Reichstein M., Camps-Valls G., Stevens B., Jung M., Denzler J., Carvalhais N., Prabhat N. Deep learning and process understanding for datadriven Earth system science. *Nature*. 2019. 566(7743):195–204. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0912-1>.
21. Norouzzadeh M.S., Nguyen A., Kosmala M., Swanson A., Palmer M.S., Packer C., Clune J. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2018. 115(25):E5716–25. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1719367115>.
22. Guo Q., Ren M., Wu S., Sun Y., Wang J., Wang Q., Ma Y., Song X., Chen Y. Applications of artificial intelligence in the field of air pollution: A bibliometric analysis. *Front. Public Health*. 2022. 10:933665. doi: 10.3389/fpubh.2022.933665.
23. Linardos V., Drakaki M., Tzionas P., Karnavas Y. L. Machine learning in disaster management: recent developments in methods and applications. *Mach Learn Knowl Extract*. 2022. 4(2):446–73. <https://doi.org/10.3390/MAKE4020020>.
24. Cortés U., Sánchez-Marré M., Ceccaroni L. et al. Artificial Intelligence and Environmental Decision Support Systems. *Applied Intelligence* 2000. 13, 77–91. <https://doi.org/10.1023/A:1008331413864>.
25. Rane N., Choudhary S., Rane J. Enhancing water and air pollution monitoring and control through ChatGPT and similar generative artificial intelligence implementation. *SSRN Electronic Journal*, 2024. DOI: 10.2139/ssrn.4681733.
26. Adefemi A., Ukpoju E. A., Adekoya O., Abatan A., Adegbite A. O. Artificial intelligence in environmental health and public safety: a comprehensive review of USA strategies. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2023. Vol. 20, No. 3. P. 1420–1434.
27. Masood A., Ahmad K. A review on emerging artificial intelligence (AI) techniques for air pollution forecasting: Fundamentals, application and performance. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 322, Article 129072. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129072.

Дата першого надходження рукопису до видання: 29.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГО-ЗБАЛАНСОВАНОГО РОЗВИТКУ

UDC 620.9

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.19>

PROBLEMS OF POST-WAR USE OF WIND ENERGY IN THE SOUTH OF UKRAINE

Bozhenko A.

Petro Mohyla Black Sea National University
68 Desantnykyv St., 10, 54000, Mykolaiv
voodoo@chmnu.edu.ua

The attacks on Ukraine's energy sector during the war raised the issue of diversifying energy production sources. It is assumed that a large number of small, dispersed sources are much more difficult to attack and destroy than a system of a small number of traditional industrial power plants. This increases the role of alternative energy sources. The most attractive area for wind power projects in Ukraine is the steppe zone. On the one hand the installation of wind farms takes away fertile land that it would be better to use for agriculture, on the other hand the lands of the five regions of the steppe zone are low-productive and, as a result, low-value. Ukraine has begun to take over the wind power experience of Germany, Denmark and other European countries. This prospect seems attractive, but it is necessary to take into account that in the north of Europe and the ocean coast, wind speeds are noticeably stronger than on land and the sea shelf of Ukraine, up to twice as much. In addition to attracting international and state money to the sector, the development of citizen investment is widely considered. We have analyzed hybrid (wind turbine + solar panels) installations from local suppliers. According to preliminary estimates, this solves not as much economic problems, such as making a profit, but rather the problem of diversifying electricity supplies. However, indirectly, the use of wind turbines can strengthen security in industry and housing and communal services of Ukraine and contribute to more sustainable development of the country's economy. Most of the regions of South-Eastern Ukraine are currently in the frontline zone, so they will be considered attractive for investment only after the war. In addition, it is necessary to take into account the recurrence of hostilities in the future and build the most diversified network of wind turbines and other energy sources, which it will be difficult to disable by attacking individual elements. *Key words:* wind energy, the South of Ukraine, hybrid energy systems.

Проблеми післявоєнного використання вітроенергетики в умовах Півдня України. Боженко А.Л.

Стаття присвячена аналізу перспектив розвитку вітроенергетики на півдні України після війни. Атаки на енергетичний сектор України під час війни порушили питання диверсифікації джерел виробництва енергії. Вважається, що велику кількість малих, розосереджених джерел набагато важче атакувати та знищити, ніж систему з невеликої кількості традиційних промислових електростанцій. Це підвищує роль альтернативних джерел енергії. Найбільш привабливим регіоном для проектів вітроенергетики в Україні є степова зона. Зазвичай ставиться питання, що встановлення вітрових електростанцій забирає родючі землі, які краще використовувати для сільського господарства, але землі п'яти регіонів степової зони є низькопродуктивними та, як наслідок, низькоцінними. Україна почала широко використовувати досвід вітроенергетики Німеччини, Данії та інших європейських країн. Ця перспектива видається привабливою, але необхідно враховувати, що на півночі Європи та океанському узбережжі швидкість вітру помітно сильніша, ніж на суші та морському шельфі України. Окрім залучення міжнародних та державних коштів у сектор, широко розглядається розвиток громадських інвестицій. Ми проаналізували гібридні (вітрові турбіни + сонячні панелі) установки від місцевих постачальників. За попередніми оцінками, це в першу чергу вирішує не економічні проблеми, такі як отримання прибутку, а проблему диверсифікації поставок електроенергії. Однак опосередковано використання вітрових турбін може посилити безпеку в промисловості та житлово-комунальному господарстві України та сприяти більш сталому розвитку економіки країни. Більшість регіонів Південного Сходу України зараз знаходяться у прифронтовій зоні, тому вони будуть вважатися привабливими для інвестицій лише після війни. До того ж слід враховувати можливий повтор у майбутньому воєнних дій і розбудовувати максимально диверсифіковану мережу вітрогенераторів та інших енергетичних джерел, яку важко буде надовго вивести з ладу за допомогою атаки на окремі її елементи. *Ключові слова:* вітрова енергетика, Південь України, гібридні електростанції.

Formulation of the problem. Potentially, Ukraine is of some interest in terms of investments in wind energy. This is in line with global trends towards a carbon-free economy and European efforts to reduce the continent's dependence on carbon-fuel-producing countries. To address this issue, it is necessary to research risk factors that affect the payback of such investments and justify their feasibility.

The relevance of research. In the long term, the introduction of alternative energy sources will help make the energy system of Ukraine more independent and resilient to economic and military attacks. It is obvious that wind energy itself will occupy only a narrow niche, but nevertheless, it is useful to study this type of energy as comprehensively as possible in order to maximize the future profit that can be extracted from it.

Connection of the article with important scientific and practical tasks. This work is connected with two important scientific and practical tasks of our time: the environmental task of introducing low-carbohydrate alternative energy sources into the local energy system and the task of increasing the energy security of Ukraine.

Analysis of recent research and publications.

According to Global Wind Energy Council global wind market growth in 2023–2024 was flat, annual wind installations (onshore and offshore combined) increased in the Asia Pacific and Africa & Middle East regions, while Europe, as well as North America and LATAM experienced a decline. However, the situation over the course of a decade is influenced by the factor that Europe has been accelerating renewables development to achieve energy security in the aftermath of Russia's invasion of Ukraine. It is expected that in the near future growth in Europe and China will remain the backbone of global onshore wind development. Altogether they are expected to make up 73% of the total capacity to be built during 2025–2030 [1].

The most attractive for the implementation of wind power projects in Ukraine is the steppe zone. Strong winds in the cold season, in the warm season reduce their strength, but compensate for this decrease with additional local winds – breezes. The presence of powerful seaports and highway networks in the steppe zone simplifies the solution of logistics problems.

Usually the question is raised that the installation of wind farms alienates fertile lands from use, which are more expedient to use in agriculture, but the lands of five regions of the steppe zone are low-productive and, as a result, low-value. These are the Crimea and the regions of Mykolaiv, Kherson, Zaporizhia and Luhansk. The total area of these lands, low-productive for agriculture, but quite suitable and economically profitable for wind farms, is 10,000 thousand hectares = 100 thousand km² [2, 3].

Minimum installed capacity utilization factor (CUF):

– 0.31 for onshore wind farms;

– 0.45 for offshore wind farms.

The largest potential for installed capacity and wind power generation are in Dnipropetrovsk, Kherson, Odesa and Zaporizhia regions. Mykolaiv region belongs to the second group of regions in the South and East in this ranking with a wind power capacity potential of 30,043 MW [2, 3].

According to the materials of the newspaper “Українська енергетика” (“Ukrainian Energy”) [4], in 2024, up to 44.6 MW of wind power plants were installed in Ukraine, while in 2023 the installed capacity of new wind power plants was 238 MW. According to Konechenkov, the development of wind power in Ukraine is hampered by debt in the electricity market, periodic violations of the government's obligations to renewable energy producers, and the ineffectiveness of the market premium mechanism. Nevertheless, next year Ukraine intends to significantly increase wind generation. These are plans to

build specific wind generation facilities with a capacity of more than 800 MW [4].

In order to fully restore the energy sector of Ukraine after the war and integrate it into the energy system of the European Union, it is necessary to exchange experience between universities of different countries. Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, in particular, plans to provide active methodological support to the Mykolaiv region. In order to ensure the use of renewable energy sources, a network of scientists was formed there, uniting the Leibniz Research Center “Energy 2050” (LiFE 2050). For this purpose, interdisciplinary research areas were developed in the field of wind energy, solar energy, electric power, thermal and electrochemical energy, as well as sustainable drive systems [5]. Volker Schöber and Elke Katharina Wittich, within the framework of this line of research, suggest that Ukraine, like other European countries, move away from a centralized energy system, where if one element fails, the entire system is damaged, and perhaps even abandon the idea of restoring the energy system in this form after the war. Instead, they consider it advisable to build a diversified energy system composed of different types of energy installations, including, in particular, solar and wind [5].

Germany has been an EU leader in wind utilisation, PV, solar thermal installations and biofuel production for decades [6]. A stable and predictable policy framework has created conditions favourable to renewable energy sources (RES) growth. One of the most important economic benefits of wind power is that it reduces the exposure of economies to fuel price volatility. This benefit is so sizable that it could easily justify a larger share of wind energy in most European countries, even if wind were more expensive per kWh than other forms of power generation.

In 2025, according to Federal Network Agency, a large number of wind turbines are still being installed across Germany. The Federal Ministry for Economic Affairs reports that many new wind turbines have already been approved across the country and are now entering the construction phase. There's good news from the solar energy sector as well: Germany has already reached the halfway mark in its goal to expand solar capacity to 215 gigawatts by 2030 [7].

In addition to attracting international and government funds to the sector, the development of citizen investment is under consideration [8]. Citizen investment into wind energy is conducive to public acceptance and can contribute to closing the renewable energy investment gap, while promoting corporate social responsibility. The findings of [8] show that the risk of loss and the expected annual return on investment are the main attributes determining investment decisions, but secondary criteria, such as the project location and ownership characteristics, also affect willingness to invest. Respondents living within 10 km of a wind farm or expressing support for wind energy are significantly more likely to consider investing.

In order to actively attract residents to use solar and wind installations, it is usually necessary to use financial incentives from the state, such as tax cuts, green tariffs, etc. Such stimulation methods have their drawbacks. Thus, previously in Ukraine there were foreign solar battery parks that were fully owned by an external investor, could be removed and dismantled by him at any time, but the bulk of their income was the green tariff. In fact, their income came from the budget of Ukraine. However, further experiments with such forms of stimulation are possible to find the most optimal ones.

Highlighting previously unsolved parts of the general problem to which this article is devoted. The article is devoted to insufficiently studied aspects of wind energy development in the south of Ukraine, such as a comparative analysis of the experience and prospects for the development of wind energy in the countries of the European Union and Ukraine, taking into account local circumstances.

The novelty of the study. The authors have analyzed the economic risks and prospects for the mass use of wind turbines of different capacities in the south of Ukraine.

Methodological and general scientific significance. The methodological or general scientific significance of the work lies in the definition, clarification and theoretical substantiation of a set of issues related to improving the accounting and analysis of data on wind characteristics when making decisions about installing wind generators in a selected area.

Description of the study. Currently, the energy system of Ukraine is being reformed. After the war, investments from a number of European countries are planned. This creates the need to continue studying this industry in relation to the South of Ukraine. In order to predict the possible results of post-war investments, we analyzed data from sources [9, 10]. Total offshore wind capacity installed, under construction, consented, planned, on 30 June 2011 [9] we compared with the number of offshore wind farms operating worldwide as of June 2024, by country [10]. The results are presented in Table 1 and Fig. 1.

By comparing and ranking these data, we found a strong correlation between the number of projects in 2011 and the number of completed projects with the number of actual wind farms with turbines larger than 10 MW in 2024. This number is approximately two to three orders of magnitude less than the number of initial projects. It seems unlikely that thousands of wind energy projects will emerge for Ukraine, although it may be an exception to this trend.

It is worth mentioning that the wind capacity of the territory and water area of Ukraine is around two times less than in the best areas of northwestern Europe. For example, Fig. 2 shows that according to calculations by the Globalwindatlas system [11], the Mean Power Density indicator at an altitude of 100 m in the Elbe delta is 880 W/m², and at the confluence of the Bug estuary with the Dnieper estuary – 443 W/m². This is just one example, we have analyzed the map of the EU and Ukraine as a

Table 1

Total offshore wind capacity (installed, under construction, consented, planned), on 30 June 2011 compared to the number of offshore wind farms operating worldwide as of June 2024, by country

Country	Number of projects in 2011	Actual number of operating wind farms in 2024 (over 10 MW)
United Kingdom	48,596	39
Germany	31,247	30
Norway	11,394	5
Sweden	8,279	4
Spain	6,804	1
France	6,000	4
Netherlands	5,992	11
Greece	4,889	0
Finland	4,249	1
Ireland	3,780	1
Italy	2,700	1
Denmark	2,471	16
Belgium	1,857	11
Estonia	1,000	0
Poland	0,900	0
Portugal	0,478	1
Latvia	0,200	0
Malta	0,095	0

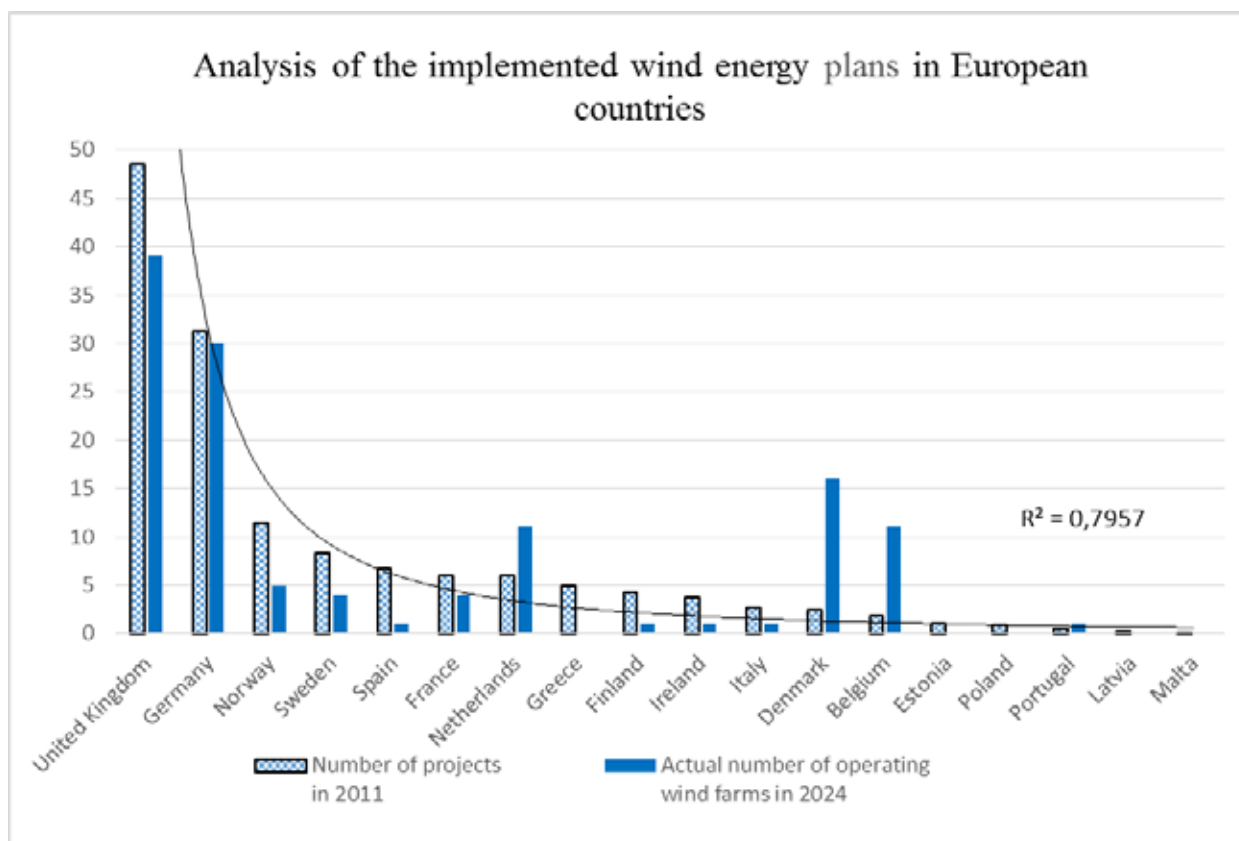


Fig. 1. Total offshore wind capacity (installed, under construction, consented, planned), on 30 June 2011 compared to the number of offshore wind farms operating worldwide as of June 2024, by country

whole, and there are many other examples of differences in the potential of possible locations for wind farms. Thus, we must admit that Ukraine as a whole has a significantly lower wind potential than European countries bordering on oceans, larger seas or clusters of seas.

It is also worth considering that turbines with a capacity of over 10 MW are very large and expensive, which means that damage to even one of them with a drone or other weapon will have a significant effect. At the moment, targeted attacks by Russian FPV drones on wind turbines in the Mykolaiv region have already been recorded, hitting the nacelle – the main element of the turbine, which contains the electric generator, braking system and transmission [12]. In this regard, we believe it is more rational to install smaller and less powerful machines in Ukraine and place them in such a way that damage to one machine does not immediately disable the entire wind farm.

At the same time, it is worth mentioning the market of not only medium-power but also low-power wind turbines. For example, we analyzed hybrid (wind turbine + solar panels) systems from Altec, using information from their website [13] (Table 2, Figure 3) as of 2025. For convenience, it is indicated here how many LED lamps can operate thanks to these installations.

We have determined that there is a close relationship between the increase in price and the capacity of the

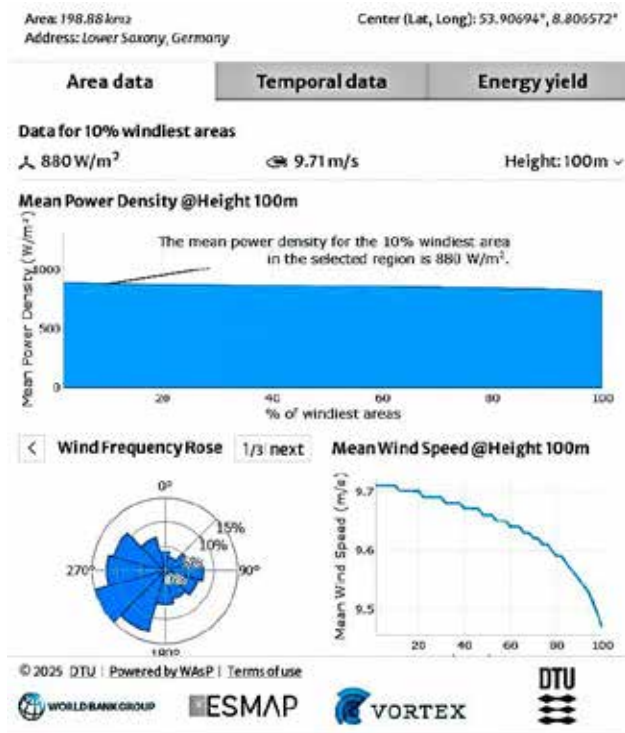
installation. Nevertheless, for domestic use, these installations can be considered quite expensive, and their advantage is primarily not in the ability to save money, but in the diversification of sources of personal energy consumption.

Conclusion

1. The attacks on Ukraine's energy sector during the war raised the issue of diversifying energy production sources. It is assumed that a large number of small, dispersed sources are much more difficult to attack and destroy than a system of a small number of traditional industrial power plants. This strengthens the role of alternative energy sources, including wind turbines, the advantages of which were usually considered in terms of ecology and a carbon-free economy. Now it is becoming clear that they also make the energy system less dependent on blackmail from states that supply oil and gas. The small productivity of such installations has one positive feature – the destruction of such a single installation deprives the system of a correspondingly small amount of necessary capacity.

2. Ukraine has begun to learn from the wind power experience of Germany, Denmark and other European countries. This prospect seems attractive, but it is necessary to take into account that in the north of Europe and the ocean coast, wind speeds are noticeably stronger than on land and the sea shelf of Ukraine, on average about

The Elbe delta



The place where the Bug estuary flows into the Dnieper estuary

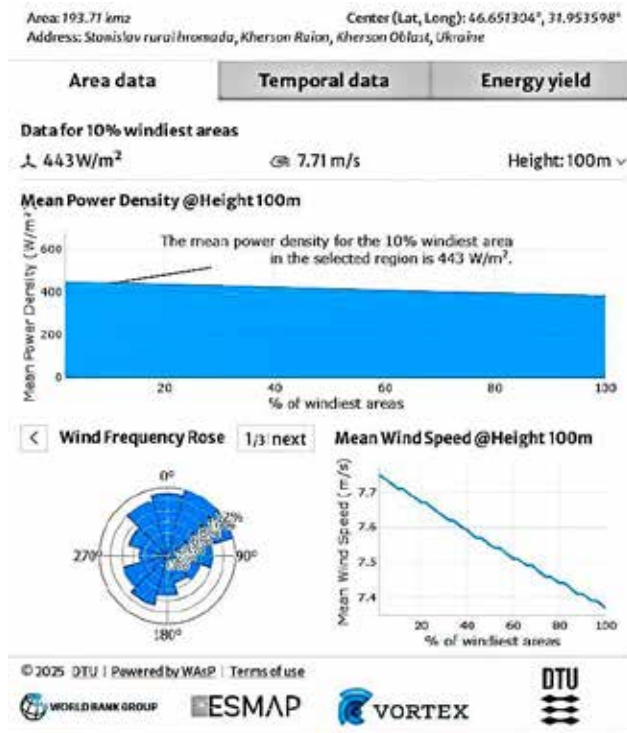


Fig. 2. Comparative analysis of the wind potential of the Elbe delta and the confluence of the Bug estuary with the Dnieper estuary using data from Globalwindatlas

Table 2

Analysis of hybrid (wind turbine + solar panels) systems from Altec

№	Type of hybrid power plant	Cost *, \$	LED lamp Power, W	Number of lamps operating simultaneously	Approximate operating time in winter, hours per day	Electricity consumption, kWh per month
1	Autonomous solar station 3 kW	2858	9	5	7	9,8
2	Autonomous solar station 5 kW	5500	9	5	7	9,8
3	Wind turbine generator for home use 0.8 kW – Offer 1	5 937,00	9	5	5	7
4	Wind turbine generator for home use 1.6 kW – Offer 2	8 882,68	10	8	8	19,8
5	Wind turbine generator for home use 4 kW – Offer 3	21 056,06	10	15	8	37,2
6	Wind-solar station 0.8 / 2 kW – Offer 1	10042,08	10	6	8	14,9
7	Wind-solar station 1.6 / 2 kW – Offer 2	14097,68	10	8	8	19,8
8	Wind-solar station 4/3 kW – Offer 3	26291,68	10	30	8	74,4

twice as much. Ukraine still has wind potential worthy of use, especially if we adopt Germany's experience in using the most diverse types of electrical installations.

3. According to preliminary estimates, the implementation of wind turbines of different capacities into the energy system of different regions of Ukraine solves

not as much economic problems, such as making a profit, but the problem of diversifying electricity supplies. However, indirectly, the use of wind turbines can strengthen security in industry, housing, and communal services of Ukraine and contribute to more sustainable development of the country's economy.

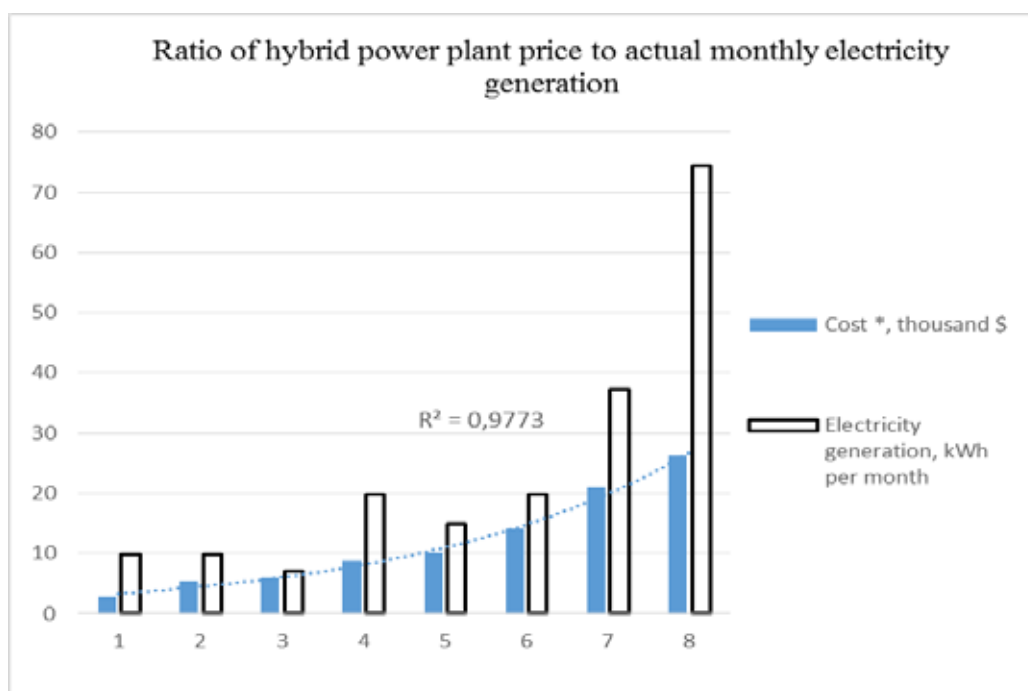


Fig. 3. Analysis of hybrid (wind turbine + solar panels) systems from Alteco

Prospects for the use of research results. In the future, the development of wind energy in Ukraine will be determined primarily by the conditions of the end of the war. The arrival of investments and the choice of location of new wind farms will depend on this. Most

regions of the South-East of Ukraine are now in the frontline zone, so they will be considered attractive for investment only after the outcome of the war, which will make them much safer. The materials of the article can be used when making decisions on these issues.

References

1. Feng Z., Global Wind Energy Council. Global Wind Report. *Global Wind Energy Council site*. URL: <https://www.gwec.net/reports/globalwindreport> (date of access: 31.08.2025).
2. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource. URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (date of access: 31.08.2025).
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / ред. С. Кудря; Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Київ, 2020. 82 с.
4. Зінченко Н. В Україні цього року знизилися темпи встановлення вітрових електростанцій. *Українська енергетика*. 2024. 12 груд. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/v-ukraini-tsohorich-znyzylisia-tempy-vstanovlennia-vitrovykh-elektrostantsii> (date of access: 31.08.2025).
5. Hanke-Rauschenbach R., Schöber V., Leibniz Universität Hannover. Transformation der Energiesysteme: Ein kompakter Überblick zur Energieforschung an der Leibniz Universität Hannover. 2022. <https://repo.uni-hannover.de/>. URL: <https://repo.uni-hannover.de/bitstreams/3bfa9967-0411-440a-a68d-c920d736868b/download> (date of access: 31.08.2025).
6. Krohn S. (editor), Morthorst P.-E., Shimon A. The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association. 2009. *EWEA site*. URL: https://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics_of_Wind_Energy.pdf (date of access: 31.08.2025).
7. Germany rapidly expanding wind power. *Deutschland.de*. 2025. 4 лип. URL: <https://www.deutschland.de/en/news/germany-rapidly-expanding-wind-power> (date of access: 04.07.2025).
8. Mechanisms to promote household investment in wind energy: A national experimental survey / J. le Maitre та ін. *Renewable Energy*. 2024. Т. 220. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119557>.
9. 17 EU COUNTRIES PLANNING MASSIVE OFFSHORE WIND POWER. Press Release. *UWEA site*. 29.11.2011. URL: <http://uwea.com.ua/article/17-stran-es-zaplanirovali-krupnomasshtabnoe-razvitie-offshornoj-vetroenerge/> (date of access: 31.08.2025).
10. Fernández L. Number of offshore wind farms operating worldwide as of April 2025, by country. *Statista*. 21.04.2025. URL: <https://www.statista.com/statistics/264257/number-of-offshore-wind-farms-worldwide-by-country/> (date of access: 31.08.2025).
11. *Globalwindatlas site*. URL: <https://globalwindatlas.info> (date of access: 31.08.2025).
12. Новини. *Миколаївські новини*, № 25. 2025. 18 черв. С. 2.
13. *Alteco: Official site*. URL: <https://alteco.in.ua> (date of access: 01.04.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 07.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ МІШКІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ КАВИ В СИСТЕМІ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

Шестопапов О.В., Цейтлін М.А., Крючкова В.В., Кочетов М.С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

Mykyta.Kochetov@mit.khpi.edu.ua

У статті розглянуто екологічні аспекти функціонування кавової індустрії та обґрунтовано доцільність вторинного використання джутових мішків для транспортування кави як елемента системи циркулярної економіки. Показано, що активний розвиток ринку кави в Україні супроводжується зростанням обсягів імпорту зеленої кави, що, у свою чергу, зумовлює накопичення значних обсягів транспортної мішківини з джутового волокна. Відсутність системного підходу до її вторинного використання спричиняє втрату потенційно цінного ресурсу та збільшення антропогенного навантаження на довкілля.

Метою дослідження є визначення можливостей нецільового вторинного використання кавової мішківини та оцінка впливу на довкілля різних методів її попередньої підготовки. У роботі використано комплекс експериментальних та аналітичних методів: мікроскопію волокон для оцінки морфологічної структури, випробування на розрив для визначення механічної міцності, а також порівняльний аналіз парової та миючої обробки для видалення залишкових запахів кави.

Встановлено, що натуральні джутові волокна зберігають стабільні структурні властивості після первинного використання, а обробка парою є найбільш ефективним, ресурсозберігаючим і екологічно безпечним способом їх підготовки до подальшої експлуатації. Проведено аналіз практичних переваг та недоліків основних напрямків використання мішківини у різних галузях – агротехнічній, текстильній, маскувальній, будівельній та побутовій. В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш поширеним в сучасній Україні є використання вживаних мішків для транспортування кави при виготовленні маскувального одягу військового призначення та його окремих елементів. Визначено, що поширення такого використання тісно пов'язано з поточною безпековою ситуацією в регіоні, функціонування кав'ярень та супутнього кавового бізнесу, а також загальної культури споживання кави.

Отримані результати підтверджують потенціал джутової мішківини як відновлюваного матеріального ресурсу, здатного до інтеграції у національну модель циркулярної економіки. *Ключові слова:* кави, мішківина, циркулярна економіка, вторинне використання, джутові волокна, обробка парою, маскувальний одяг.

Research on the possibility of reusing coffee transportation bags in a circular economy. Shestopalov O., Tseitlin M., Kryuchkova V., Kochetov M.

The coffee industry's environmental aspects are examined in the article. The feasibility to reuse jute bags for transporting coffee as an element of the circular economy system is proven. It is shown that the coffee market active development in Ukraine is accompanied by an increase in the green coffee import volume, which, in turn, leads to the accumulation of significant volumes of jute fiber from transport bags. The lack of a systematic approach to its reusing causes the loss of a potentially valuable resource and an increase in anthropogenic load on the environment.

The aim of the study is to determine the possibilities of coffee burlap non-targeted reusing and assess the environmental impact from various methods of its preliminary preparation. The work used experimental and analytical methods: fiber microscopy to assess the morphological structure, tensile testing to determine mechanical strength, as well as a comparative analysis of steam and washing treatment to remove residual coffee odors.

It was found that natural jute fibers retain stable structural properties after initial use, and steam treatment is the most effective, resource-saving and environmentally friendly way to prepare them for further use. A practical advantages and disadvantages analysis the main areas of burlap use in various industries was conducted – agrotechnical, textile, camouflage, construction and household. As a result of the research, it was found that the most common in modern Ukraine is the bags for transporting coffee reuse in the manufacture of camouflage clothing for military purposes and its individual elements. It was determined that the spread of such use is closely related to the current security situation in the region, the coffee shops functioning and the related coffee business, as well as coffee consumption general culture.

The results obtained confirm the jute burlap potential as a renewable material resource capable of integration into the national circular economy model. *Key words:* coffee, burlap, circular economy, reuse, jute fibers, steam treatment, camouflage clothing.

Постановка проблеми. Світовий ринок кави стабільно демонструє позитивну динаміку. Так, станом на липень 2025 року обсяги виробництва перевищили 11,42 млн мішків [1]. Зростання обсягів торгівлі безпосередньо пов'язане зі збільшенням використання пакувальних матеріалів, насамперед мішківини, яка традиційно застосовується для тран-

спортування зелених кавових зерен. Після виконання свого первинного призначення більшість мішків не підлягають вторинному використанню, накопичуються на складах або піддаються спаленню, що призводить до формування додаткового антропогенного навантаження на довкілля та втрати потенційно цінного ресурсу.

Актуальність дослідження. В Україні культура споживання кави набула особливого розвитку в останні 20 років. За даними аналітичних оглядів, обсяг кавового ринку країни у 2024 році перевищив 40 тис. тонн, а кількість кав'ярень продовжує зростати навіть у період воєнних дій [2]. Це свідчить про високу стійкість «ідеології кавопиття» як культурного та соціального явища. Водночас динамічне розширення кавової індустрії відбувається диспропорційно до формування екологічного мислення серед споживачів. Проблема повторного використання т.з. «кавової мішківини», яка масово імпортується разом із зеленими зернами, фактично не відображена у чинному законодавстві й зрідка стає предметом громадських чи бізнес-ініціатив. Це втрата можливостей для розвитку екологічно орієнтованих рішень у текстильному, агротехнічному, маскувальному, будівельному та дизайнерському секторах.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження пов'язана з національними завданнями сталого розвитку 12.4 «Зменшити обсяг утворення відходів і збільшити обсяг їх переробки та повторного використання на основі інноваційних технологій та виробництва» які закріплені у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні екологічні дослідження кавового сектору акцентують увагу на оцінці життєвого циклу продукції (LCA – Life-Cycle Assessment) [4]. Ці дослідження показують, що значна частина екологічного навантаження, включаючи викиди парникових газів та використання природних ресурсів, припадає саме на виробничі та пакувальні етапи. На промисловому рівні це стимулює розробку та впровадження заходів з оптимізації пакування, його повторного використання, а також застосування матеріалів з мінімальним впливом на довкілля.

Для транспортування зелених (необсмажених) кавових зерен традиційно використовуються мішки з натуральних волокон, таких як джут, коноплі та луб'яні волокна. Матеріалознавчі дослідження підтверджують їхні переваги для вторинної переробки: висока питома міцність, повна біорозкладність, ефективні тепло- та звукоізоляційні властивості, а також придатність для створення композитних матеріалів і текстильних виробів. Наукові роботи [5,6] демонструють, що властивості джутових волокон можуть бути покращені шляхом відповідної обробки. Це робить їх технічно придатними для широкого спектра вторинних застосувань, від будівельних матеріалів до аграрних потреб.

Практичні приклади з усього світу ілюструють успішні моделі перетворення використаних мішків (green coffee sacks) на цінні продукти в рамках концепції upcycling (переробки із підвищенням цінності). До таких прикладів належать еко-сумки, елементи інтер'єру, меблі, мульчувальні матриці для

сільського господарства, а також дизайнерські колекції. Неприбуткові та комерційні ініціативи [7] демонструють економічну життєздатність таких моделей, одночасно виконуючи важливу просвітницьку роль, що сприяє зростанню екологічної свідомості споживачів та популяризації ідей циркулярної економіки. Проте, важливо зазначити, що більшість цих ініціатив мають локальний характер і не супроводжуються системними LCA-дослідженнями, що обмежує їх масштабування на рівні галузі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз публікацій в українському контексті свідчить про динамічний розвиток внутрішнього ринку кави, що підтверджується зростанням обсягів імпорту та розширенням мереж кав'ярень. Однак, обсяг наукових досліджень і практичних програм, присвячених вторинній переробці пакувальної мішківини, залишається обмеженим. В Україні відсутні широкомасштабні дослідження, які б поєднували техніко-економічний аналіз, оцінку життєвого циклу (LCA) та аналіз політик для моделювання масштабного впровадження вторинного використання мішківини.

Таким чином, для України актуальним є не лише теоретичне обґрунтування, а й адаптація світових підходів до локальних реалій. Це вимагає проведення комплексних досліджень, що включатимуть технічну та економічну здійсненність, а також розробку комунікаційних стратегій для формування екологічної культури серед учасників ринку та споживачів.

Новизна. У роботі вперше проведені дослідження перспективних напрямків використання мішків від транспортування кави за різним призначенням, спираючись на фізико-механічні властивості сировини, з якої виготовленні мішки.

Методологічне або загальнонаукове значення. Наукова й практична цінність дослідження визначається кількома чинниками, серед яких:

- розвиток ринку кави в Україні супроводжується зростанням обсягів імпорту, що прямо корелює зі збільшенням кількості транспортної мішківини;
- інтеграція України у європейський економічний та екологічний простір потребує впровадження принципів циркулярної економіки та виконання положень європейського законодавства. Зокрема, у Директиві 2012/19/ЄС [8] акцентується на концепції розширеної відповідальності виробника (РВВ), яка передбачає відповідальність за повний життєвий цикл продукції, включно з повторним використанням та утилізацією пакувальних матеріалів;
- міжнародна практика доводить, що мішківина має широкий потенціал застосування у різних секторах – від аграрного до креативно-дизайнерського, що створює передумови для впровадження екологічних інновацій та розвитку нових бізнес-моделей в Україні.

Таким чином, центральною проблемою дослідження є відсутність в Україні системного підходу до повторного використання кавової мішківини як екологічно та економічно перспективного ресурсу. Її інтеграція в практики циркулярної економіки здатна стати ефективним інструментом зменшення антропогенного навантаження, сприяти розвитку «зелених» технологій, забезпечувати виконання міжнародних екологічних зобов'язань та формувати нову культуру відповідального споживання серед поціновувачів кави.

Мета роботи полягає у дослідженні фізико-механічних та якісних характеристик мішківини, що використовується для транспортування кавових зерен, з метою оцінки її потенціалу для вторинного використання поза початковим функціональним призначенням. Особливу увагу зосереджено на аналізі придатності волокнистої основи до повторного залучення у різних галузях, як елементу системи

циркулярної економіки та інструменту зменшення антропогенного навантаження на довкілля.

Викладення основного матеріалу. Для дослідження можливостей вторинного використання кавової мішківини було відібрано п'ять зразків пакувальних матеріалів, що використовуються для транспортування зелених кавових зерен. Зразки походили з основних країн-експортерів кави: Бразилії, В'єтнаму, Колумбії, Ефіопії та Індії. Характеристика зразків наведена у табл. 1. Отримані експериментальні дані відображають варіативність якісних характеристик кавової мішківини залежно від країни походження та технології виготовлення

Мікроскопія волокон дослідних зразків мішківини (рис. 1) при збільшенні $\times 200$ та $\times 600$, дозволила візуалізувати структуру переплетення, цілісність волокон та поверхневі дефекти.

Усі зразки характеризуються чітким полотняним переплетенням і щільною структурою волокон, що

Таблиця 1

Характеристика мішків для транспортування кави

Характеристика	Країна походження кави та мішка для транспортування				
	Бразилія	В'єтнам	Колумбія	Ефіопія	Індія
Тип переплетення	полотняне				
Сировинний склад	100 % джут				
Поверхнева щільність, г/м ²	250	400	360	290	390
Число ниток на 10 см (основа/уток)	10/8	20/18	15/12	12/10	18/16
Ширина, см	63				
Товщина, мм ¹	2	4	3	2	3
Розривне навантаження, кгс (основа/уток) ²	160/130	220/180	200/160	170/140	210/170

Примітки: 1 – визначали згідно стандартній методиці, описаній у [9]; 2 – визначали на розривній машині РТ-250 відповідно до стандартної методики [10].

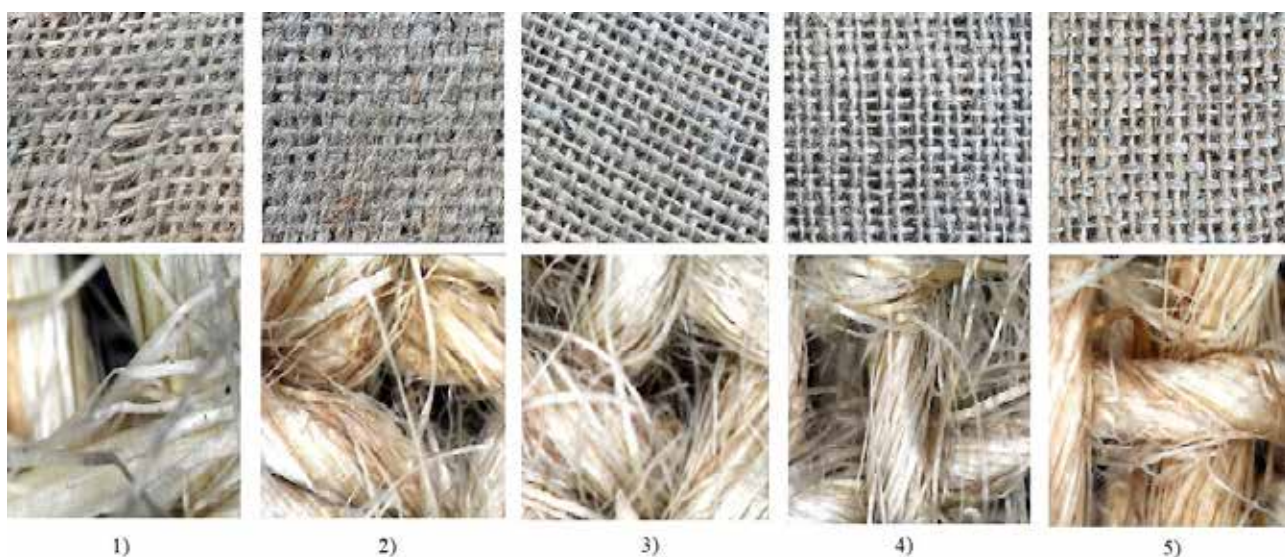


Рис. 1. Мікроскопічна структура переплетення та поверхні джутових волокон дослідних зразків кавової мішківини з різних країн імпортерів

1) Бразилія; 2) В'єтнам; 3) Колумбія; 4) Ефіопія; 5) Індія

свідчить про високий технологічний рівень виготовлення матеріалу. Ознак заплісності, ураження пліснявими грибами чи структурних руйнувань не виявлено. Таким чином, встановлено, що джутові волокна зберігають стабільність морфологічної структури та гігієнічні властивості навіть після тривалого транспортування кавових зерен, що створює передумови для їх вторинного використання.

Для оцінки функціональної придатності мішків до повторного використання було проведено експериментальні дослідження стійкості джутових волокон до механічної деформації та впливу різних методів попередньої обробки, спрямованих на усунення залишкових запахів кави.

Одним з чинників, що обмежує використання мішків для транспортування кави за прямим призначенням, тобто для зберігання та транспортування іншої харчової та не харчової продукції, є залишковий стійкий запах кави та мікробруднення джуту кавовим пилом та кавовою олією. Для встановлення якісного видалення залишкових запахів кави, очистки волокон від забруднень та встановлення механічної міцності (рис. 2), зразки було поділено на дві групи:

1) Обробка парою – вплив насиченої пари за температури $+95^{\circ}\text{C}$ протягом 30 хвилин після попереднього зволоження (контакт із водою протягом 48 годин).

2) Прання з побутовими миючими засобами – занурення у водний розчин прального порошку з подальшим промиванням і сушінням за температури атмосферного повітря $+25^{\circ}\text{C}$ у природних умовах.

Порівняльний аналіз показав, що обробка парою забезпечує найкраще співвідношення між ефективністю очищення, збереженням механічних характе-

ристик волокон і екологічною безпечністю (рис. 2). Цей метод дозволяє усунути залишкові запахи кави та поверхневі забруднення без використання хімічних реагентів.

Додатковою перевагою є дезінфікуючий ефект насиченої пари, що підвищує гігієнічну якість матеріалу.

Натомість прання з миючими засобами, хоча й демонструє задовільну ефективність у видаленні запаху, характеризується низкою недоліків:

1) метод має низьку екологічну ефективність, оскільки супроводжується значним споживанням водних ресурсів і потраплянням поверхнево-активних речовин (ПАР) у суміші з забрудненнями органічного походження у стічні води, що ускладнює їх очищення;

2) повторне висушування у природних умовах потребує тривалого часу, а надмірне зволоження викликає часткове розпушення структури волокон, що знижує міцність тканини на 10–15 %.

Аналіз життєвого циклу кавової мішківщини у системі циркулярної економіки (рис. 3) свідчить про значні можливості вторинного використання даного ресурсу на кожному етапі життєвого циклу за умови запровадження його сепарованого збору.

Статистичні дані свідчать про суттєві відмінності між рівнем повторного використання мішківщини в Україні та країнах ЄС. Якщо у європейських державах повторно залучається від 15 до 20 % відходів, то в Україні цей показник не перевищує 3–5 % (рис. 4).

Це підтверджує існування значного нереалізованого потенціалу, особливо в аграрному та будівельному секторах, де попит на натуральні біорозкладні матеріали щорічно зростає.



Рис. 2. Порівняльний аналіз впливу методів попередньої обробки на властивості джутових волокон

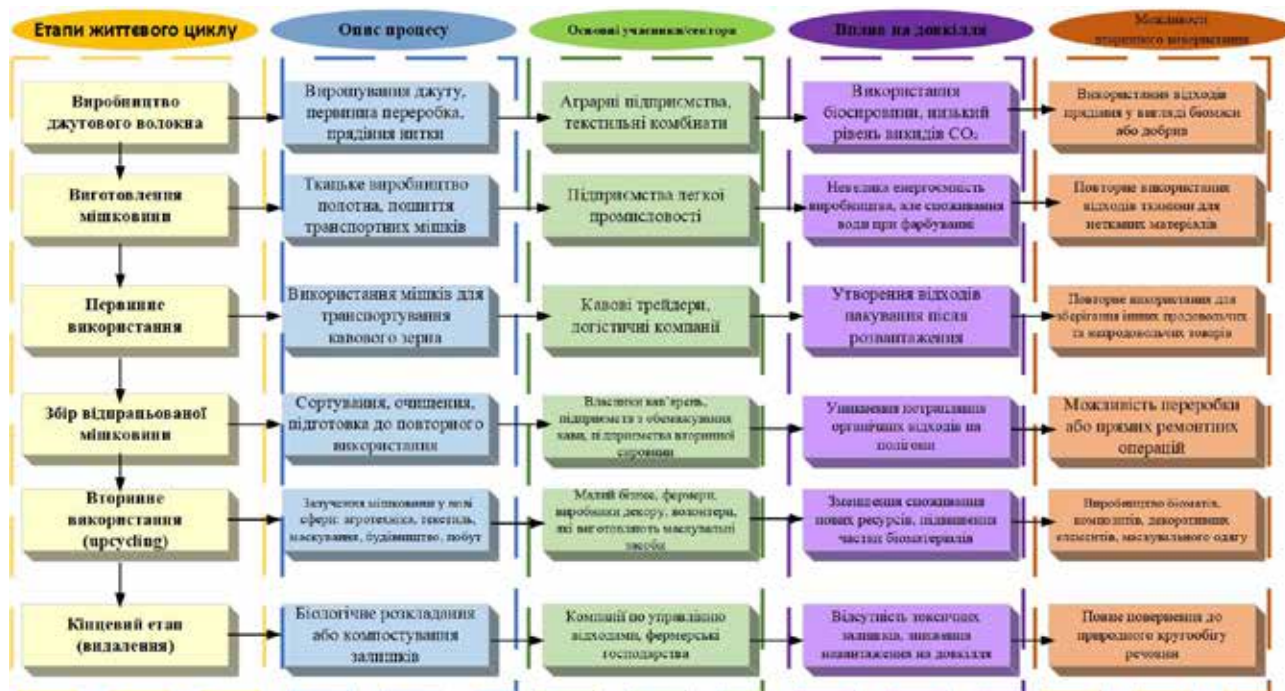


Рис. 3. Життєвий цикл кавової мішків у системі циркулярної економіки

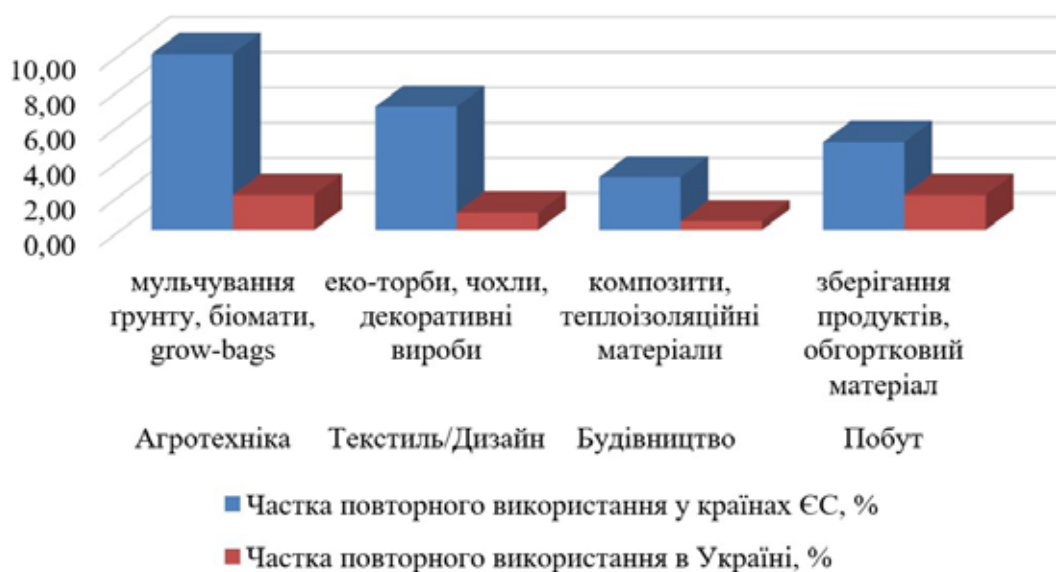


Рис. 4. Сфери та масштаби вторинного використання кавової мішків у міжнародній та локальній практиці

В країнах ЄС найбільш розповсюдженим є застосування мішків у агротехнічному секторі як біомат для мульчування, захисту ґрунтів і протиерозійних покриттів. У текстильному секторі матеріал застосовується для виготовлення еко-сумок, декоративних елементів та оббивних матеріалів.

Єдиним напрямком використання мішків для транспортування кави, який на сьогодні в Україні демонструє найбільше зростання та поширення, є виготовлення маскувального одягу для військо-

вих потреб (табл. 2). Це зумовлено перш за все повномасштабним вторгненням, адже саме після 24.02.2022 потреба в т.з. «кікіморах», нашолюмниках та інших елементах маскувального одягу зросла, що спонукало волонтерські спільноти шукати стабільні за обсягами та властивостями джерела сировини.

Поширення використання мішків для транспортування кави для виготовлення маскувального одягу почалося з західних регіонів, зокрема м. Львів, де культура споживання кави одна з найдавніших на

Таблиця 2

Переваги та недоліки різних типів вторинного використання мішків для транспортування кави

Напрямок використання	Переваги	Недоліки	Ступінь поширеності
Агробізнес-мульчування, утеплення	1) відсутність необхідності утилізації після вторинного використання; 2) відсутність необхідності попереднього очищення від залишків кави та запаху	1) необхідність транспортування від місця утворення до місця використання; 2) малі геометричні розміри мішків, що ускладнює використання на значних площах	низький
Будівельний – утеплювачі	безкоштовна екоfriendly сировина	1) необхідність виконання додаткових, складних технологічних операцій для отримання матеріалу; 2) необхідність транспортування сировини у місце переробки та готових виробів у місце використання	дуже низький
Зберігання товарів	1) міцна тара; 2) можливість відмовитись від споживання нових виробів; 3) при пошкодженні тари не утворюється мікропластик	1) необхідність попереднього очищення від залишків кави та запаху кави; 2) відсутність асортименту розмірів	низький
Декорування та пошив нових виробів	1) можливість відмовитись від споживання нових виробів; 2) унікальність об'єктів 3) може бути соціальним бізнесом та бізнесом для ветеранів	1) необхідність попереднього очищення від залишків кави та запаху кави в разі пошиття нових виробів; 2) відсутність стабільного попиту на вироби чи декор;	середній
Маскувальний	1) безкоштовна сировина; 2) відсутність необхідності попереднього очищення від залишків кави та запаху; 3) ідеальні природні кольори, що збільшують рівень маскування; 4) готові вироби мають низьку вагу та високі міцностні характеристики	1) необхідність операції розділення на нитки, що збільшує витрати часу та людських ресурсів; 2) неможливість масштабувати у ті регіони, де відсутні великі мережеві кав'ярні або підприємства з обсмаження кави	високий, але не у всіх регіонах



а



б



в

Рис. 5. Маскувальні засоби з використанням джутових волокон, отриманих з мішків для транспортування кави (Волонтерський центр ГО «Ideya.center», м. Львів)

а – готовий виріб та мішки для транспортування кави; б – елементи маскувального одягу; в – «кікімора» з використанням джутових волокон у польових умовах

території сучасної України та де не було активних військових дій. Саме у Львові перші волонтерські спільноти вже влітку 2022 року почали співпрацювати з кав'ярнями та отримувати від них мішки (рис. 5). Далі масштабування такого досвіду йшло на схід, по мірі того як ситуація на арені військових дій стабілізувалась, окремі регіони повертались до більш спокійного життя, відновлювався сектор HoReCa та з'являлась можливість отримувати мішки.

Висновки і рекомендації. Проведене дослідження підтвердило доцільність інтеграції кавової мішківини у систему циркулярної економіки як ресурсу, придатного до повторного, у тому числі нецільового, використання. Встановлено, що натуральні джутові волокна зберігають структурну цілісність та гігієнічні властивості після первинної експлуатації, що робить їх перспективними для подальшої переробки. Експериментально доведено, що обробка парою є екологічно й економічно оптимальним методом підготовки мішківини до повторного використання, забезпечуючи ефективне видалення запахів кави без погіршення механічних характеристик волокон.

Отримані результати свідчать, що залучення кавової мішківини до повторного використання може стати важливою складовою формування національної моделі циркулярної економіки в Україні. Це відкриває перспективи розвитку нових напрямів малого та середнього бізнесу, зокрема у сферах еко-дизайну, агротехнологій, будівництва та текстилю. З огляду на низький поточний рівень повторного використання пакувальних матеріалів, необхідним є створення ефективної системи збору, стандартизації та стимулювання повторної переробки мішківини.

Реалізація подібних практик сприятиме скороченню обсягів відходів, зменшенню антропогенного навантаження, підвищенню ресурсоефективності та розвитку екологічної культури споживання. Таким чином, кавова мішківина може розглядатися не як відхід, а як відновлюваний матеріальний ресурс, здатний інтегруватися у сталий виробничий цикл сучасної української економіки.

Подальшого дослідження потребує процес трансформації та деградації джутових волокон у ґрунтах та компостних ямах або купах в умовах клімату та інших особливостей України.

Література

1. Coffee Market Report. September 2025. International Coffee Organisation. URL: <https://ico.org/> (дата звернення: 01.10.2025)
2. Россоха В.В. Потенціал ринку кави в Україні та світі. *Економіка та суспільство. Маркетинг*. Гельветика. 2024. № 56. С. 168-178. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-44>
3. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-ukrainy.pdf> (дата звернення: 10.09.2025)
4. L.S. Muchangos, C. Mejia, R. Gupta, S. Sadreghazi, Y. Kajikawa. A systematic review of life cycle assessment and environmental footprint for the global coffee value chain. *Environmental Impact Assessment Review*. 2025. Vol. 111. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107740> (дата звернення: 07.09.2025)
5. О. Параска, В. Негоруй., В. Резнікова. Перспективи використання сучасних натуральних волокон для виробництва виробів військово-побутового призначення. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2023. № 5(2). С. 161-165.
6. Silva G. et al. Natural fibers as reinforcement additives for geopolymers. A review of potential ecofriendly applications to the construction industry. *Sustainable Materials and Technologies*. 2020. Т. 23. S.132-140.
7. Вітюк А. В., Залєвська А. О. Аналіз розвитку ринку кавових напоїв в Україні. *Innovation and Sustainability*. 2023. № 4. С. 72-80.
8. Директива Європейського Парламенту і Ради 2012/19/ЄС від 4 липня 2012 року про відходи електричного та електронного обладнання (БЕЕО). Редакція від 04.07.2018. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_030-12#Text (дата звернення: 10.09.2025).
9. ДСТУ ISO 5084:2004 Матеріали текстильні. Визначання товщини текстильних матеріалів та текстильних виробів (ISO 5084:1996, IDT) [Чинний від 28.10.2004]. Вид офіц. Київ : 25.01.2024.
10. Расторгуєва М.Й., Євтушенко В.В., Горізонтова О.В. Матеріалознавство та експертиза текстильних виробів : навч. посіб. для вузів. Херсон, 2009. 206 с.

Дата першого надходження рукопису до видання: 13.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ПРО ОДИН МЕХАНІЗМ ПРОЯВИ КОРИСНОСТІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВІДХОДІВ

Волошин В.С.

Приазовський державний технічний університет
вул. Гоголя, 29, 49044, м. Дніпро
vsvlshn52@gmail.com

В роботі систематизовані більшість функціонального призначення існуючих способів використання певних геополімерів, як високоліквідного вторинного ресурсу. Запропоновано використання параметрів термодинамічного стану таких матеріалів, як показника їх впорядкованості та організованості структури та властивостей. Створено методику розрахунку інтегральної ентропії геополімерних матеріалів, як похідної їх хімічних, фракційних, фізичних та ін. властивостей, в кількості восьми позицій, що обіймають більшу частину спектру можливого використання цих матеріалів. Для продукції з металургійних відходів пропонується, в якості інтегрального показника ефективності та ліквідності геополімерних сумішей, використовувати агрегатний показник якості, що складається з індексів змішування, однорідності та механічної міцності, як таких, що забезпечують товарні здібності геополімерних матеріалів. Запропоновано алгоритм розрахунку основних термодинамічних показників, що, визначає порядок обчислення інтегральної ентропії в адитивній послідовній моделі. Показано, що інтегральна термодинамічна ентропія, яка включає вісім функціонально пов'язаних складових, дозволяє об'єктивно оцінити можливість геополімерних матеріалів виконувати досить велику кількість функцій при різноманітних власних структурних, хімічних і фізичних співвідношеннях. Встановлені три окремі області параметричного ряду для функції $Q = f(S_{\text{calc}})$, які актуальні для оцінки товарної ефективності геополімерів: матеріали з низькою особистою інтегральною ентропією $S_{\text{calc}} < 160 \text{ Дж / (моль·К)}$; з високою інтегральною ентропією $S_{\text{calc}} > 190 \text{ Дж / (моль·К)}$ і матеріали для середньої зони $S_{\text{calc}} \approx 162 \div 186 \text{ Дж / (моль·К)}$, в яких виявляється широка палітра якостей для використання геополімерів у багатьох сферах діяльності людини. Порівняння відомих експериментальних даних про механічні властивості стабілізованої м'якої глини з підвищеним вмістом вологи, з використанням OPG-затверджувача, замість звичайного портландцементу, за термодинамічними параметрами системи, через його ентропію, дає цілком порівнянні результати в межах допустимих діапазонів вологості затверділої речовини (глини) і кількості в'язучого компоненту. Такі дані підтверджують результати використання методики аналізу системних властивостей геополімерів різного ґатунку та компонентності. *Ключові слова:* металургійні відходи, геополімери, термодинамічні показники, ентропія, впорядкованість, організованість, ліквідність.

On one mechanism of manifestation of the usefulness of metallurgical wastes. Voloshyn V.

The paper systematizes most of the functional purpose of the existing ways of using certain geopolymers as a highly liquid secondary resource. The use of parameters of the thermodynamic state of such materials as an indicator of their orderliness and organization of structure and properties is proposed. A method for calculating the integral entropy of geopolymeric materials, as a derivative of their chemical, fractional, physical, etc. properties, in the amount of eight positions, which cover most of the spectrum of possible uses of these materials. For products from metallurgical waste, it is proposed, as an integral indicator of the efficiency and liquidity of geopolymer mixtures, to use the aggregate quality index, consisting of indices of mixing, homogeneity and mechanical strength, as such that provide the marketability of geopolymeric materials. An algorithm for calculating the main thermodynamic indicators is proposed, which determines the procedure for calculating integral entropy in an additive series model. It is shown that integral thermodynamic entropy, which includes eight functionally related components, allows you to objectively assess the capabilities of geopolymeric materials to perform a fairly large number of functions at a variety of intrinsic structural, chemical and physical ratios. Three separate areas of the parametric series for the function. $Q = f(S_{\text{calc}})$ are established, which are relevant for assessing the commodity efficiency of geopolymers: materials with low personal integral entropy $S_{\text{calc}} < 160 \text{ J / (mol·K)}$; with high integral entropy $S_{\text{calc}} > 190 \text{ J / (mol·K)}$ and materials for the middle zone $S_{\text{calc}} \approx 162 \div 186 \text{ J / (mol·K)}$, in which a wide palette of qualities for the use of geopolymers in many areas of human activity is revealed. Comparison of known experimental data on the mechanical properties of stabilized soft clay with a high moisture content, using an OPG hardener, instead of ordinary Portland cement, according to the thermodynamic parameters of the system, due to its entropy, gives quite comparable results within the permissible moisture ranges of the hardened substance (clay) and the amount of binder. Such data confirm the results of using the methodology for analyzing the system properties of geopolymers of various grades and components. *Key words:* metallurgical waste, geopolymers, thermodynamic indicators, entropy, orderliness, organization, liquidity.

Постановка проблеми. Металургійні відходи в контексті придатності їх до практичного використання мають певні проблеми, які пов'язані з їх накопичуваною потужністю, багатокомпонентністю, хімічною токсичністю та ін., що перешкоджає їх широкому використанню. Геополімерні матеріали, як похідна від таких відходів – це унікальний спосіб мінімізації шкідливих металургійних відходів та отримання з них високоліквідної продукції.

жає їх широкому використанню. Геополімерні матеріали, як похідна від таких відходів – це унікальний спосіб мінімізації шкідливих металургійних відходів та отримання з них високоліквідної продукції.

Актуальність дослідження. Кількість металургійних відходів є величиною, неспівставною з тією їх частиною, що переробляється на користь корисної продукції. Тому, кожний крок в напрямку підвищення екологічної та економічної релевантності таких відходів стає перспективним і має актуальність як для наукових досліджень, так і для практичного використання.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Розширенню палітри корисної продукції, як способу мінімізації металургійних відходів, з яких ця продукція виходить, присвячені державні програми та практичні напрямки щодо управління твердими відходами і в певній кількості наукових та прикладних дослідженнях в країнах із розвитком металургійної промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Деякі металургійні відходи мають цікаву властивість. Завдяки вмісту в них алюмосилікатів, вони здатні створювати неорганічні полімероподібні матеріали – геополімери [1]. Це матеріали, які в результаті лужної активації, що супроводжується розчиненням оксидів кремнію і алюмінію, і подальшим процесом поліконденсації, перетворюються в просторово зшити тривимірну мережу алюмосилікатних тетраедрів $[\text{SiO}_4]$ і $[\text{AlO}_4]$, стабілізованих катіонами $(\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+})$ [2, 3].

При опосередкованій ціні однієї тони металургійного шлаку і геополімерів на європейському ринку в розмірі US\$10-55 і US\$400-485, відповідно, і обсягах продажів 35-38 млн т і 5,4-6,6 млн т на рік, відповідно, розрахункова ліквідність геополімерної продукції в 3-4,3 рази перевищує ліквідність підготовленого металургійного шлаку [4]. Це показує перспективність такого унікального продукту, одержуваного в ході переробки різноманітних металургійних відходів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Використання геополімерних матеріалів системно пов'язане з емпіричним пошуком складу та властивостей вихідних даних із переліку металургійних відходів, що звужувало лінійку їх корисних похідних.

Новизна. Запропоновано методику системної оцінки здібностей геополімерних матеріалів до розширення їх функціональних можливостей, з урахуванням термодинамічних показників в сукупності з особливими структурними, хімічними та фізичними параметрами цих матеріалів.

Методологічне або загально-наукове значення. Методика термодинамічного аналізу, як універсальний механізм оцінки впорядкованості та рівня організованості будь-якого матеріалу, дозволяє отримати об'єктивні дані про можливість геополімерів до високої ліквідності, як способу мінімізації металургійних відходів.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо властивості геополімерів, що дозволяють представити ці матеріали як високоліквідний товарний продукт з широкими інвестиційними можливостями. За функціональним призначенням і порівняними властивостями ми згрупуємо такі продукти наступним чином (табл. 1). Заздалегідь обмовимося, що послідовність наростаючих міток $b_p, (p=1,16)$ повинна відповідати зростанню ступеня впорядкованості структури геополімерів, про що буде показано нижче.

Для цього ми розглянемо геополімерні матеріали з точки зору їх термодинамічних властивостей, які мають універсальну якість бути показником впорядкованості (або безладу) і організованості для будь-якої системи.

Унікальні властивості геополімерів, як похідних продуктів з металургійних відходів, пов'язані, в першу чергу, з їх структурним станом і неоднозначним ставленням до умов термодинамічної рівноваги. Такий актуальний показник, як ентропія геополімерного матеріалу, що відображає ступінь неупорядкованості в структурі даного матеріалу, показує, що спектр унікальності його властивостей визначається в більшій частині відомого діапазону значень цього параметра для геополімерів з різним функціональним призначенням.

Для розглянутих типів геополімерів методика включає в себе послідовність вимірювань і розрахунків, формул та вказівок для нормалізації та уникнення подвійного рахунку ентропійних показників. Мета полягає в отриманні кількісної оцінки ентропії (абсолютної або відносної) шляхом розкладання її на фізично інтерпретовані властивості: компонентне змішування, структуру, конфігурацію, вібраційно-коливальну (теплову) частину, пористість і топологічну неоднорідність, внесок сорбції і поверхневих явищ і т. д. В якості механізму розрахунку ентропії геополімерів, запропоновано використовувати адитивну послідовну модель, розроблену для цілей і завдань даної роботи (рис. 1). Деталізована модель включає в себе наступні компоненти:

$$S_{total}(T) = S_{vib}(T) + S_{conf}(T) + S_{mix}(T) + S_{topo}(T) + S_{pore}(T) + S_{sites}(T) + S_{ads}(T) + S_{cat}(T) + \Delta S_{residual}^*, \text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)}$$

де: S_{vib} – вібраційно-коливальна (теплова) ентропія; S_{conf} – конфігураційна ентропія (розподіл локальних хімічних конфігурацій: Q^n -сайти, crosslinks); S_{mix} – ентропія ідеального/реального змішування оксидів та іонів; S_{topo} – топологічна (мережева) ентропія (розподіл ступенів координації, кластерів); S_{pore} – внесок пористої структури (розподіл об'ємів пір); S_{sites} – ентропія поверхневих станів (активних центрів); S_{ads} – ентропійний внесок від адсорбції (маючи на увазі – зв'язування) робочих молекул; S_{cat} – ентропія катіонного розподілу; $\Delta S_{residual}^*$ – остаточна конфігураційна ентропія при $T \rightarrow 0 \text{ К}$.

Таблиця 1

Хімічний склад і структурний стан деяких геополімерів (за даними [1, 2, 3, 4, 5, 6])

Мітка, b_p	Тип і характеристика геополімера	Основні хімічні компоненти	Структурний стан
b_1	З властивостями, альтернативними портландцементу	SiO ₂ (45–55%), Al ₂ O ₃ (20–25%), CaO (15–20%), лугу (5–8%)	Аморфний моноліт
b_2	З властивостями поверхневого самоскління	SiO ₂ (50–60%), Al ₂ O ₃ (15–20%), Na ₂ O/K ₂ O (10–15%), TiO ₂ /ZrO ₂ (5–10%)	Аморфно-кристалічна поверхня
b_3	Високо кальцієві Геополімери	CaO (40–50%), SiO ₂ (25–30%), Al ₂ O ₃ (10–15%), MgO (5–8%)	Аморфно-кристалічний моноліт
b_4	Геополімери, що легко змішуються	SiO ₂ (40–55%), Al ₂ O ₃ (15–20%), CaO (15–25%), лугу (5–8%)	Аморфна суха фаза, гідратація → моноліт
b_5	Однокомпонентні (шлакові) геополімери «on-part»	CaO (30–40%), SiO ₂ (30–35%), Al ₂ O ₃ (10–20%), MgO (5–10%)	Структура склоподібного тіла аморфного шлаку
b_6	Геополімери з сорбційними властивостями	SiO ₂ (50–65%), Al ₂ O ₃ (20–25%), Fe ₂ O ₃ (5–8%), цеоліт. добавки	Аморфно-кристалічний, сорбційно-активний стан
b_7	Геополімери з пористою структурою	SiO ₂ (45–60%), Al ₂ O ₃ (20–25%), піноутворювачі (до 10%)	Клітино-аморфний стан
b_8	Геополімери з можливостями фільтрувального валу	SiO ₂ (50–65%), Al ₂ O ₃ (20–25%), пористість 30–50%	Аморфно-пористе
b_9	Геополімери з іммобілізуючими властивостями	SiO ₂ (40–55%), Al ₂ O ₃ (20–25%), CaO (10–20%), Fe ₂ O ₃ (5–8%)	Аморфний моноліт, низька пористість
b_{10}	Геополімери для 3D-друку	SiO ₂ (45–55%), Al ₂ O ₃ (20–25%), CaO (10–15%), Na ₂ O/K ₂ O (5–10%)	Аморфна, тиксотропна паста
b_{11}	Геополімери з вогнетривкими властивостями	SiO ₂ (40–55%), Al ₂ O ₃ (20–30%), MgO (5–10%), CaO (5–10%)	Аморфно-кристалічний стан
b_{12}	Самовідновлювальні геополімери	SiO ₂ (40–55%), Al ₂ O ₃ (20–25%), CaO (10–15%), Na ₂ O/K ₂ O (5–8%), інкапсульовані Ca(OH) ₂	Аморфна структура з мікроінкапсуляцією
b_{13}	Геополімери з радіопротекторними властивостями	SiO ₂ (35–45%), Al ₂ O ₃ (10–20%), BaO (15–30%), PbO (10–20%)	Аморфно-кристалічні вклучення, висока щільн.
b_{14}	«Зелені» геополімери з еко-логічно чистим виробництвом	SiO ₂ (40–55%), Al ₂ O ₃ (15–25%), CaO (10–20%), Na ₂ O/K ₂ O (5–10%)	Аморфно-монолітна матриця
b_{15}	Високоміцні Геополімери	SiO ₂ (50–60%), Al ₂ O ₃ (20–30%), CaO (10–15%), Fe ₂ O ₃ (5–8%)	Аморфний моноліт з низькою пористістю
b_{16}	Геополімери з високими ізоляційними якостями	SiO ₂ (50–60%), Al ₂ O ₃ (20–25%), поро утворюючі добавки (10%)	Пориста аморфна структура

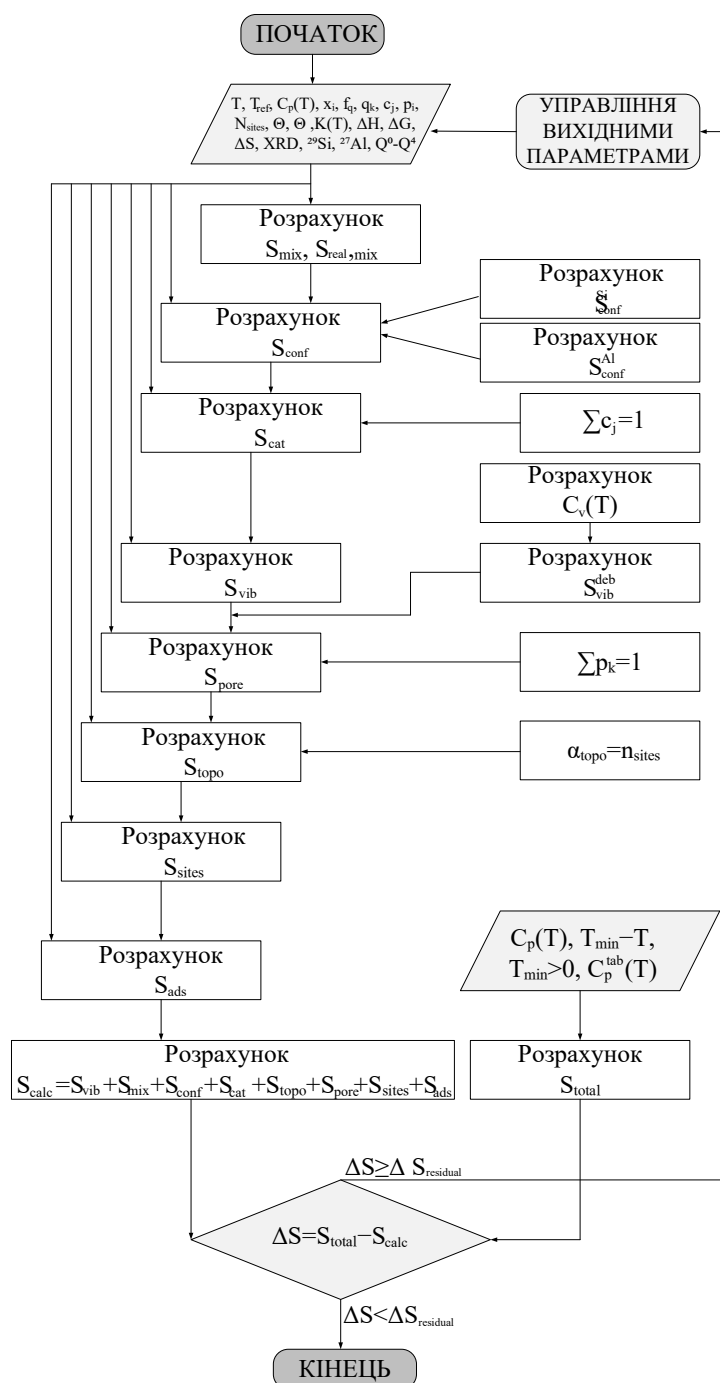


Рис. 1. Блок-схема, яка визначає порядок обчислення інтегральної ентропії в адитивній послідовній моделі

Визначення абсолютної ентропії через теплоємність (в Дж / (моль·К)) показує

$$S_{total}(T) = \int_0^T \frac{C_p(T')}{T'} dT' + S_0$$

де: S_0 – ентропія при $T=0$ (для ідеального кристала зазвичай береться $S_0 = 0$; для аморфної фази можливий залишковий внесок, його потрібно оцінювати окремо). Розрахунковою сумарною цифрою є інтегральне значення ентропії геополімеру складної структурної конфігурації і хімічного складу S_{calc}

$$S_{calc}(T) = S_{vib}(T) + S_{mix}(T) + S_{conf}(T) + S_{cat}(T) + S_{topo}(T) + S_{pore}(T) + S_{sites}(T) + S_{ads}(T), \text{ Дж / (моль·К)}$$

в порівнянні зі значенням S_{total} по залишкову конфігурацію $\Delta S^*_{residual}$

Для продукції з металургійних відходів пропонується, як інтегральний показник якості та ефективності сумішей, використовувати агрегатний індекс якості Q [0 ÷ 1]

$$Q = \lambda_1 I_{mix} + \lambda_2 I_{dens} + \lambda_3 I_{hom}$$

Тут I_{mix} – позитивна роль ідеальної ентропії змішування (чим вище $\Delta S_{mix,ideal}$, тим краще хімічна однорідність і можливості реакцій) нормалізується до максимально можливого для даного числа компонентів

$$I_{mix} = \frac{\Delta S_{mix,ideal}^{max}}{\Delta S_{mix,ideal}}, [0 \div 1],$$

I_{dens} – потенціал міцності/щільності, зворотно зв'язаний з небажаними внесками ентропії:

$$I_{dens} = 1 - \frac{w_1 S_{conf} + w_2 S_{sites} + w_3 S_{pore} + w_4 S_{vib} + w_5 S_{cat}}{S_{calc}}, [0 \div 1]$$

I_{hom} – однорідність суміші за хімічним складом і фракційністю може бути прийнята за середнє між I_{mix} та нормованою інверсією PSD-ентропії

$$I_{hom} = 0,5 \left[I_{mix} + \left(1 - \frac{S_{PSD}^*}{S_{PSD}^{*,max}} \right) \right], [0 \div 1].$$

Як припущення, для структури геополімеру приймаються еквівалентні умови змішування, щільності та однорідності $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1/3$. Ваги w_i для компоненти щільності приймаємо, як $w_1 = 0,35$; $w_2 = 0,20$; $w_3 = 0,20$; $w_4 = 0,15$; $w_5 = 0,10$. Такий розподіл відображає пріоритетність структурного безладу конфігурації. Враховуючи, що ентропія PSD

в явному виді відсутня, ми використовуємо в якості її «проху» S_{pore} (широка пористість у першому наближенні вказує на дробову неоднорідність). Тоді й $S_{PSD}^{*,max} \approx S_{pore,max}$.

Враховуючи, що багато параметрів (пористість, ступінь гідратації, розподіл катіонів) в реальних зразках геополімерів визначаються експериментальним шляхом, наведені цифри, взяті з літератури, слід вважати оцінковими, тим не менш, вони підходять для порівняльного аналізу і ранжирування зразків по ентропії. Результати поетапного розрахунку представлені в таблиці 2.

Основний внесок в ентропію геополімера ($39 \div 84$ Дж/(моль·К)) дає теплова складова S_{vib} , але вона також сильно змінюється в залежності від ступеня гідратації ($0 \div 70$). Інші внески по черзі менш значні, але в сумі вони важливі.

Існує три окремі області параметричного ряду для функції $Q = f(S_{calc})$ (рис. 2), які актуальні для оцінки ефективності геополімерів. Ефективність геополімерних матеріалів з низькою особистою інтегральною ентропією $S_{calc} > 160$ Дж/(моль·К), підкреслюється їх легкою змішуваністю. Для геополімерів з високою інтегральною ентропією $S_{calc} > 190$ Дж/(моль·К) характерний прояв таких якостей, як високий ступінь керованості структурами матеріалів і їх властивостей, зокрема, ізоляційних

Таблиця 2

Зведені дані з розрахунку інтегральної ентропії для ліній геополімерів з мітками b_p за призначенням (актуальні для розгляду темні екструдовані геополімери)

Мітка, b_p	Ентропія, Дж/(моль·К)									Q, од.
	S_{mix}	S_{conf}	S_{cat}	S_{vib}	S_{pore}	S_{topo}	S_{sites}	S_{ads}	S_{calc}	
b_1	21,74	34,35	6,96	70,92	9,38	10,40	4,65	47,78	206,17	0,567
b_2	23,30	31,37	7,30	79,47	7,68	9,72	8,71	31,78	203,08	0,605
b_3	17,58	25,08	7,41	83,11	13,41	13,49	8,77	22,28	191,13	0,493
b_4	19,22	25,90	4,53	69,76	17,85	6,00	6,95	40,42	189,73	0,413
b_5	19,41	20,13	6,73	67,00	20,89	14,84	4,07	34,79	186,87	0,408
b_6	18,98	23,88	6,83	78,25	8,54	7,65	8,19	33,75	186,36	0,541
b_7	15,03	19,08	5,96	67,52	16,38	11,16	7,79	38,03	181,95	0,416
b_8	12,42	22,63	5,22	68,64	11,40	12,27	6,93	35,65	175,17	0,398
b_9	11,78	17,28	3,56	70,14	11,69	7,10	6,86	44,42	172,83	0,402
b_{10}	10,99	18,08	3,73	51,31	10,78	7,28	3,61	61,77	167,54	0,436
b_{11}	10,01	17,03	2,55	66,38	11,19	6,72	4,51	44,42	162,82	0,386
b_{12}	9,74	16,16	3,55	59,59	10,19	6,15	5,95	47,36	158,69	0,473
b_{13}	8,99	11,64	1,94	57,11	11,97	12,14	6,18	46,74	155,69	0,494
b_{14}	7,75	12,53	1,65	48,82	14,67	9,35	8,39	51,64	154,99	0,377
b_{15}	6,23	11,81	1,42	48,02	9,49	7,81	6,54	56,77	147,09	0,576
b_{16}	5,95	11,58	0,54	39,86	11,09	5,74	4,45	66,06	145,29	0,576

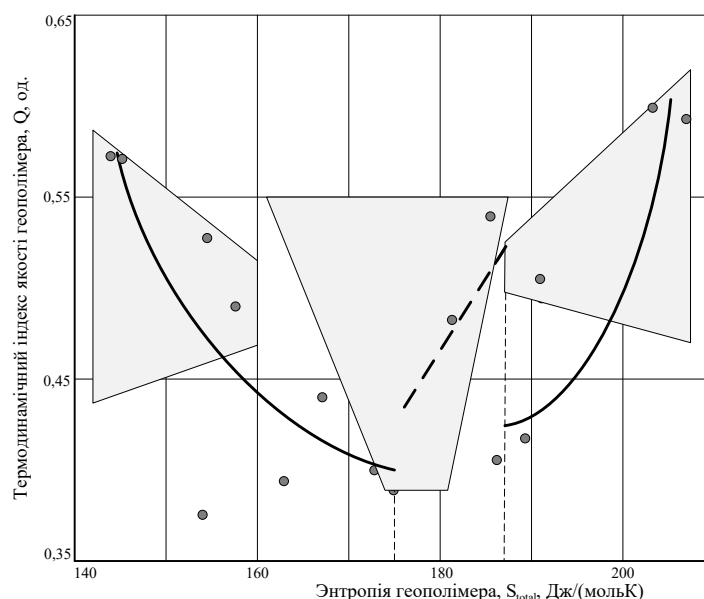


Рис. 2. Співвідношення якості геополімеру і його ентропії при різних способах застосування

здібностей аморфної суцільної структури. Матеріали для середньої зони $S_{calc} \approx 162 \div 186 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$ виявляють такі якості, як висока поглинаюча здатність і розвинена пориста поверхня.

Високі значення S_{calc} (верхні стрічки в табл. 2: $b_1 \dots b_3$) відповідають геополімерним моделям з одночасно великою вібраційною (тепловою) свободою, високим вмістом адсорбованої/зв'язаної води і значною змішаністю фаз (високі S_{vib} , S_{ads} , S_{mix}).

Високі значення ентропійної складової S_{mix} і помірне значення S_{pore} , як правило, дають дуже високі $I_{mix}(\Delta S_{mix})$ і $I_{hom}(S_{pore})$. Це, наприклад, легко змішувані геополімери (для будівельних сумішей, композитних в'язучих при виробництві цементу), а також висококальційні b_2 ($Q \approx 0.61$) і b_1 ($Q \approx 0.57$) з $S_{calc} > 200 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$. Тут висока ентропія відіграє позитивну роль: чим вища ентропія змішування і чим нижче ентропія пористості структури, тим більш впорядкована ця структура і тим легше матеріал розподіляється в матриці цементних або композитних сумішей, забезпечуючи однорідність і щільність матеріалу.

Важливо уточнити, що зростає не вся «впорядкованість», а саме ті її складові, які сприяють появі цільових властивостей матеріалу (змішуваність, наявність активних центрів, хімічна реакційна здатність).

Наприклад, для деяких геополімерів їх функціональність істотно залежить від ентропії пористої структури (S_{pore}) і ентропії сорбційних центрів (S_{ads}). Сорбенти потребують «невпорядкованих» структур з безліччю доступних поверхонь. Це стосується до b_5 з $Q \approx 0.47$ і b_4 з $Q \approx 0.46$. Хоча їх Q нижче, ніж у «будівельних» геополімерів, у них виключно високі S_{pore} і S_{ads} . Для сорбентів низький I_{dens} (мала

щільність) не є критичним, навпаки, висока ентропія пористості є перевагою. Це стосується і фільтруючих геополімерів.

Розглянемо деякі варіанти геополімерних матеріалів, що розрізняються як за структурною ентропією, так і за параметрами інтегрального індексу якості в конкретних областях їх застосування.

Актуальний екологічний аспект використання геополімерів на основі доменних шлаків пов'язаний з проблемами радіаційного захисту. Структурований певним чином геополімер (b_{13}) характеризується високою щільністю і гомогенною структурою з аморфно-кристалічними включеннями, а також хімічним складом з важкими елементами (див. табл. 1). Він здатний поглинати гамма-випромінювання і нейтрони ефективніше, ніж портландцемент [7]. Ентропія його невелика $S_{calc} = 155,69 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$, головним чином завдяки низькій ентропії ідеального змішування $S_{mix} = 8,99 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$, конфігураційній $S_{conf} = 11,64 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$ і невеличкій тепловій $S_{vib} = 8,99 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$ ентропіям.

До середньої області ($S_{calc} \approx 162 \div 186 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$ и $0,386 < Q < 0,413$) відносяться геополімери з дуже цікавими опосередкованими властивостями. Це, наприклад, матеріали b_6 , b_7 и b_8 , пористі з комірчастою структурою і високими значеннями теплової ентропії і відносно низькими $S_{pore} \approx 8,5 \div 16,4 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$, $S_{sites} \approx 6,9 \div 8,2 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$ и $S_{topo} \approx 7,6 \div 12,3 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{K})$, що робить їх здатними виконувати функції фільтрації, іммобілізації та сорбції. В основі цих матеріалів лежить здатність зв'язувати іони важких металів, висока пористість, розвинена реакційноздатна поверхня з гідроксильними групами.

Вони використовуються в якості сорбентів для промислових стоків [8] і важких металів з розчи-

нів [9], в якості конструкцій фільтрів для очищення повітря і стічних вод [1], а також в якості посередників для багатьох видів відходів. Зокрема, геополімер зі сталевих шлаку в суміші з кремнеземом і олузнувачем дає можливість видаляти зі стічних вод до 95% Cu^{2+} , без нових відходів.

Особливу цікавість представляють традиційно низкоентропійні геополімерні матеріали з малими S_{mix} і S_{pore} . Низькі S_{calc} (нижні стрічки, $b_{15} \dots b_{16}$ с $Q \approx 0,576$ в табл. 2), це більш щільні, малогідратовані структури з малою фоновою вільністю і невеликим вкладом з боку ентропій – S_{pore} і S_{cat} . Вони високо структуровані, щільні з $I_{\text{dens}} = f(S_{\text{conf}}, S_{\text{vib}})$ вище 0,45, але мають низькі $I_{\text{mix}}(S_{\text{mix}})$ і $I_{\text{hom}}(S_{\text{pore}})$. Такі матеріали мало ефективні в сорбції $S_{\text{ads}} \approx 56,7 \div 66,1$ Дж/(моль·К) або реакційних процесах, однак підходять в якості конструктивних елементів (наприклад, щільна плитка або монолітні геополімери).

Процеси геополімеризації тут дозволяють хімічно стабілізувати зазвичай нестабільні фази в шлаках конвертерного виробництва (BOF-шлаках), таких як вільні оксиди кальцію (CaO) і магнію (MgO), які при контакті з водою викликають неконтрольоване розширення [5]. Це дозволяє виробляти продукцію з високою доданою вартістю, яка може бути використана в спеціалізованих сферах, таких як вогнезахист і високоміцне будівництво [10]. Крім того, BOF-шлак, який використовується в якості активного модифікуючого компонента для отримання геополімерного композиту з підвищеною пластичністю, приймає участь у виробництві високопластичних і пружних геополімерних композитів (високопластичний сталешлаковий геополімер).

Високі адаптаційні здібності геополімерів (швидке «схоплювання», висока рання міцність, екологічність) відкриває для них нішу в технологіях 3D-друку в будівництві [11]. Вони дозволяють створювати з металургійних відходів складні архітектурні форми з коротким часом схоплювання, надаючи їм додаткові властивості вогнестійкості або пористості. Це геополімери (b_{10}) з високим ступенем функціональної ефективності ($Q = 0,436$), відносно високим ступенем аморфності ($S_{\text{vib}} + S_{\text{ads}} \approx 67\%$ від S_{calc}), із впорядкованими, високо пластичними сітчастими (катіонні) структурами $S_{\text{sites}} \approx 3,61$ Дж/(моль·К) і $S_{\text{cat}} \approx 3,73$ Дж/(моль·К). У хімічному відношенні швидкий набір міцності обумовлений інтенсивним утворенням алюмосилікатних гелів (N-A-S-H, K-A-S-H і C-A-S-H). В результаті маємо аморфний моноліт з щільною матрицею, завдяки активаторам «one-part».

Порівняння розрахункових результатів, отриманих за допомогою запропонованого методу, з експериментальними і практичними даними, опублікованими, наприклад, в роботі [12], дає однозначно позитивні висновки про його ефективність. У роботі досліджено сорбційні та зміцнювальні можливості

однокомпонентного геополімеру (OPG), синтезованого з бінарних прекурсорів (зола-винос [FA] та гранульований доменний шлак [GGBFS]) та твердого активатора (силікат натрію [NS]), який замінив звичайний портландцемент (OPC) для стабілізації м'якої глини з високим вмістом вологи.

Підсумкові результати експериментальних досліджень якості геополімерного OPG-затверджувача даного складу, а також його реальні термодинамічні характеристики в порівнянні з характеристиками ідеального OPG-затверджувача представлені в таблиці 3. Сумарні показники ентропії для III і IV типів OPG-затверджувачів (з вмістом зв'язуючого 20-30%) цілком порівнянні з оцінковими інтегральними механічними характеристиками стабілізованої глини з підвищеною вологістю (50-120%).

На рис. 3 показана діаграма профілю ентропії для OPG-затверджувача в координатах складових інтегральної ентропії. Для геополімерного затверджувача ефективними показниками є: максимально високі значення S_{mix} (що відображають однорідність матеріалу), збалансоване високе значення S_{conf} (що вказує на розвинену мережу зв'язків в структурі), помірні значення S_{topo} і S_{vib} (що вказують на жорсткість і термічну стабільність) і мінімальні значення порової ентропії S_{pore} і ентропії адсорбції S_{ads} (відповідають за щільність і мінімальну сорбцію). Профіль, показаний суцільною лінією, означає ідеальний, щільний, добре перемішаний і стійкий до навантажень зміцнювач.

Пунктирними лініями представлені профіль-діаграми складових інтегральної ентропії для реальних OPG-затверджувачів, розрахованих за наданою методикою з використанням вихідних даних робіт [1, 2, 6, 12].

В результаті виявилось, що сумарний ентропійний показник S_{calc} для реального матеріалу знаходиться в межах $120,42 \div 126,62$ Дж/(моль·К) в залежності від кількості зв'язуючого матеріалу, що можна порівняти, але трохи вище ($5,54 \div 11,07\%$), ніж у умовного «ідеального» профілю ($S_{\text{calc}} = 114,1$ Дж/(моль·К)). При цьому площа отриманої фігури порівнянна з площею фігури ідеального OPG-затверджувача.

Таким чином, реальний OPG-затверджувач, виявлений в [12], досить близький до теоретично ідеального, але все ще є простір для оптимізації: збільшення S_{mix} і помірне збільшення S_{conf} за рахунок більш точного підбору складу (наприклад, коригування співвідношення Ca/Si і введення додаткового Al_2O_3).

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження.

1. Інтегральна термодинамічна ентропія, що включає вісім функціонально пов'язаних складових, дозволяє об'єктивно оцінити можливості геополімерних матеріалів, як похідних з відходів металургійного виробництва, виконувати досить велику кількість функцій при різноманітних влас-

Таблиця 3

Базові вихідні дані і результати досліджень механічних характеристик ОРГ-затверджувачів, що описані в роботі [12] в порівнянні з їх розрахунковими термодинамічними параметрами (для $d \leq 28$ і максимальної 28-денної сушки)

Найменування контрольного показника		Тип ОРГ-затверджувача в експерименті									
		<i>I</i> (інтерполяція)	<i>II</i>	<i>III'</i>	<i>III''</i>		<i>IV'</i>	<i>IV'</i>		<i>V</i>	
Кількість зв'язуючого в ОРГ, %		5	10	20	20		30	30		40	
Початковий вміст вологи в глині, %		50,0 ÷ 120									
Міцність на стиск з різним вмістом зв'язуючого, МПа		0,571	0,743	5,937			8,737			9,254	
Міцність на стиск з рі-зним вмістом води, МПа		-	9,254	5,917			4,138			3,447	
Міцність на зсув з різним вмістом води, МПа		3,15	3,38	7,90			10,68			15,43	
Швидкість зростання міцності на зсув, МПа/d		-	0,182	0,153			0,093			0,114	
Стабілізована енергія, кДж/кг		33,1 (-6,2 рази)	59,0 -3,5 рази	117,99 (-74,5%)			177,0 (-16,3%)			206 (max)	
Ентропія	Ideal	Значення ентропії, Дж/(моль·К)									
S_{conf}	28,1	30,5	26,4	30,3			31,0			32,7	
S_{topo}	4,5	7,3	7,6	7,1			7,2			8,0	
S_{mix}	22,5	9,22	9,22	9,22			9,22			9,22	
S_{vib}	45,0	61,1	57,9	60,0			61,0			62,3	
S_{pore}	7,0	8,3	13,8	8,1			7,5			6,8	
S_{ads}	7,0	6,0	9,6	5,8			5,6			7,6	
S_{calc}	114,1	122,42	124,52	120,42			121,52			126,62	
Q, од.		0,263	0,312	0,524			0,468			0,366	
Співставлене середовище		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III'</i>		<i>III''</i>		<i>IV'</i>		<i>IV'</i>	<i>V</i>
Хімічний склад ОРГ, %	Комп.	MgO	Al_2O_3	SiO_2		CaO	TiO_2	P_2O_5	K_2O	LOI	
	GGBFS	7,63	0,81	37,29		53,01	0,34	0,43	-	0,49	
	FA	0,68	29.46	56,38		2,76	2.76	-	1,53	6,43	
	Soft Clay	2,00	15,50	63,90		2,20	-	-	-	-	

них структурних, хімічних і фізичних співвідношеннях.

2. Залежно від призначення геополімерів, стану їх ентропійних показників і відповідного індексу якості? диференційованому тлумаченню підлягають властивості цих матеріалів. Там, де ентропія пористості, змішування та хімічна складова геополімеру досить високі, вони свідчать про низьку щільність матеріалу і придатності до певних галу-

зей використання. Це сприяє зростанню значень інтегральної ентропії, але в той же час індекс споживчої якості також високий. І, навпаки, в технологіях, де розрахункова ентропія низька, але потрібен високий рівень споживчих якостей, це відповідає щільним, монолітним і міцним конструкційним геополімерним матеріалам, з низькою пористістю і високими в'язучими властивостями. Таке диференційоване розуміння впливу впорядкованості

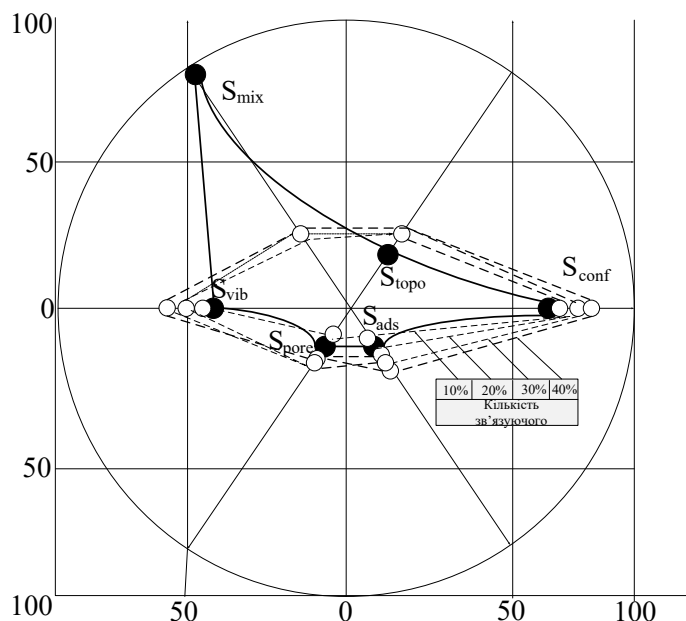


Рис. 3. Профіль ентропії ідеального (суцільні лінії) і реального (пунктири) OPG-затверджувача з різною кількістю сполучного, згідно [12]

і організованості в структурах геополімерів забезпечує дуже широку палітру їх застосування, що характерно для дуже вузького кола штучних матеріалів, в цілому, і підкреслює специфіку геополімерів як високоефективних продуктів, одержуваних з металургійних відходів.

3. Порівняння відомих експериментальних даних про механічні властивості стабілізованої м'якої

глини з підвищеним вмістом води, і з використанням OPG-затверджувача, замість звичайного портландцементу, за термодинамічними параметрами системи через її ентропію, дає цілком схожі результати в межах допустимих діапазонів вологості затверділої речовини (глини) і кількості в'язучого компоненту і показує на перспективність використання таких похідних від металургійних відходів.

Література

- Davidovits J. *Geopolymer Chemistry and Applications*. Saint-Quentin: Institut Géopolymère, 2020. – 912 p.
- Provis J.L., van Deventer J.S.J. *Alkali Activated Materials: State-of-the-Art Report*. RILEM TC 224-AAM, Springer, Dordrecht, 2014. – 464 p.
- Palomo A., Fernández-Jiménez A. "Chemical durability of geopolymers". *Cement and Concrete Research*, Elsevier, 2004, Vol. 34(5), P. 951–956.
- Xu H., van Deventer J.S.J. "The geopolymerisation of aluminosilicate minerals". *International Journal of Mineral Processing*, Elsevier, 2000, Vol. 59(3), P. 247–266.
- Bernal S.A., Provis J.L. *Alkali-Activated Materials and Geopolymers*. Woodhead Publishing, 2019. – 668 p.
- Shi C., Fernández-Jiménez A. "Stabilization/solidification of hazardous and radioactive wastes with alkali-activated cements". *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier, 2006, Vol. 137(3), P. 1656–1663.
- Olarinoye, I.O., Kolo, M.T., Fawole, I.W., & Salihu, S.O. Characterising metal slag-based geopolymer concrete for radiation shielding application. *Confluence University Journal of Science and Technology* (CUJosTech), 2(2), 2025. P. 744–777.
- Hajjaji W. Porous geopolymer composites. *Reviews on Advanced Materials Science*. 2021. P.281–301
- Zhu C., Chen D., et al. «Adsorption of heavy metals from aqueous solution by alkali-activated slag-based geopolymers: a review.» *Journal of Cleaner Production*, 2018. P.383–412.
- Kriven, W.M., Bell, J.L., Gordon, M. "Microstructure and microchemistry of fully-reacted geopolymers and geopolymer matrix composites". *Ceramics Transactions*, Vol. 153, 2003. P. 227–250.
- Rehman A., Sglavo, V. M. 3D-printing of geopolymer-based concrete for building applications. *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 26, № 10, 2020. P. 1783–1788,
- Shuo Li, Zihan Zhou, Guo Hu, Chuanqin Yao, Fujun Niu. Using One-Part Geopolymer in Stabilizing High-Water-Content Soft Clay: Towards an Eco-Friendly and Cost-Effective Solution. *Buildings*, T.5, Vol. 3, 2025. P. 477–501.

Дата першого надходження рукопису до видання: 14.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

УДК 504.062

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.22>

ЗНЕВОДНЕННЯ ФІЛЬТРАТУ В ТЕХНОЛОГІЇ СУХОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ВІДХОДІВ

Моїсєєв В.Ф., Манойло Є.В., Василенко А.О., Лук'яненко М.А.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

Viktor.Moisieiev@khpi.edu.ua, Ievgeniia.Manoilo@khpi.edu.ua

У статті розглянуто проблему зневоднення фільтрату, що утворюється в результаті сухого анаеробного збродження органічної фракції твердих побутових відходів (ТПВ). Зазначено, що фільтрат містить велику кількість органічних домішок, поживних елементів та абразивних частинок, що ускладнює його обробку традиційними способами. Проблема обробки полягає у високій абразивності та комплексному складі фільтрату, який містить значні концентрації органічних речовин, амонійного азоту, фосфатів, піску й скла. Такі характеристики унеможливають ефективну роботу традиційних центрифуг і стрічкових пресів, що створює потребу у нових підходах до обробки.

У дослідженні вперше проведено оцінку роботи роликового дегідратору типу XJD у реальних промислових умовах. У роботі представлено результати пілотних випробувань роликового дегідратору типу XJD в умовах реального виробничого навантаження. Проаналізовано фізико-хімічні характеристики осаду, ефективність зневоднення та експлуатаційні особливості роликових пресів. Результати показали, що дегідратор забезпечує стабільне зневоднення навіть при високому вмісті абразивних часток і концентрації осаду 8–13,6%, досягаючи вмісту сухої речовини у кеці до 35,9%. Обґрунтовано технічну доцільність застосування цієї технології та обладнання у системах біологічної переробки відходів.

Отримані дані підтверджують технічну та економічну доцільність застосування роликових пресів у системах біологічної переробки ТПВ та відкривають перспективи повторного використання фільтрату у виробництві мінеральних добрив або для технічних потреб. Розроблений підхід сприяє формуванню замкнених циклів поводження з відходами, зменшенню екологічного навантаження та реалізації принципів сталого розвитку й циркулярної економіки. *Ключові слова:* утилізація, поводження з відходами, фільтрат, сухе збродження, зневоднення, роликовий прес, вторинне використання, циркулярна економіка.

Filtrate dewatering in dry waste fermentation technology. Moiseev V., Manoilo E., Vasilenko A., Lukianenko M.

The article discusses the problem of dehydration of filtrate formed as a result of dry anaerobic fermentation of the organic fraction of solid municipal waste. It is noted that the filtrate contains a large amount of organic impurities, nutrients, and abrasive particles, which complicates its treatment by traditional methods. The problem of treatment lies in the high abrasiveness and complex composition of the filtrate, which contains significant concentrations of organic substances, ammonium nitrogen, phosphates, sand, and glass. These characteristics make it impossible for traditional centrifuges and belt presses to work effectively, creating a need for new approaches to treatment.

The study is the first to evaluate the performance of an XJD roller dewatering machine in real industrial conditions. The paper presents the results of pilot tests of the roller dewatering machine under real production load conditions. The physicochemical characteristics of the sludge, the efficiency of dewatering, and the operational features of roller presses are analyzed. The results showed that the dehydrator provides stable dewatering even with a high content of abrasive particles and a sludge concentration of 8–13,6%, reaching a dry matter content in the cake of up to 35,9%. The technical feasibility of using this technology and equipment in biological waste treatment systems is justified.

The data obtained confirm the technical and economic feasibility of using roller presses in biological waste treatment systems and open up prospects for reusing filtrate in the production of mineral fertilizers or for technical needs. The developed approach contributes to the formation of closed waste management cycles, reduction of environmental impact, and implementation of the principles of sustainable development and circular economy. *Key words:* disposal, waste management, filtrate, dry fermentation, dewatering, roller press, reuse, circular economy.

Постановка проблеми. Щороку у світі утворюється понад 25–30 мільярдів тонн твердих і рідких відходів, включно з побутовими, промисловими залишками та осадами стічних вод. Значна частина з них – органічного походження. Через неефективну систему переробки, мільйони тонн відходів потрапляють на полігони, займаючи понад 5–7 мільйонів гектарів, з яких близько половини – продуктивні сільськогосподарські землі.

Тверді побутові відходи (ТПВ) стали постійним супутником урбанізованого життя. За даними Світового банку, вже у 2025 року один мешканець міста продукуватиме в середньому 1,42 кг ТПВ

щоденно, що майже вдвічі перевищує показники початку ХХІ століття. У країнах із низьким рівнем доходу понад 90% відходів вивозяться на стихійні сміттєзвалища або спалюються у відкритий спосіб, що спричиняє серйозні екологічні й санітарні наслідки.

Актуальність дослідження. Серед сучасних підходів до поводження з ТПВ особливу увагу привертає вилучення та переробка органічної фракції, яка в міських умовах становить 30–60% усієї маси. Найбільш поширеними методами її перетворення є компостування (аеробна стабілізація) та анаеробне збродження, яке забезпечує не лише зменшення

маси відходів, а й генерацію відновлюваної енергії у вигляді біогазу.

Однією з ефективних технологій анаеробного зброджування є сухий процес (dry fermentation), особливо придатний для ТПВ без потреби в додатковому зволоженні. Проте реалізація такої технології неминує супроводжуватися утворенням рідкої фази (фільтрату), яка містить значні концентрації органічних речовин, амонійного азоту, фосфатів, калію, піску, частинок скла. Такий склад ускладнює зневоднення й унеможливає пряме скидання без попередньої обробки.

Складність зневоднення фільтрату посилюється низькою ефективністю або зношуваністю класичних рішень – зокрема, центрифуг та стрічкових пресів, які не витримують навантаження в умовах підвищеної абразивності. Це створює потребу у впровадженні технологій нового покоління, здатних поєднувати енергоефективність, стійкість до зносу та високу ефективність зневоднення.

Метою даного дослідження є експериментальна оцінка ефективності роликового пресу типу XJD для зневоднення фільтрату, отриманого після сухого зброджування органічної фракції ТПВ. У роботі представлено опис технологічної схеми, результати пілотних випробувань і технічні особливості впровадження обладнання в умовах реального підприємства. Особливу увагу приділено якісному складу фільтрату а також потенціалу подальшого використання осаду та рідкої фракції як вторинного ресурсу.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.

Тема дослідження відповідає Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р) [1] а також є одним із наукових напрямів діяльності кафедри хімічна техніка та промислова екологія НТУ «ХПІ». Необхідність сталого поводження з всіма видами відходів, створення інструментів для запобігання зменшення обсягів утворених відходів закріплена у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тверді побутові відходи (ТПВ) поділяються на органічні та неорганічні фракції. Органічні відходи становлять значну частку в загальному потоці ТПВ і включають харчові залишки, садові та зелені відходи, папір, картон, деревину тощо [3]. Ці компоненти є біологічно розкладними та можуть бути використані як сировина для виробництва компосту або біогазу. Натомість неорганічна частина (пластик, скло, метали) потребує окремих підходів до переробки або утилізації [4]. Морфологічний склад ТПВ залежить від регіону, сезону, рівня урбанізації, культури споживання та системи збору [5]. У містах України органічна фракція ТПВ становить у середньому від 30 до 60%. Ця фракція швидко піддається біохімічним процесам розкладу, що створює ризики для

довкілля: утворення фільтрату на полігонах, викиди парникових газів, забруднення ґрунту й води. Тому переробка органіки є пріоритетом у стратегіях сталого поводження з відходами [6].

До основних методів переробки органічних відходів належать: компостування (аеробне), анаеробне зброджування (вологе та сухе), термохімічне перетворення (піроліз, спалювання з енергетичною утилізацією) [7]. Найбільш поширеним у світі є компостування, оскільки воно не потребує складної інфраструктури. Однак анаеробне зброджування дозволяє не тільки стабілізувати органічну речовину, а й отримати біогаз як джерело відновлюваної енергії [8]. Сухе анаеробне зброджування є перспективною технологією для обробки органічної фракції ТПВ, особливо коли вміст сухої речовини у субстраті перевищує 20–25%. У таких умовах класичні рідкі ферментери не є ефективними. У реакторах сухого типу (plug-flow digesters) матеріал не переміщується, процес іде при мінімальній волозії, з утворенням біогазу і залишкового дигестату [9]. Фільтрат, що утворюється після сепарації дигестату, має високу концентрацію органічних речовин, амонійного азоту, фосфатів, калію, а також містить пісок і склобій, які потрапляють у масу з відходами [10]. Це суттєво ускладнює використання класичних технологій очищення. Фільтрат є токсичним, має високий показник ХСК, і при потрапленні у довкілля викликає ризики евтрофікації водойм, забруднення ґрунтових вод і неприємні запахи.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У роботі відзначено, що проблема зневоднення фільтрату після сухого анаеробного зброджування органічної фракції ТПВ залишається слабо дослідженою. Традиційні методи (центрифуги, стрічкові преси) не витримують навантажень у середовищі з високою абразивністю, а ефективних рішень для переробки фільтрату складного складу немає. Тому дослідження спрямоване на пошук технології, здатної забезпечити стабільне зневоднення й повторне використання фільтрату.

Новизна. У представленій роботі авторами запропоновано використання роликового дегідратору для обробки фільтрату після сухого зброджування, проведена експериментальна оцінка ефективності роботи цієї установки в реальних виробничих умовах та доведена можливість повторного використання фільтрату як вторинного ресурсу. Розроблений підхід охоплює як технологічну, так і екологічну складову зазначеної проблеми дослідження.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічна основа дослідження охоплює поетапну систему аналізу, формує практичну базу для масштабування технології зневоднення фільтрату та робить внесок у розвиток циркулярної економіки через повторне використання рідкої фракції. Дослідження закладає основу для розробки процесів механічної обробки абразивних осадів.

Методика дослідження. Дослідження здійснювалось у три етапи: аналітичному, лабораторному та експериментально-прикладному, що дозволило комплексно оцінити проблему зневоднення фільтрату після сухого анаеробного зброджування органічної фракції ТПВ. На першому етапі було проведено глибокий огляд наукових публікацій і технічної літератури, що стосується формування, складу та методів обробки фільтрату, який утворюється після процесів анаеробного зброджування. Особливу увагу приділено сучасним підходам до механічного зневоднення в умовах підвищеної абразивності осаду [11, 12]. Оцінювалися переваги та недоліки існуючих технологій, зокрема: шнекових, стрічкових і мембранних установок а також можливостей циркуляції фільтрату в технологічному циклі зброджування.

Результати аналітичного етапу стали підґрунтям для вибору обладнання, оптимального з точки зору стійкості та надійності.

На другому етапі було здійснено фізико-хімічний аналіз фільтрату, отриманого після шнекової сепарації дигестату. Дослідження проводились із застосуванням стандартних методик:

- гравіметричний аналіз – визначення загального вмісту сухих речовин (TS) і завислих часток (TSS),
- спектрофотометричні та фотометричні методи – для визначення концентрацій амонійного азоту (NH_4^+), фосфору (P), калію (K),
- визначення хімічного споживання кисню (ХСК) як маркеру органічного забруднення.

Аналіз дозволив охарактеризувати типову структуру фільтрату та ідентифікувати ключові фактори, що ускладнюють його обробку.

Фінальний етап включав пілотне тестування роликового пресу XJD на реальних зразках фільтрату, зібраного після процесу сухого зброджування органіки.

Метою дослідження було:

- оцінити зміну вмісту вологи та сухої речовини після обробки,
- дослідити стабільність роботи обладнання при дії абразивного середовища,
- проаналізувати залишковий вміст завислих речовин і поживних компонентів у фільтраті,
- визначити експлуатаційні характеристики: витрати електроенергії, частоту очищення, роботу приводів.

Результати були задокументовані та використані для оцінки технічної ефективності та економічної доцільності впровадження роликових пресів у системах біологічної переробки відходів.

Викладення основного матеріалу. Польові випробування Роликових пресів серії XJD були проведені на біогазовій станції, що діє при муніципальному сміттєпереробному підприємстві в місті Кельце (Польща).

На цьому підприємстві впроваджено технологічну схему сухого анаеробного зброджування органічної фракції твердих побутових відходів (ТПВ), яка включає наступні основні етапи:

- Механічне сортування ТПВ – відділення органічної фракції від неорганічної (метали, пластик, скло).
- Подрібнення та гомогенізація – забезпечення однорідної структури сировини для ефективнішого перебігу зброджування.
- Завантаження у ферментер – подача маси у герметичний реактор без активного перемішування.
- Ферментація – перебіг анаеробного розкладу в мезофільному або термофільному режимі (температура 37–55 °C).
- Утворення біогазу – під час метаногенезу виділяється біогаз, що складається переважно з метану (CH_4) і вуглекислого газу (CO_2).
- Сепарація дигестату – зброжений матеріал подається на шнекові сепаратори, де поділяється на тверду (cake) і рідку (фільтрат) фази.
- Обробка фільтрату – рідка фракція характеризується високою концентрацією органічних домішок, піску та скла. Це обумовлює необхідність подальшого зневоднення перед повторним використанням або утилізацією.

Роликовий прес XJD – це механічна установка безперервної дії, призначений для глибокого зневоднення осадів із попередньою флокуляцією. Пристрій поєднує в собі процеси згущення, перемішування з реагентами та механічного пресування в одному компактному модулі (рис. 1).

Конструктивно прес складається з двох основних блоків. Блок підготовки осаду (на рамі) – включає резервуар з двома відсіками: перший слугує для дозування осаду, другий – для флокуляції. Відділення між ними має V-подібний перелив, який забезпечує стабільне перенаправлення потоку. Усередині флокуляційної камери розташовано мішалку з моторним приводом, що інтенсивно змішує осад із реагентом (флокулянт) до утворення стійких флокул.

Блок зневоднення (розташований над ємністю для збору фільтрату) – приймає флокульований осад із підготовчого блоку та забезпечує механічне зневоднення. Осад транспортується в систему насосом і після хімічної обробки подається в зону зневоднення, де відбувається основний процес видалення води.

Фільтрувальний блок складається з кількох валків, що мають складену конструкцію. Великі й малі тонкі диски з нержавіючої сталі, а також товсті диски зі смоли формують фільтрувальні елементи. Між дисками утворюються щілини, через які проходить лише вода, тоді як флокули затримуються. Сусідні диски постійно переміщуються, що запобігає забрудненню щілин. Фільтрувальні ролики розташовані в двох ярусах – верхньому та нижньому.

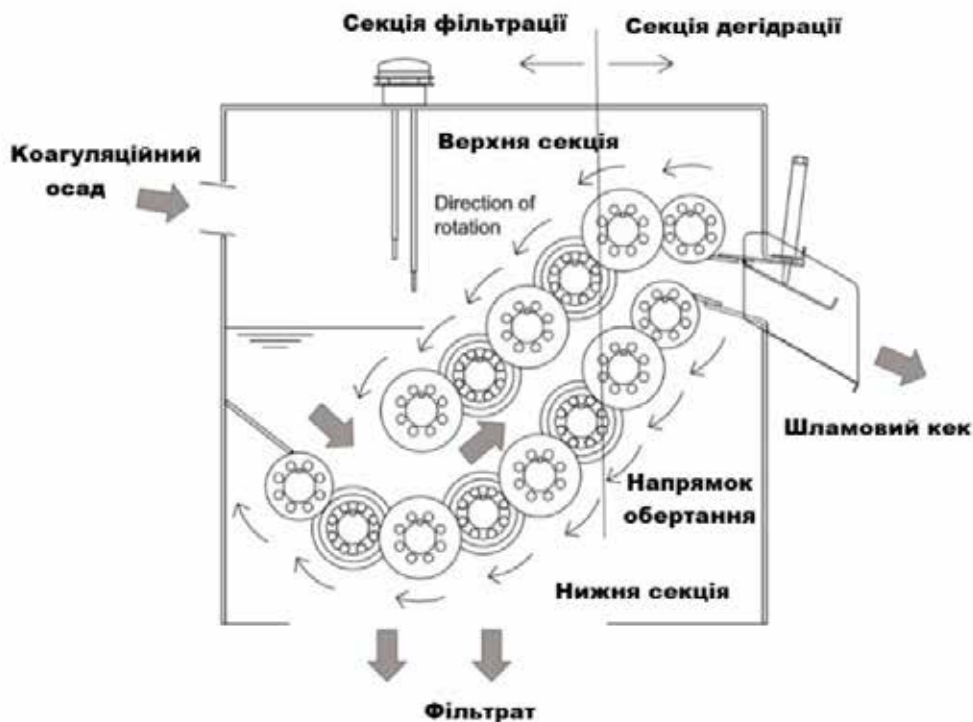


Рис. 1. Схема фільтрувального блоку

Відстань між ярусами поступово зменшується в напрямку до виходу, що забезпечує поетапне стискання осаду. Ролики у зоні зневоднення обертаються повільніше, створюючи умови для додаткового пресування флокульованої маси. На виході зневоднений осад потрапляє в жолоб, оснащений регульованою перегородкою. Ця заслінка створює зворотний тиск, який додатково ущільнює осад і дозволяє регулювати ступінь його зневоднення.

Вміст сухої речовини у вихідному осаді становив від 16,9% до 18,2%, що є доволі високим показником для механічного зневоднення. При цьому вміст легких твердих речовин (VTS) – показник органічної частки осаду за результатами прокалювання при 550 °C – складав від 36,7% до 52,3%, що може свідчати про високу концентрацію біоактивних сполук.

Результати пілотних випробувань продемонстрували високу ефективність роликового дегідратору типу XJD для зневоднення фільтрату після сухого анаеробного зброджування органічної фракції ТПВ. Обладнання стабільно функціонувало в умовах високої абразивності та широкого діапазону концентрацій вхідного осаду (8–13,6%), забезпечуючи вміст сухої речовини у кекі до 35,9%.

Наявність у фільтраті після зневоднення значних залишкових концентрацій речовин свідчить про збереження потенціалу для його подальшого використання. Такий фільтрат може слугувати сировиною для виготовлення мінеральних добрив або технічної води, що відповідає сучасним тенденціям ресайклінгу в рамках циркулярної економіки.

Переваги роликових дегідраторів над традиційними методами (центрифуги, стрічкові преси) проявляються у нижчій енергоємності, підвищеній зносостійкості, відсутності потреби в складному обслуговуванні й високій адаптивності до складних осадів. Це робить обладнання придатним до впровадження на муніципальних і промислових об'єктах біологічної переробки.

Головні висновки. Утворення фільтрату після сухого анаеробного зброджування органічної фракції ТПВ є актуальною технологічною проблемою, яка потребує ефективних рішень з точки зору зневоднення та подальшої утилізації.

Проведені випробування дегідраторів серії XJD продемонстрували їхню здатність ефективно працювати в умовах підвищеної абразивності та при високих навантаженнях. При цьому було досягнуто показників сухої речовини у твердому залишку до 35,9% при концентрації вхідного осаду 8–13,6%.

Перспективи використання результатів дослідження. Впровадження подібного обладнання сприяє побудові замкнених циклів поводження з відходами, зменшує екологічне навантаження та відкриває нові можливості для повторного використання фільтрату.

Подальші дослідження повинні бути зосереджені на оптимізації конструктивних рішень, покращенні змиву та обслуговування агрегатів, а також на вивченні можливостей повторної утилізації очищеного фільтрату як ресурсного компонента.

Таблиця 1

**Результати досліджень фізико-хімічних властивостей
(вміст фосфору, калію, азоту, TSS, TS, ХСК) біомасових відходів**

Показник	Осад / перед пресом	Фільтрат / після преса
P, мг/г	0,158 / 0,093	0,0003 / 0,0001
K, мг/г	1,592 / 1,206	1,073 / 0,722
TSS, %	7,581 / 6,387	0,486 / 0,448
TS, %	3,809 / 3,426	0,220 / 0,200
N, %	0,396 / 0,350	0,219 / 0,204
ХСК, мг/л	92800 / 62336	59050 / 64262

Таблиця 2

Результати вологості фільтрату та кеку після зневоднення

Початковий осад перед пресуванням, %	Осад, %	Фільтрат, %
11,42	25,84	2,35
11,86	27,6	2,14
12,21	31,43	2,26
13,6	29,95	1,9

Література

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. Офіційний вісник України. 2017. № 94. Ст. 2859. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
2. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf>
3. Бузіна І. М., Рябенко В. С. Переробка органічної складової твердих побутових відходів шляхом компостування. Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика : зб. тез доп. II Міжнар. Наук. Інтернет-конф. м. Тернопіль, 20 листопада 2020 р. Тернопіль : ЗУНУ, 2020. – С. 29-30.
4. Горобець О. В., Галіцький В. А. Перспективні напрями утилізації органічних відходів. Наука. Молодь. Екологія – 2016: зб. матеріалів XII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. м. Житомир, 27 травня 2016 р. ЖНАЕУ, 2016. С. 97-102
5. Шумило К. П., Белянська О. Р., Красніков К. С., Мірошниченко Н. В. Дослідження енергоекологічного методу переробки промислово-побутових відходів. Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. 8 (52). – С. 75-80.
6. Утилізація та переробка відходів. Технології, способи, методи переробки відходів. Переробка твердих побутових відходів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://business-idea.com.ua/ovr0/new-utilizaciya-ipererabotka-otxodov-texnologii-spos-1.html>
7. Perrot, J.-F. Subiantoro, A. Municipal Waste Management Strategy Review and Waste-to-Energy Potentials in New Zealand. Sustainability 2018, 10, 3114. doi: 10.3390/su10093114
8. Fu, Y. Luo, T. Mei, Z. Li, J. Qiu, K. Ge, Y. Dry Anaerobic Digestion Technologies for Agricultural Straw and Acceptability in China. Sustainability 2018, 10, 4588. doi: 10.3390/su10124588
9. Białecka, B. Waste management in the agri-food industry in the Silesian Voivodeship. Problems of Ecology, 2008. 12(1), 28–32.
10. Dołżyńska, M.; Obidziński, S.; Kowczyk-Sadowy, M.; Krasowska, M. Densification and Combustion of Cherry Stones. Energies 2019, 12, 3042. doi: 10.3390/en12163042
11. Carraro G, Tonderski K, Enrich-Prast A. Solid-liquid separation of digestate from biogas plants: A systematic review of the techniques performance. J Environ Manage. 2024. 356:120585. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.120585
12. Nowak, M. Czekala, W. Sustainable Use of Digestate from Biogas Plants: Separation of Raw Digestate and Liquid Fraction Processing. Sustainability 2024, 16, 5461. doi: 10.3390/su16135461

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ОСОБЛИВОСТІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

Полушкін Т.І., Сафранов Т.А.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, 65015, м. Одеса

polushkin.timur@gmail.com, safranov@ukr.net

Поліетилентерефталат (ПЕТФ) є одним з домінуючих серед різноманітних пластикових матеріалів для виробництва пляшок, в які розливають алкогольні та безалкогольні напої, питну і мінеральну воду, молоко, олії, соуси та кетчупи. Властивості ПЕТФ зумовлюють його істотну роль як у складі пластикових матеріалів та їх відходах пластикових матеріалів, які поділяються на відходи виробництва, відходи виробничого використання відходи громадського споживання. У структурі відходів пластикових матеріалів 20,4–25 % припадає на ПЕТФ. Незважаючи на ресурсну цінність відходів, які вмістять ПЕТФ, вони потрапляють на численні звалища і полігони ТПВ, а тому проблема їх використання є актуальною. У структурі потоку твердих побутових відходів Одеської області відходи ПЕТФ займають друге місце після відходів поліетилену. Найбільші масштаби накопичення як відходів пластикових матеріалів, так і ПЕТФ в їх складі характерно для Одеську промислово-міської агломерації та прилеглої території, де є необхідні можливості для збирання, сортування та утилізації цих відходів.

Система управління та поводження з відходами пластикових матеріалів, зокрема з ПЕТФ, в Одеській області не відповідає принципами економіки замкнутого циклу та Директиви 2008/98/ЄС. Для удосконалення існуючої системи управління та поводження пропонується: розгашувати «чисті» ПЕТФ-контейнери біля супермаркетів, установ освіти, ТРЦ тощо; працювати з об'єднаннями співвласників багатоквартирних будинків і створити локальні пункти збору відходів (ПЕТФ) у дворах; оголошувати дані щодо збору відходів ПЕТФ, щоб мешканці цих будинків могли бачити результати своїх зусиль та розуміти користь від сортування і роздільного збору. Реальним поштовхом для підняття рівня сортування і роздільного збору відходів пластикових матеріалів, зокрема ПЕТФ-пляшок, має бути впровадження в регіонах України по зразку в країнах ЄС, депозитарної системи збору ПЕТФ-пляшок, як частини відповідальності виробника тари. *Ключові слова:* відходи пластикових матеріалів, поліетилентерефталат управління та поводження, тверді побутові відходи, реціклінг.

Features of Polyethylene Terephthalate Waste management in the regions of Ukraine. Polushkin T., Safranov T.

Polyethylene terephthalate (PET) is one of the dominant plastic materials used for the production of bottles intended for alcoholic and non-alcoholic beverages, drinking and mineral water, milk, oils, sauces, and ketchup. The properties of PET determine its significant role both as part of plastic materials and their waste, which is divided into production waste, industrial use waste, and municipal consumption waste. In the structure of plastic waste, 20.4–25% accounts for PET. Despite the resource value of PET-containing waste, it ends up in numerous landfills and municipal solid waste sites, which makes the issue of its utilization highly relevant. In the structure of the municipal solid waste stream of Odesa region, PET waste ranks second after polyethylene waste. The largest accumulation of both plastic waste and PET in their composition is characteristic of the Odesa industrial-urban agglomeration and adjacent areas, where there are the necessary opportunities for collection, sorting, and recycling of such waste. The system of management and handling of plastic waste, in particular PET, in Odesa region does not comply with the principles of the circular economy and Directive 2008/98/EC. To improve the existing waste management and handling system, it is proposed to: place “clean” PET containers near supermarkets, educational institutions, shopping malls, etc.; cooperate with homeowners’ associations of apartment buildings to establish local PET waste collection points in courtyards; publish data on PET waste collection so that residents can see the results of their efforts and understand the benefits of sorting and separate collection. A real incentive to increase the level of sorting and separate collection of plastic waste, particularly PET bottles, should be the introduction in the regions of Ukraine, following the EU model, of a deposit-return system for PET bottles as part of producer responsibility for packaging. *Key words:* plastic waste, polyethylene terephthalate management and handling, municipal solid waste, recycling.

Постановка проблеми. Поліетилентерефталат (ПЕТФ) є найпоширенішим представником класу поліестерів, тобто синтетичних тканин, створених з поліефірних волокон шляхом хімічної обробки нафтопродуктів. ПЕТФ одним з домінуючих серед різноманітних пластикових матеріалів для виробництва пляшок, в які розливають алкогольні та безалкогольні напої, питну і мінеральну воду, молоко, олії, соуси та кетчупи. Основними перевагами ПЕТФ-пляшок є: 1) герметичність (матеріал вологостійкий і водонепроникне ний, надійно захищає вміст ємності); 2) зручність (тара легка, не б'ється при транспортуванні, вироби стійкі до роз-

тріскування, деформування та ударам); 3) різноманітність (пляшки різних конфігурацій, кольорів та обсягів); 4) безпечність (ПЕТФ не виділяє токсичних речовин та неприємних запахів, але вони не повинні нагріватися понад 25 °С (при нагріванні видаляється дибутилфталат, який може нанести шкоду ендокринної і нервової системам, а також може бути однієї із причин формування злоякісних утворень, гормональних порушень та токсичного гепатиту); 5) можливість багатократного використання (якщо для харчових продуктів таку тару можна повторно використовувати після ретельної очистки і з дотриманням вимог щодо температурного режиму, то для

побутових потреб обмежень немає; 6) процес виробництва не наносить шкоду навколишньому середовищу; 7) ПЕТФ-пляшки успішно піддаються вторинної переробці. ПЕТФ-пляшки мають добрі бар'єрні характеристики, а також одношаровий та однорідний склад, що сприяє їх переробці. Порівняльно з склом, ПЕТФ-пляшки більш легкі і мають менший вуглецевий при виробництві та транспортуванні. Завжди сучасним технологіям дезактивації в процесі переробки спожитого ПЕТФ, цей матеріал став безпечним для повторного використання в якості упаковки для напоїв. Перелічені здатності ПЕТФ зумовлюють їх дуже істотну роль у складі пластикових матеріалів та їх відходах. В той же час, в ПЕТФ-смітті неприпустимо вторинно використовувати, оскільки при контакті з водою або харчовими продуктами виділяються токсичні речовини, а також не рекомендується наливати гарячі напої. Крім того, вони мають незначну зносостійкість.

ПЕТФ і ПЕ можуть бути зовні схожими, хоча вони складені з полімерів з різними властивостями і сферами використання. Поліетилен представляє собою ланцюжок молекул етилену та має формулу $n(C_2H_2)$, ПЕТФ складається з етиленгліколю і терефталевої кислоти та має формулу $n(C_{10}H_8O_4)$. Поліетилен є міцним і легким пластиком, який має високе співвідношення міцності і ваги, та в залежності від щільності може бути прозорим та непрозорим, у той час як ПЕТФ – один з самих прозорих пластичних матеріалів. Обидва пластика можна використовувати для упаковки харчових продуктів, поліефірних волокон, пляшок і контейнерів. Превагами ПЕТФ є легка вага, висока міцність, придатність для харчових контейнерів, вологостійкість та придатність для вторинної переробки.

ПЕТФ-матеріали придатні до переробки, але реальні обсяги їх переробки незначні, і більша частина потрапляє на звалища, де розкладається протягом дуже тривалого часу і виділяє токсичні речовини в ґрунтовий покрив і геологічне середовище. При фрагментації ПЕТФ-матеріалів може утворюватися мікропластик, який потрапляє в природні складові довкілля, що представляє потенційну загрозу для здоров'я людини і стану навколишнього середовища. Виробництво ПЕТФ вимагає значних обсягів нафти, що робить його залежним від цін на енергоресурси та сприяє виснаженню цих невідновлюваних природних ресурсів. ПЕТФ можуть відділяти токсичні речовини при нагріванні, особливо при контакті з гарячою їжею або напоями.

Відходи пластикових матеріалів (ВПМ) поділяються на такі групи [1]:

1) *відходи виробництва*, що утворилися під час процесів синтезу та переробки полімерів, тобто низькомолекулярні фракції полімерів у вигляді злитків-виливів, відходи чистки апаратів, розсіпані частинки, а також браковані вироби, літникові системи (вони можуть бути модифіковані та використані як вторинна полімерна сировина для виго-

товлення виробів з не високим рівнем тренувальних властивостей матеріалу або для спеціальних цілей); 2) *відходи виробничого використання* – різноманітна тара й упаковка; деталі, що вийшли з користування й таке інше, а також віднести медичні, біологічні, будівельні, відходи транспортного комплексу, промислові відходи; 3) *відходи громадського споживання* – це використані зношені вироби, пакування, транспортна тара, предмети домашнього вжитку та інше; вони складають біля 85% всіх ВПМ; їх склад та властивості, як правило, непередбачуваний, а їх передісторія невідома, а тому поки що переробці підлягає тільки обмежена номенклатура відходів, яку треба розширювати.

Вирішення проблеми поводження з відходами ПЕТФ можливо при наявності необхідних технологій. Методи утилізації відходів з ПЕТФ поділяються на такі основні групи:

1) *фізичні методи*, такі, під час яких відбуваються зміна форми, розмірів, агрегатного стану та деяких інших властивостей матеріалу відходів за умови збереження їхнього якісного хімічного складу; ці методи притаманні методам, застосованим для переробки первинної сировини; 2) *хімічні методи*, під час реалізації яких змінюються фізичні властивості та якісний хімічний склад; причому взаємодія речовин здійснюється в стехіометричних співвідношеннях, які визначаються рівняннями хімічних реакцій; 3) *біохімічні методи*, під час реалізації яких мають місце хімічні перетворення за участі мікроорганізмів; – комбіновані методи, які є сполученням методів різних груп, один з яких може бути домінуючим [6].

Методи можливої переробки пластикових матеріалів також умовно можна розділити на механічний, хімічний і термічний рециклінг.

Механічний рециклінг включає переробку як чистих, незабруднених, однотипних відходів, так і суміші полімерних матеріалів з тим або іншим ступенем забруднення. Відрізняється простотою і низькими витратами. Перероблені залишки чи відходи або змішуються з вихідним матеріалом, або використовуються як другосортний матеріал. Механічна переробка полімерних матеріалів може включати: зменшення розміру елементів за допомогою дробарок, різальних машин для подрібнення; відділення полімерів від відходів інших матеріалів; чистку; сушку; складання сумішей.

Термічний рециклінг включає в себе спалювання полімерних відходів. При відсутності інших можливостей утилізації, спалювання з метою використання енергії є ефективним засобом зменшення обсягу відходів органічних матеріалів. Кількість енергії залежить від типу полімеру.

Хімічний рециклінг включає в себе хімічну переробку полімерних матеріалів, в результаті якої полімерні молекули перетворюються в мономері або олігомери, придатні для використання в якості сировини для виробництва нових продуктів.

Жоден з перелічених методів рециклінгу має свої недоліки і обмеження. Серед вищеназваних методів переробки найбільш перспективними можна вважати механічний рециклінг та метаноліз. Обидва методи дозволяють переробляти недостатньо очищений ПЕТФ, що призводить до збільшення сировинної бази, а також ці методи є простимим, відносно дешевими та дозволяють отримати продукт високої якості та чистоти. Переробка відходів з ПЕТФ є одним з найбільш реалізованих прикладів рециклінгу пластикових матеріалів. Стабільність надходження, вільна доступність і великий обсяг відходів ПЕТФ роблять його вторинну переробку цілком рентабельною [7].

Інноваційні хімічні технології переробки ВПМ розглянуті в роботі [8].

Важко повторно використовувати ВПМ через невідповідність між кількістю домішок та вторинних полімерів і якістю сировини. Така операція є значно дорожчою й менш економічно вигідною, ніж виробництво полімерної сировини з первинних матеріалів. Однак повторне використання ВПМ може бути корисним за умови їх широкого застосування, наприклад, у виробництві різноманітних бетонних виробів і деревинно-полімерних плит. Це можливо лише тоді, коли очищення та сортування не мають вирішального значення для виробництва полімерної продукції. ПЕТФ є широко використовуваним полімером у різних галузях завдяки своїм відмінним фізичним і хімічним властивостям. Водночас зростає використання продукції з ПЕТФ призвело до глобальної кризи у сфері поводження з їх відходами, адже неналежна утилізація цих виробів спричинила значну шкоду довкіллю. ПЕТФ є одним з основних складових ВПМ, накопичених на полігонах та звалищах.

Актуальність дослідження. Щороку в країнах світу виробляється 12 млн т ПЕТФ, причому з них 25% йде на виготовлення тари та упаковки. Переробляється лише 5–10% використаної ПЕТФ-тари (в основному, на одержання плівок та волокон). При цьому одержаний продукт не можна застосувати для продуктів харчування, а зниження собівартості вторинного ПЕТФ становить лише 10–15% порівняно з первинним. Існують способи одержання з відходів ПЕТФ волокон, кополімерів, добавок до палива тощо. Однак ПЕТФ дорогій полімер (ціна на ринку у 2020 році складала 800 доларів США), а тому його перероблення в низькомолекулярні продукти, вартість яких на порядок нижче, не доцільно, що зумовлює необхідність перероблення відходів ПЕТФ, наприклад, у вискодисперсний полімерний наповнювач шляхом хімічного оброблення у водному розчині амоніаку [2].

Проблема утилізації ВПМ набула актуальності внаслідок можливого негативного впливу неправильного поводження з ними на стан довкілля. Наприклад, у 2021 році упаковка з ПЕТФ складала 44,7% тари для

напоїв від загального обсягу США і 12% потоку світових твердих побутових відходів (ТПВ).

У структурі ВПМ 20,4% припадає на ПЕТФ (пляшки від різноманітних напоїв та інших рідин). Більшість виробів, тари та упаковки з пластикових матеріалів тривалий час зберігають свої властивості і придатні для повторного використання. Однак збирають та переробляють лише 12% ПЕТФ. Причому промисловість здатна переробити в кілька разів більше вторинної сировини ніж її продукується сьогодні із відходів [3].

За іншими даними [4] з загального об'єму ВПМ основна маса припадає на ПЕТФ – 25%, на поліетилен низького і поліетилен високого тиску – по 15%, поліпропілен – 13%, полістирол – 6%, полівінілхлорид – 5% і на інші пластикові матеріали – 21%. Однак, на сьогоднішній день тільки 10% ВПМ піддаються рециклінгу, а ті полімерні відходи, що залишаються в багатьох країнах, включаючи і Україну, накопичуються на звалищах ТПВ, де протягом тривалого часу (від 100 до 1000 років) вони розкладаються.

В Україні щороку утворюється 14 млн т ТПВ, причому близько 30% від них складають пляшки, пластикові упаковки, целофанові пакети, одноразовий посуд тощо. В країні досі не налагоджена і не розвинена належна інфраструктура роздільного збирання ТПВ. На державному рівні майже не існує підприємств із переробки ВПМ, а 35 недержавних компаній, які здійснюють їх переробку, завантажені лише на 40%, а ВПМ вони імпортують, щоб довантажити потужності [5].

Отже, широка розповсюдженість серед пластикових матеріалів ПЕТФ зумовлює їх високу частку в складі ВМП. Незважаючи на ресурсну цінність ВПМ, які вмістять ПЕТФ, вони потрапляють на численні звалища і полігони ТПВ, а тому проблема використання відходів з ПЕТФ як вторинних матеріальних ресурсів є актуальною екологічною та соціально-економічною проблемою.

Метою дослідження є аналіз можливості використання відходів з ПЕТФ в регіонах України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Важливість удосконалення системи управління та поводження з відходами виробництва та споживання визначається у «Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820), у Регіональних програмах управління відходами в Україні, які визначають стратегії та заходи для сталого управління відходами в конкретному регіоні країни (Наказ Міністерства захисту довкілля і природних ресурсів України від 16.04.2024 за № 403). В представленій роботі визначені і проаналізовані можливості використання в якості вторинної сировини відходів з ПЕТФ окремих регіонів України, зокрема в Одеській області.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В роботах авторів (Т.А. Сафранов, В.Ю. Приходько, В.І. Михайленко, 2024); Т.А. Сафранов, В.І. Данкевич, Т.І. Полушкін, 2024; Т.І. Полушкін, Т.А. Сафранов, 2025), присвячених особливостям управління та поводження на території Одеської області наведенні дані щодо можливостей використання ресурсоцінних компонентів ТПВ регіонів України, зокрема у загальному потоці ТПВ Одеської області. У даній роботі дана оцінка можливостей використання лише відходів з ПЕТФ в якості вторинної сировини.

Новизна. У представленій роботі авторами уперше проведена оцінка можливостей використання відходів з ПЕТФ в якості вторинної сировини, що утворюються у загальному потоці ТПВ окремих регіонів України,

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічною основою дослідження є критичний аналіз існуючих підходів до управління та поводження з відходами з ПЕТФ та можливостей їх використання в якості вторинної сировини. При виконанні роботи були використані опубліковані дані, а також матеріали власних досліджень, присвячених дослідженню оцінки можливостей їх використання окремих видів відходів пластикових матеріалів в якості вторинної сировини.

Викладення основного матеріалу. Найбільш раціональним способом утилізації ВПМ (у т. ч. відходів ПЕТФ) є їх повторне використання за прямим призначенням. Капітальні витрати при такому способі утилізації невеликі. При цьому не тільки досягається ресурсозберігаючий ефект від повторного залучення матеріальних ресурсів у виробничий цикл, а й істотно знижуються навантаження на навколишнє середовище. Основним методом утилізації ВПМ є їх використання як вторинних матеріальних ресурсів. Перероблення їх у термопластичні композитні матеріали дозволяє одночасно позбутися з ВПМ і зробити виробництво економічно доцільнішим.

Відомо, що 19% ВПМ спалюються, а решта відправляються на звалища ТПВ або взагалі не утилізуються. Висока енергоємність і вартість процесу захоронення призводять до того, що цей процес не завжди відповідає технології, внаслідок чого складові цих відходів потрапляють у природні складові довкілля, а тому одним із дієвих способів комплексного вирішення таких екологічних проблем, як утилізація та переробка полімерних відходів може стати використання стратегії циклічної економіки [9].

Вторинна переробка ВПМ має велике значення тому, що: 1) деякі природні ресурси обмежені і не можуть бути поновлені; 2) матеріали, що стають відходами, забруднюють навколишнє середовище і несуть серйозну екологічну загрозу; 3) ВПМ (особливо вироби, що закінчили свій життєвий цикл),

часто є більш дешевими джерелами багатьох речовин і матеріалів, ніж джерела природні [10].

Для ефективної переробки ПЕТФ-пляшок необхідно: зняти кришки, етикетки та кільця, оскільки вони вироблені із других видів пластичних матеріалів; звільнити пляшки від залишків вмісту, промити та висушити; зім'яти пляшки для зручності транспортування.

У багатьох містах України можна здати ПЕТФ-пляшки в спеціальні контейнери для вторинної сировини, які розташовані в різних частинах міст. Крім того, ПЕТФ-пляшки можна здати в пункти прийому вторинної сировини, або під час акцій по збиранню відходів. Існують обмеження на прийом ПЕТФ-пляшок білого кольору, що зумовлено добавками двоокисі титану, або незначної кількості карбонату кальцію (крейди), але в Україні є підприємства, які переробляють такі пляшки на флекс, з якого виробляють текстильні деталі для автомобілів.

За даними [11] в регіонах України основними складовими ВПМ є поліетилен (ПЕ), поліетилентерефталат (ПЕТФ), полівінілхлорид (В), поліпропілен (РР) та полістирол (PS).

У морфологічному складі ТПВ обласних центрів України частка ВПМ в середньому складає 9,8%, а частка ПЕТФ – 3,4%; у складі потоку ТПВ інших міст країни на ВПМ припадає 8,5%, а на ПЕТФ – приблизно 3,5% [12].

Україна є однією з найбільших постачальниць ПЕТФ-тари з європейських країн. Її частка в імпорті становить 57%. На ринку переробки ПЕТФ близько 63% припадає на волокна та неткані матеріали. Основним напрямом використання є виробництво волокон з обсягом близько 70 тис. т – у 2017 році. На другому місці за обсягами споживання (близько 17%) – так званий повний рециклінг «*bottle-to-bottle*» з наступним отриманням преформ. На третьому – виробництво об'язувальних стріппінг-стрічок для пакування виробів. Практично всі компанії в Україні переробляють ПЕТ-відходи на гранули, які можна використовувати у виробництві продукції зі зниженими споживчими властивостями (неткані волокна та геосинтетичні стрічки, листи й інша продукція для технічного застосування). До того ж значна частина великих переробників використовує вторинний ПЕТФ у своєму технологічному циклі для випуску кінцевої продукції (волокна з вторинного ПЕТФ-флекс. На ринку також налічується значна кількість компаній, які тільки збирають відходи ПЕТФ й інші ВПМ, їх пресують і подрібнюють для продажу. Вони представлені переважно малим бізнесом із потужностями до 3 тис. т на рік. Загальна кількість підприємств оцінюється у кілька тисяч. Найбільші переробники розташовано поблизу великих міст.

Кількість ТПВ, утворених населенням Одеської області складає 724 467,05 т. Якщо орієнтуватися на

морфологічний склад ТПВ Одеси, то середній вміст ПЕТФ складає 3,95% за масою. Кількість ПЕТФ (в основному, тара для напоїв) в потоці ТПВ Одеської області сягає 2 811,27 т. В містах Одеської області працюють компанії, які приймають у населення вторинну сировину, зокрема ПЕТФ-пляшки. Деякі компанії встановлюють у дворах сітки для роздільного збирання ТПВ, а потім вивозять відсортувані відходи.

Обсяги утворення відходів пластикових матеріалів, зокрема ПЕТФ, на території Одеської області наведені в таблиці 1.

У структурі потоку ТПВ Одеської області відходи ПЕТФ займають друге місце після відходів поліетилену. Найбільші масштаби накопичення як ВПМ, так і ПЕТФ в їх складі характерно для V кластеру, який охоплює Одеську промислово-міську агломерацію та прилеглу територію, де є необхідні можливості для збирання, сортування та утилізації цих відходів. Варто зазначити, що у сфері збирання ВПМ на цій території зайняти багато компаній («Вторресурси», «Стиль Пак», «Пласт лом», «Альта-Профіль Україна», «Пластикс-Україна» «Каскад-Пластик», «Станція переробки сміття», «Утильвторпром», «Plastiker». «Ecolos» «Litolan» тощо.) Крім того, відсортовані ВПМ можна здавати у чисельні міські пункти прийому вторинної сировини, а також у фандомати для роздільного збору сміття у мережі магазинів («Перехресток», «Карусель», «Ашан», «Мега», «Ельдорадо», «М. Відео» і т. д.).

Наприклад, компанія «Еко Грін» (м. Одеса) набуває спресовані або неспресовані РЕТЕ-пляшки та використану упаковку від шампуні у фізичних та юридичних осіб які бу зібрані на спеціалізованих пунктах збирання або контейнерах призначених для ВПМ. Компанія приймає ПЕТФ, потім здійснює процеси сортування та дроблення до фракцій розміром 8–12 мм, після чого ПЕТФ надходять у флотаційні ванні, а далі після сушіння пакуються в тюки вагою в одну тонну. Щомісяця переробляється близько 9 млн, а щороку на ремонт, у середньому по році ми обробляємо близько 100 млн пляшок. Одержаний продукт (РЕТЕ-флекс) реалізується підприємствам,

які виробляють: 1) РЕТЕ-гранули, з яких видуваються нові пляшки; 2) РЕТЕ-волокно для виробництва синтепону; 3) РЕТЕ-плівку для пакування харчових продуктів; 4) РЕТЕ-стаканчики та форми для кулінарії.

Науково-виробнича компанія УкрЕкоПром» (м. Одеса) надає широкий комплекс у сфері поводження з відходами та екологічного обслуговування підприємств на території Одеської області та інших областей України, зокрема у сфері переробки окремих видів ПЕТФ [13].

Переробка ПЕТФ-відходів допомагає скоротити кількість відходів на звалищах і полігонах ТПВ, а також зменшити споживання вихідної природної сировини (нафти) і мінімізувати негативний вплив на стан довкілля. Перероблені ПЕТФ-відходи можна використовувати для виробництва нових пляшок, текстилю, килимів, будівельних матеріалів тощо. Також існують технології, які дозволяють переробляти ПЕТФ в матеріали, що придатні для використання у харчовій промисловості.

Слід нагадати, що пріоритетними напрямками реалізації економіки замкнутого циклу є: сприяння повторному використанню предметів; підвищення культури роздільного збирання відходів серед населення; припинення вивезення роздільно зібраних відходів на полігони ТПВ; розвинення економічних інструментів, завдяки яким зменшується вивіз відходів на звалища; спрощення та гармонізація методів розрахунку тарифів на ТПВ для підвищення конкурентоздатності переробленої продукції; стимулювання промислового симбіозу: перетворення побічного продукту однієї галузі у сировину для іншої; відмовлення при виготовленні продукції від матеріалів, які не можна переробляти; економічне стимулювання еко-дизайну упаковки і схеми відновлення та перероблення предметів вжитку [14].

Основною метою Директиви 2008/98/ЄС є впровадження системи управління відходами, яка максимально зменшить їх негативний вплив і на здоров'я людини та стан довкілля й забезпечить збереження природних ресурсів, а також чітко регламентує питання утворення та поводження із відходами.

Таблиця 1

Обсяги утворення відходів пластикових матеріалів, зокрема ПЕТФ, на території Одеської області, т/рік [13]

Кластер	Відходи пластикових матеріалів, т/рік	
	Всього	ПЕТФ
I	6498,89	2277,76
II	5507,01	1924,12
III	60356,33	18509,17
IV	2562,45	2562,45
V	8367,25	2937,77
Всього	83291,93	28211,27

Директива 2008/98/ЄС передбачає використання ієрархії управління відходами, яка являє собою перевернуту піраміду та відображає п'ять підходів до поводження з відходами: 1) видалення (захоронення та спалювання відходів без вироблення енергії); 2) відновлення (спалювання відходів із виробленням енергії); 3) перероблення (перетворення відходів у вторинну сировину для повторного використання); 4) повторне використання (вторинне використання предметів без перероблення); запобігання (комплекс заходів щодо скорочення обсягів утворення відходів). Вважається, що видалення є найменш ефективним способом поводження з відходами, а запобігання – найбільш ефективним способом. Такі підходи можуть бути прийняті для ВПМ, зокрема для ПЕТФ-відходів.

Система управління та поводження з ВПМ, зокрема з ПЕТФ, в Одеській області не відповідає принципами економіки замкнутого циклу та Директиви 2008/98/ЄС по таким причинам 1) вона не відповідає вимогам екологічної безпеки, оскільки більша частина ВПМ потрапляє на полігони та численні несанкціоновані сміттєзвалища, що спричиняє додатковий тиск на природне середовище та негативно впливає на якість життя мешканців окремих районів області; 2) на більшій частині території області функціонує лише базова модель поводження з ТПВ; 3) хоча роздільне збирання ТПВ декларується як пріоритетний напрям, на практиці воно реалізується лише частково; 4) значна частина міського населення поки що не має достатнього рівня екологічної свідомості щодо сортування відходів; 5) відсутність чітких, зручних інструкцій та нерегулярне вивезення вторинної сировини підбивають довіру до існуючої системи; 7) відсутні сучасні підприємства з комплексної переробки ТПВ, а ті, що діють, обмежуються переважно первинним сортуванням і брикетуванням вторинної сировини для подальшого транспортування в інші регіони [15].

Для удосконалення системи управління та поводження з ВПМ, зокрема з ПЕТФ, пропонується: 1) розташувати «чисті» ПЕТФ-контейнери біля супермаркетів, установ освіти, ТРЦ тощо; 2) працювати з об'єднаннями співвласників багатоквартирних будинків і створити локальні пункти збору ВПМ (ПЕТФ) у дворах; 3) оголошувати дані щодо збору ВПМ (ПЕТФ), щоб мешканці цих будинків могли бачити результати своїх зусиль та розуміти користь від сортування і роздільного збору.

Реальним поштовхом для підняття рівня сортування і роздільного збору ВПМ, зокрема ПЕТФ-пляшок, має бути впровадження в регіонах України по зразку в країнах ЄС, депозитарної системи збору ПЕТФ-пляшок, як частини відповідальності виробника тари. У країнах ЄС вимагається 77% окремого збору пляшок до 2025 року та 90% їх збору до 2029 року (SUPD). Існуючий досвід показує, що без депозиту ці показники поводження з пластиковими

пляшками не можуть бути досягнуті. При цьому варто зазначити: 1) економічний стимул – сума 0,1 євро, яку відчуває кожен покупець, тобто він купує напої і «позичає» пляшку державі, а коли повертає, то забирає завдаток; 2) зручність – повернення у будь-якому великому магазині площею понад 300 м² або в автоматі погашає «тертю» користувача; 3) шкільна мережа та ІТ-облік – централізована база штрихкодів (GSI), прозорий кліринг і лічильні центри сприяють рівню довіри споживачів. Щодо ефективності впровадження депозитарної системи свідчать дані по окремим країнам ЄС (Литва, Латвія, Словаччина, Румунія, Німеччина тощо).

Варто зазначити, в Україні вже є правові підстави у вигляді Закону у вигляді Закону № 2320-IX «Про управління відходами» і курсу на РВВ (EPR – *Extended Producer Responsibility*), тобто система, яка покладає на виробників відповідальність за весь життєвий цикл їхньої продукції, включаючи утилізацію після завершення терміну служби, щоб стимулювати створення екологічно-безпечних продуктів та зменшити навантаження на муніципалітети й платників податків, а саме РВВ (EPR) для пакування, але депозит – це окремий «надбудовний» механізм, який треба запустити як національну інфраструктуру.

Для впровадження національної депозитної системи необхідно: 1) закріпити цю систему законодавчо (наприклад, для ПЕТФ-пляшок до 3 дм³ при рівні депозиту 0,2 євро); 2) визначити роль операторів цієї системи від імені виробників/імпортерів напоїв (окремих неприбутковий оператор або консорціум); 3) намітити цілі – 77% до 2026 року та 90% до 2029 року.

Пропонується така модель управління та фінансування: 1) оператор – неприбуткова структура, підзвітна виробникам і державі, яка відповідає за реєстри, контракти, логістику, кліринг; 2) джерела фінансування – несплачені депозити, плата виробників, дохід від реалізації сировини (ПЕТФ), оплата послуг пунктам прийому (по аналогії систем діючих в ЄС).

Інфраструктура та ІТ-облік: 1) *Return-to-retail* – обов'язковий прийом у магазинах площею понад 300 м²; добровільний прийом для інших магазинів, що дозволить розширити «близькість» пунктів повернення; 2) національний реєстр штрихкодів (GSI) і маркування депозитом; єдина ІТ-система клірингу з онлайн-звітністю у реальному часі; 3) Мережа (автомати) + ручний прийом, лічильні/сортувальні центри, транспорт, договори з переробниками ПЕТФ-відходів.

Операційні правила: 1) чіткий «каталог» прийому: пляшки з маркуванням DRS, не стиснуті (або за правилами), з кришечкою, зчитуваний штрихкод; 2) антифрод – захист від «міграції» тари, контроль за «чужими» кодами, відеофіксація на лічильних центрах, аудит потоків; 3) єдині тарифи й SLA для магазинів/операторів перевезень.

Комунікація і залучення: 1) єдина національна кампанія (телебачення, діджитал, інстор): «купив – повернув – отримав депозит»; 2) прозорі метрики – щомісячні публічні дашборди: кількість прийнятих пляшок, % повернення по регіонах, якість сировини тощо.

Пілотний проєкт і масштабування (реалістичний таймлайн): 1) 0–6 місяців – ухвалення моделі, створення оператора, технічні регламенти, тендер на ІТ та логістику; 2) 6–12 місяців – пілотні проєкти у 2–3 регіонах (місто-мільйонник + область), тест клірингу, навчання ритейлу.

Висновки. На підставі проведених досліджень, можна зробити такі основні висновки:

1. Система поводження з ТПВ, зокрема з відходами ПЕТФ в регіонах України, зокрема в Одеській області, не відповідає принципам циркулярної еко-

номіки, а тому більша частина ресурсоцінних компонентів (у тому числі відходів ПЕТФ) потрапляють на чисельні звалища і полігони, що негативно впливає на стан довкілля.

2. Можливості ефективного використання відходів ПЕТФ матеріалів обмежується низкою причин, у разі усунення яких можна удосконалити існуючу систему управління та поводження з цими ресурсоцінними складовими ТПВ, що дозволить зменшити рівень техногенного навантаження на довкілля і отримати економічну вигоду.

3. У разі удосконалення існуючої системи збирання та переробки відходів пластикових матеріалів, зокрема відходів ПЕТФ, що утворюються на території Одеської області, істотна їх частка може бути перероблена на існуючих підприємствах Одеської промислово-міської агломерації.

Література

1. Волошина І.В. Переробка сміття, що містить пластик (огляд). *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. Т. 41, № 3. С. 90-98.
2. Пушкарєв Ю.М., Сайтарли С.В., Савін С.М. та ін. Одержання і властивості полімерних композитів, наповнених модифікованим високодисперсним поліетилентерефталатом. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2024. № 5. С. 91-95.
3. Радовенчик В.М., Гомеля М.Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування: навчальний посібник. К. : Вид-во «Кондор», 2010. 552 с.
4. Єфремова О., Іванішена Т., Іщук Т., Трухіна О., Єфремова Ю. Сучасний стан поводження з полімерними відходами. *Herald of Khmelnytskyi national university*, 2022 (313). Issue 5. С. 26-31.
5. Коломієць Т. М., Караваєв Т.А., Глушкова Т.Г. Полімерні відходи: проблеми накопичення та вторинної переробки. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2021. № 26. С. 86-94.
6. Мікульонюк, І.О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини: монографія. К. ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2009. 265 с.
7. Мельник Л.І., Руденко І.В. Аналіз методів переробки відходів поліетилентерефталату. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/233053> (дата звернення 19.08.2025).
8. Янушевська О.І., Кринець Г.В., Літинська М.І. Інноваційні хімічні технології переробки вторинних матеріалів. частина 1: навчальний посібник. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fba5314f-5e62-4d2a-895e-8faf44503b22/content/> (дата звернення 21.08.2025).
9. Савчук Б.П., Пушкарєв Д.В. Способи переробки полімерних відходів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2025. № 1 (287). С. 67-77.
10. Кавиршин О. Г., Кавиршина В. О. Проблеми використання ресурсного потенціалу відходів міста. *Вісник ІЕПД НАН України*. 2011. № 1. С. 11-21.
11. Лаптева Ю. Ринок вторинного поліетилену в Україні. Презентації доповідей Waste Management – 2019. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zE7Y9FwTJHqnusr142cDWpco3awMjab/view?usp=sharing> (дата звернення 21.08.2025).
12. Морфологічний склад побутових відходів узагальнені дані населених пунктів України. URL: <https://ulead.org.ua/storage/admin/files/6c39ec127cadea84a3bd81453656d3ae.pdf> (дата звернення 21.08.2025).
13. Сафранов Т.А., Данкевич В.І., Полушкін Т.І. Особливості управління та поводження з відходами пластикових матеріалів на території Одеської області. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія»*. 2024. Вип.2. С. 75-82.
14. Михайлова Є.О. Пластикові забруднення – одна з головних екологічних проблем людства. URL <https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/25028/1/%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%84.%D0%9E> (дата звернення 21.08.2025).
15. Полушкін Т.І., Сафранов Т.А. Можливості використання окремих видів відходів пластикових матеріалів у регіонах України. *Екологічні науки*. 2025. № 3(60). С. 173-177.

Дата першого надходження рукопису до видання: 23.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

УДК 338:24.021

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.24>

СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНАЦІЙ ЯК ОСНОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ПІСЛЯВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ

Сорочинська О.Л.

Національний транспортний університет

вул. Кирилівська, 9, 04071, м. Київ

ellena06.84@ukr.net

Повномасштабна війна, розв'язана проти України у 2022 році, призвела до безпрецедентних за масштабами руйнувань інфраструктури, житлових будівель, промислових об'єктів і транспортних систем. За оцінками міжнародних організацій та українських експертів, мільйони квадратних метрів забудови були знищені або серйозно пошкоджені. Ці руйнування спричинили не лише соціальні та економічні труднощі, а й викликали нові складні екологічні проблеми, зокрема пов'язані з накопиченням будівельних і техногенних відходів, що утворилися внаслідок бойових дій.

З одного боку, неконтрольоване накопичення та захоронення таких відходів може призвести до забруднення ґрунтів, води, повітря та створення нових джерел небезпеки для здоров'я населення. З іншого боку, будівельні відходи війни можуть розглядатися як потенційне джерело вторинної сировини, яка здатна зменшити навантаження на природні ресурси та забезпечити ресурсозбереження у процесах післявоєнного відновлення країни.

Наразі Україна стоїть перед подвійним викликом. З одного боку – необхідність якнайшвидшого відновлення зруйнованих регіонів, забезпечення житлом і базовими послугами мільйони громадян, які постраждали від війни. З іншого – усвідомлення потреби в екологічно безпечному підході до управління мільйонами тонн уламків бетону, цегли, металевих конструкцій, азбестовмісних матеріалів, а також потенційно небезпечних речовин, що можуть міститися у відходах. Неправильне поводження з цими матеріалами становить реальну загрозу для здоров'я людей, ґрунтових і водних екосистем, а також може затримати сталий розвиток відновлюваних громад.

Водночас війна – це не лише руйнування, а й імпульс для переосмислення традиційних підходів до ресурсів. Будівельні відходи, за умови правильної класифікації, сортування та переробки, можуть стати цінним джерелом вторинної сировини. З огляду на обмеженість ресурсів, зростання цін на будівельні матеріали та необхідність швидкої відбудови, виникає потреба розглядати відходи не як проблему, а як можливість – ключ до сталого розвитку та відновлення, що поєднує економічну ефективність із турботою про довкілля та збереженням ресурсів для майбутніх поколінь.

Робота присвячена аналізу сучасних підходів до управління будівельними відходами, що виникли внаслідок воєнних дій в Україні, а також окресленню стратегічних рішень, які дозволяють збалансувати екологічну безпеку з ефективним використанням матеріальних ресурсів. Особливу увагу приділено європейському досвіду, нормативно-правовій базі України, інноваційним технологіям переробки та участі громад у формуванні сталих екологічних рішень. *Ключові слова:* поводження з відходами, стратегія, утилізація відходів, рециклінг, будівельні відходи, екологічна безпека, ресурсозбереження, сталий розвиток.

Strategies for managing debris waste as a basis for sustainable development and post-war reconstruction of Ukraine. Sorochynska O.

The full-scale war unleashed against Ukraine in 2022 has led to unprecedented destruction of infrastructure, residential buildings, industrial facilities, and transport systems. According to estimates by international organizations and Ukrainian experts, millions of square meters of built-up areas have been destroyed or severely damaged. These devastations have caused not only social and economic hardships but also triggered new, complex environmental problems, particularly related to the accumulation of construction and industrial waste generated as a result of hostilities.

On the one hand, uncontrolled accumulation and disposal of such waste can lead to soil, water, and air pollution, as well as create new sources of danger to public health. On the other hand, war-related construction waste can be viewed as a potential source of secondary raw materials capable of reducing the strain on natural resources and ensuring resource conservation in post-war reconstruction processes.

At present, Ukraine faces a dual challenge. On one side is the urgent need to rebuild the devastated regions as quickly as possible, providing housing and basic services to millions of citizens affected by the war. On the other is the recognition of the necessity for an environmentally safe approach to managing millions of tons of concrete rubble, bricks, metal structures, asbestos-containing materials, and potentially hazardous substances that may be found in the waste. Mishandling these materials poses a real threat to human health, soil and water ecosystems, and may hinder the sustainable development of recovering communities.

At the same time, war is not only about destruction but also a catalyst for rethinking traditional approaches to resources. Construction waste, provided it is properly classified, sorted, and processed, can become a valuable source of secondary raw materials. Given the scarcity of resources, rising prices for construction materials, and the need for rapid reconstruction, it is essential to view waste not as a problem but as an opportunity – a key to sustainable development and recovery that combines economic efficiency with environmental care and the preservation of resources for future generations.

This paper focuses on analyzing modern approaches to managing construction waste generated as a result of military actions in Ukraine, as well as outlining strategic solutions that balance environmental safety with the efficient use of material resources. Special attention is paid to European experience, Ukraine's regulatory framework, innovative recycling technologies, and community participation in shaping sustainable environmental solutions. *Key words:* waste management, strategy, waste disposal, recycling, construction and demolition waste, environmental safety, resource conservation, sustainable development.

Постановка проблеми. Повномасштабна війна в Україні спричинила безпрецедентні обсяги руйнувань, наслідком чого стало утворення величезної кількості будівельних відходів – уламків бетону, цегли, арматури, металоконструкцій, а подекуди й токсичних матеріалів. На тлі активної фази відновлення зруйнованих територій постає нагальна проблема: як ефективно та безпечно поводитися з цими відходами? На сьогодні відсутня єдина національна стратегія управління будівельними відходами, зокрема в умовах поствоєнної кризи. Водночас неконтрольоване накопичення чи неналежна утилізація таких матеріалів можуть становити загрозу для довкілля, здоров'я людей та уповільнити процес відновлення країни. Крім того, не використовується в повному обсязі потенціал вторинної переробки, що могло б сприяти зменшенню екологічного навантаження та забезпеченню ресурсозбереження. Таким чином, існує нагальна потреба у формуванні стратегічних підходів до поводження з будівельними відходами, які б поєднували екологічну безпеку, соціальну відповідальність та економічну доцільність. Розв'язання цієї проблеми є надзвичайно важливим для формування сталої політики післявоєнної відбудови України.

Актуальність дослідження. Актуальність обраної теми зумовлена масштабними руйнуваннями, яких зазнала Україна внаслідок повномасштабної військової агресії. Знищення житлових масивів, критичної інфраструктури та промислових об'єктів спричинило накопичення мільйонів тонн будівельного сміття, що потребує термінового, системного та екологічно безпечного управління. У нинішніх умовах післявоєнного відновлення виникає гостра потреба не лише у фізичному прибиранні руїн, а й у впровадженні сучасних підходів до поводження з будівельними відходами як із важливим елементом сталого розвитку. Україна має унікальний шанс поєднати екологічну відповідальність із технологічними інноваціями, формуючи нову ресурсну політику, орієнтовану на циркулярну економіку. Крім того, ефективне управління відходами війни має прямий вплив на здоров'я населення, стан довкілля, якість життя у громадах та відбудову країни в цілому. З огляду на інтеграційний курс України до ЄС, актуальним є також вивчення європейських стандартів, досвіду та вимог у сфері поводження з відходами. Таким чином, дана стаття не лише висвітлює одну з ключових екологічних проблем сучасної України, а й окреслює стратегічні напрями для сталого розвитку в умовах післявоєнної трансформації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика ефективного управління будівельними відходами, особливо в умовах воєнних дій, останніми роками набуває дедалі більшої наукової та практичної значущості. Руйнування інфраструктури внаслідок агресії проти України створює безпрецедентні обсяги відходів, що вимагає

пошуку нових підходів до їх переробки та утилізації, з урахуванням принципів екологічної безпеки та ресурсозбереження. Питання раціонального використання ресурсів, впровадження принципів циркулярної економіки та безпечної утилізації будівельних матеріалів знайшли відображення у працях таких дослідників, як Гуцал І. та Ткачук О., які досліджують можливості переходу будівельної галузі України до моделей циркулярної економіки в умовах воєнного стану. Автори наголошують на необхідності запровадження системного підходу до управління матеріальними потоками та розробки локальних стратегій повторного використання будівельних відходів, що утворюються внаслідок руйнувань [1].

Суттєвий внесок у вивчення цієї теми зробили Шевченко М. та Пономаренко Л., які аналізують досвід українських громад у сфері поводження з будівельними відходами під час відновлювальних робіт. У центрі уваги їхніх досліджень – організаційні моделі сортування та мобільної переробки уламків бетону, цегли та інших інертних матеріалів безпосередньо на місці руйнувань, що дозволяє зменшити логістичні витрати та екологічний вплив [2].

Міжнародний досвід інтеграції принципів циркулярної економіки у процеси післявоєнної відбудови представлений у дослідженні Khan M. та Hossain A. Вони розглядають приклад України як кейс для впровадження інноваційних підходів до повторного використання будівельних уламків, акцентуючи на важливості законодавчої підтримки та інвестицій у переробні технології [3].

Аспект екологічних стандартів у післявоєнному управлінні відходами розкривають Smith J. та Becker T. [4]. Автори аналізують можливості гармонізації національних вимог із міжнародними нормами, зокрема у сфері безпечного знешкодження небезпечних фракцій, таких як азбест, та інтеграції перероблених матеріалів у нові будівельні проекти. Петренко С., Лобанов Д. [5] пропонують локальні стратегії сортування та переробки будівельних відходів для відновлюваних громад у Київській області. Модель включає модуль із виробництва вторинного щебеню із бетонних уламків із використанням мобільних дробарок.

У роботі Марченко О., Іванова А. [6] проаналізовано законодавчі бар'єри в Україні щодо поводження з будівельними відходами, відсутність стимулів для переробки, а також недостатня нормативна база щодо екологічної безпеки. Автори виходять із необхідності розвитку правових механізмів на державному рівні. Також дані питання розглядають у дослідженні García et al. [7], де обґрунтовується ефективність впровадження полігонових комплексів зі знешкодження азбестових матеріалів у постконфліктних зонах, що суттєво знижує екологічні ризики й дозволяє використати очищені фракції в будівництві.

Виклад основного матеріалу. Післявоєнна відбудова України вимагає не лише відновлення зруйнованої інфраструктури, а й впровадження принципів сталого розвитку та ефективного використання ресурсів. Одним із ключових викликів цього процесу є масштабне накопичення відходів від руйнацій, утилізація та повторне використання яких можуть стати важливим елементом екологічно безпечної та економічно ефективної відбудови.

Повномасштабна агресія проти України з лютого 2022 року призвела до катастрофічних руйнувань міської, сільської та промислової інфраструктури. За оцінками Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP), обсяг будівельних відходів у зонах бойових дій вимірюється десятками мільйонів тонн [8]. Водночас ці відходи є не лише техногенним баластом, але й потенційним джерелом вторинних ресурсів, якщо до їх утилізації застосовувати сучасні технології.

Будівельні відходи, утворені внаслідок військових дій, відрізняються від цивільних демонтажних матеріалів. До їх складу входять:

- уламки бетону, цегли, каменю;
- металобрухт (арматура, покрівельні конструкції, труби);
- деревина;
- фрагменти скла та пластмас;
- небезпечні компоненти: азбест, важкі метали, залишки вибухових речовин, паливно-мастильних матеріалів [9].

Наявність токсичних домішок значно ускладнює процес утилізації та потребує спеціальних заходів знешкодження.

Наразі в Україні відсутня ефективна система обліку, сортування, переробки та утилізації цих відходів. В більшості випадків процеси очищення територій від уламків мають фрагментарний, неструктурований характер. Це призводить до того, що

будівельні залишки не тільки не використовуються повторно, як це практикується у розвинених країнах, а навпаки – часто завдають додаткової шкоди екосистемам.

Крім екологічного аспекту, проблема має також соціально-економічний вимір. В умовах обмежених ресурсів, відновлення зруйнованої інфраструктури потребує раціонального використання наявних матеріалів, серед яких потенційно придатні до повторного використання будівельні відходи. Їх переробка може стати основою для нових підходів до відбудови, водночас сприяючи створенню робочих місць і розвитку зеленої економіки.

В умовах післявоєнної відбудови пропонуються такі ключові напрямки (рисунок 1):

- інвентаризація та моніторинг. Створення інтерактивних карт та реєстрів зруйнованих об'єктів із зазначенням типу та обсягу відходів [10]. Це дозволяє оптимізувати логістику та планувати потужності переробних підприємств;
- сортування та демонтаж. Безпечний демонтаж із розділенням матеріалів на категорії: інертні, перероблювані, небезпечні. При цьому використовуються методи, що мінімізують пилове забруднення та викиди шкідливих речовин [11];
- переробка і повторне використання:
 - подрібнення бетонних і цегляних уламків для виготовлення вторинного щебеню;
 - переплавка металобрухту;
 - переробка деревини для будівельних плит або як паливо;
 - використання переробленого скла для будматеріалів [12];
- знешкодження небезпечних компонентів. Азбестові матеріали збирають та утилізують у спеціалізованих полігонах, відходи з вибухонебезпечними речовинами – передають відповідним підрозділам для знешкодження [13].



Рис. 1. Стратегії поводження з будівельними відходами війни в Україні

Під час дослідження було проаналізовано також міжнародний досвід післявоєнної реконструкції. Післявоєнна відбудова в таких країнах, як Хорватії (1990-ті), Боснії та Герцеговині, а також в Іраку та Сирії довела, що системна переробка будівельних відходів може покрити до 30–40% потреб у будматеріалах для відбудови [14]. Це в свою чергу скорочує витрати та зменшує навантаження на довкілля.

Для забезпечення ефективного управління відходами, що утворилися внаслідок військових дій, необхідно враховувати специфіку їхнього складу та рівень потенційної небезпеки окремих компонентів. Оптимальна стратегія переробки залежить від фізико-хімічних властивостей матеріалу, можливостей його повторного використання, а також від наявних технологічних потужностей та екологічних вимог. У Таблиці 1 наведено узагальнені стратегії переробки основних компонентів відходів, утворених унаслідок руйнувань, з урахуванням можливостей їх безпечного залучення до процесів відновлення та сталого розвитку.

У випадках, коли повторне використання або переробка відходів від руйнувань є технічно неможливими чи економічно недоцільними, одним із потенційних рішень у повоєнних умовах виступає застосування технологій перетворення відходів на енергію (waste-to-energy, WtE). Ці технології передбачають спалювання відходів із метою виробництва електроенергії та/або теплової енергії, що дозволяє одночасно зменшувати обсяги накопиченого сміття та отримувати додаткові енергетичні ресурси для потреб відбудови. Разом з тим процес спалювання супроводжується викидами забруднюючих речовин та парникових газів, що становить екологічний ризик. З цієї причини сучасні WtE-комплексі оснащуються високоефективними системами очищення викидів і технологіями контролю забруднення, що забезпечує відповідність міжнародним екологічним стандартам.

Додатково важливу роль у підвищенні ефективності управління відходами та мінімізації їх утворення відіграють цифрові інструменти. Зокрема, системи інформаційного моделювання будівель (BIM) дозволяють здійснювати комплексний ана-

ліз життєвого циклу матеріалів та оптимізувати їх повторне використання, а модульне будівництво дає змогу виготовляти конструктивні елементи на заводах, зменшуючи кількість відходів безпосередньо на будівельних майданчиках і пришвидшуючи процес відновлення [15]. Поєднання технологій перетворення відходів на енергію із сучасними цифровими та виробничими рішеннями створює основу для більш екологічно збалансованої та ресурсоефективної післявоєнної відбудови.

Підсумовуючи, найкращі світові практики, технологічні інновації та вплив на навколишнє середовище відходів після війни у сфері будівництва та знесення в Україні вказують на стійку систему реконструкції. Україна здатна відбудовуватися гнучким, комплексним та екологічно сталим чином, інтегруючи принципи циркулярної економіки, розширюючи інфраструктуру переробки та впроваджуючи відповідальні практики управління відходами.

Висновки. Управління відходами від руйнацій у післявоєнній Україні має стати одним із пріоритетних напрямів державної екологічної та відбудовної політики. Результати дослідження показують, що будівельні відходи, утворені внаслідок війни, становлять як значну екологічну загрозу, так і вагомий ресурсний потенціал. Їх ефективне використання можливе лише за умови впровадження інтегрованої системи управління, що охоплюватиме інвентаризацію, безпечний демонтаж, сортування, переробку, знешкодження небезпечних компонентів та повторне використання інертних матеріалів.

Для досягнення цієї мети необхідно адаптувати кращі міжнародні практики, розвивати національну інфраструктуру переробки, забезпечити законодавчу підтримку та стимулювання інвестицій, а також впроваджувати цифрові інструменти планування та контролю матеріальних потоків. Поєднання технологічних інновацій, ресурсозберігаючих рішень і активної участі місцевих громад дозволить не лише мінімізувати негативний вплив відходів на довкілля, але й використати їх як рушійну силу сталого економічного зростання та якісної відбудови України.

Таблиця 1

Стратегії переробки компонентів відходів від військових дій

Компонент відходів	Шляхи повторного використання/переробки
Бетон	Виробництво щебеню, дорожнього покриття, клинкеру
Цеглини	Дренаж, стабілізація дороги
Керамічна плитка	Стабілізація сільських/лісових доріг
Деревина	Ізоляція, композити, паливні брикети
Скло	Сухі суміші, дорожня фарба, переплавлення
Пластмаси	Полімерні вироби, паливо (крім ПВХ)
Бітумінозні матеріали	Асфальтові суміші для доріг
Метали	Повна металургійна переробка
Змішані дріби	Сортування на заповнювачі або клинкерну сировину

Література

1. Гуцал І., Ткачук О. Перехід до циркулярної економіки у сфері будівництва в умовах воєнного стану. *Економіка природокористування та охорона навколишнього середовища*. 2023. Вип. 42. С. 120–131. DOI: <https://doi.org/10.32782/есорпо.42.2023.12>
2. Шевченко М., Пономаренко Л. Управління будівельними відходами в умовах руйнувань: досвід локальних громад. *Журнал екологічного менеджменту*. 2022. № 3. С. 45–58. DOI: <https://doi.org/10.3390/jem2022.3.45>
3. Khan M., Hossain A. Circular economy practices in post-conflict reconstruction: A case study of Ukraine's building debris reuse. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 320. P. 129–145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.129145>
4. Smith J., Becker T. Integrating environmental standards into post-war waste management. *Waste and Biomass Valorization*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 561–576. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-023-01987-4>
5. Петренко С., Лобанов Д. Локальні стратегії поводження з будівельними відходами для відновлюваних громад. *Екологічна безпека та природокористування*. 2023. Т. 34, № 2. С. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.32782/ESNP.34.2.2023.6>
6. Марченко О., Іванова А. Правові аспекти управління будівельними відходами в Україні. *Вісник Київського національного університету будівництва і архітектури*. 2022. № 18(4). С. 112–120. DOI: <https://doi.org/10.32347/vknuba.2022.4.112-120>
7. Garcia M., Thompson R., Lee J. Safe asbestos debris disposal in post-war urban reconstruction. *Journal of Environmental Engineering*. 2024. Vol. 150, No. 1. Article ID: 04023093. DOI: <https://doi.org/10.1061/JENMDT.EEENG-4321>
8. UNEP. Post-Conflict Environmental Assessment: Ukraine. United Nations Environment Programme, 2023.
9. Deloitte. War Waste Management: Ukraine's Reconstruction Challenge. 2023.
10. World Bank. Building Back Better: Post-Conflict Waste Strategies. 2022. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099184503212328877/pdf/P1801740d1177f03c0ab180057556615497.pdf>
11. ISO 14001:2015. Environmental management systems – Requirements with guidance for use.
12. EU Directive 2018/851 on waste. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj/eng>
13. Міндовкілля України. Рекомендації щодо поводження з відходами будівництва в умовах війни. Київ, 2023.
14. UN-Habitat. Construction Waste Recycling in Post-Conflict Recovery. 2021.
15. Shvedun V., Bulba V., Bozhko L., Ihnatiev O. Circular economy in Ukraine on the way to European integration: Directions for sustainable management during the war and post-war recovery. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2023. Vol. 14, No. 1(65). P. 194–206. DOI: [https://doi.org/10.14505/jemt.v14.1\(65\).19](https://doi.org/10.14505/jemt.v14.1(65).19)

Дата першого надходження рукопису до видання: 06.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА МОРФОЛОГІЧНИЙ СКЛАД ПОБУТОВОГО КОМПОСТУ В УКРАЇНІ

Тихомирова Т.С., Разно М.Р.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

Tetiana.Tykhomyrova@mit.khpi.edu.ua

Компостування органічних відходів на сьогодні є одним з найоптимальніших шляхів поводження з цим типом відходів з точки зору ієрархії управління відходами та методів підвищення родючості ґрунтів. Поширення методу компостування в країні залежить від системи управління відходами, нормативних вимог, культури та наявності відповідної інфраструктури.

У складі твердих побутових відходів містить до 40 мас.% органічної фракції, яка потенційно може стати сировиною для компосту. Найпростішим способом компостування для всіх родин є просте закладання органічних відходів у купи чи бурти (для сільській місцевості) чи користування громадськими компостерами (для урбанізованих територій). В залежності від сировини, яка закладається при компостуванні, якість та властивості компосту можуть суттєво відрізнятися.

У статті розглянуто вплив способу життя родин, їх складу, місця проживання та харчових звичок на морфологічний склад органічної фракції твердих побутових відходів, яка може бути компостована. До органічної фракції було віднесено як харчові відходи, так й рослинні рештки й гній від свійських тварин.

Результати досліджень засвідчили, що у складі органічної фракції твердих побутових відходів переважають харчові відходи у всіх типах родин, проте у родинах, які проживають в сільській місцевості та займаються сільським господарством рослинних, т.з. «зелених» відходів більше, ніж в інших типах родин. Наявність дітей у родині суттєво впливає як на загальну кількість харчових відходів, так й на кількість окремих елементів цієї фракції, наприклад на кількість утворених відходів цитрусових та бананів. Кількість відходів кави та чаю – кавової гущі та чайної заварки в індивідуальних домогосподарствах є дуже низькою та не перевищує 0,5 мас.%. У родинах, які вирощують городину та розводять дрібних свійських тварин та птицю для власних потреб кількість органічних відходів менша у порівнянні з родинами, які не мають в структурі занять свійських тварин. Це пов'язано з поширеною практикою використання залишків як харчових продуктів, так й зелених рештків в якості корму для тварин. Проте самі тварини є джерелом утворення гною, які відносяться до органічних відходів. *Ключові слова:* компост, органічна фракція, зелені відходи, харчові відходи, родючість ґрунтів, компостування.

Research on factors affecting the morphological composition of household compost in Ukraine. Tykhomyrova T., Razno M.

Composting of organic waste is currently one of the most optimal ways to deal with this type according to waste management hierarchy and methods for increasing soil fertility. The spread of the composting method in the country depends on the waste management system, regulatory requirements, culture, and the appropriate infrastructure availability.

The solid household waste contains up to 40 wt.% of the organic fraction, which can potentially become raw material for compost. The simplest method of composting for all families is to simply lay organic waste in piles or bin (for rural areas) or use public composters (for urban areas). Depending on the raw materials used in composting, the quality and properties of compost can vary significantly.

The article examines the family's lifestyles impact, their composition, residence, and eating habits on the organic fraction morphological composition from solid household waste, which can be composted. The organic fraction included both food waste and plant residues and manure from livestock.

The results of the studies showed that the municipal solid waste's organic fraction is dominated by food waste in all types of families, however, in families living in rural areas and engaged in vegetable, so-called "green" agriculture more than in other types of families. Children in the family significantly affects both the total amount of food waste and the amount of individual elements, for example, the amount of citrus fruits and banana waste. The coffee and tea waste amount – coffee grounds and tea leaves in individual households is very low and does not exceed 0.5 wt.%. In families that grow vegetables and breed livestock for their own needs, the amount of organic waste is lower compared to families that do not have livestock in their occupation structure. This is due to the widespread practice of using both food and green waste as animal feed. However, animals themselves are a source of manure, which is organic waste. *Key words:* compost, organic fraction, green waste, food waste, soil fertility, composting.

Постановка проблеми. Компостування органічної фракції побутових відходів, які утворюються в індивідуальних домогосподарствах, є однією з поширених сталих практик. Компостування дозволяє не тільки зменшити загальне навантаження на полігони твердих побутових відходів, а й сприяє поверненню цінних елементів у ґрунт за рахунок можливості використання компосту в якості

добрива. Поширення методу компостування в країні залежить від системи управління відходами, нормативних вимог, культури та наявності відповідної інфраструктури.

Актуальність дослідження. Системні дослідження процесу компостування зосереджуються на пошуку оптимальних умов та трансформації речовини з складових компосту. Існують усереднені дані

щодо складу компосту у різних країнах, при цьому склад компосту, який утворюється в індивідуальних домогосподарствах сильно відрізняється й залежить від багатьох факторів, а також впливає як на термін дозрівання компосту, так й на його здатність суттєво покращувати родючість ґрунтів. У підсумку саме від початкового складу компосту залежить доцільність його подальшого використання в різних умовах. Актуальність дослідження продиктована відсутністю ґрунтовних багаторічних досліджень морфологічного складу органічної фракції твердих побутових відходів, які можуть компостуватися.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження пов'язана з завданнями щодо ієрархії управління відходами та зменшеннями обсягів відходів, закладеними у Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [1], а також національними завданнями сталого розвитку 2.2 «Підвищити вдвічі продуктивність сільського господарства, в першу чергу за рахунок використання інноваційних технологій», 12.4 «Зменшити обсяг утворення відходів і збільшити обсяг їх переробки та повторного використання на основі інноваційних технологій та виробництва», 15.3 «Відновити деградовані землі та ґрунти з використанням інноваційних технологій», які закріплені у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Беззаперечним є той факт, що компостування є ефективним та сталим рішенням для зменшення обсягів відходів, що підтверджується дослідженнями та висновками [3, 4].

Дослідженню морфологічного складу окремих фракцій твердих побутових відходів (ТПВ) присвячена робота [5], у якій автори проаналізували склад паперової фракції та виділили чинники, які призводять до кількісних змін у морфологічному складі паперової фракції ТПВ.

Авторами [6] розроблено власну рецептуру компосту, яка дозволяє швидко дозрівати йому без додаткових витрат за рахунок чіткому регулюванню вмісту окремих складових.

Технологічним особливостям процесу компостування гною від великої рогатої худоби, птиці, свиней присвячена низка досліджень [7-9]. Автори [7] дослідили витрати енергії, які супроводжують процес виготовлення компосту з тваринного гною. У [8] розглянуто шляхи інтенсифікації процесу отримання компосту з гною за рахунок використання біопрепарату. У [9] розроблено принципову схему механіко-технологічного управління виробництвом компостів з органічної сировини в аеробних умовах та запропоновано різні механічні комплекси для аерації гною.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. На сьогодні відсутні дослідження реального морфологічного складу органічної фракції ТПВ, які

утворюються в індивідуальних домогосподарствах в Україні та факторів, які впливають на нього, що в свою чергу не дає можливості прогнозувати термін дозрівання компосту та кількість сировини, яку необхідно додавати для формування оптимального складу компосту.

Новизна. У роботі вперше проведені дослідження чинників, які впливають на морфологічний та кількісний склад органічної фракції ТПВ та компосту з неї, які утворюються в індивідуальних домогосподарствах в Україні.

Методологічне або загальнонаукове значення. Загальнонаукове значення даного дослідження полягає у дослідженні економічних, культурних, поведінкових особливостей в середині країни як чинників різного морфологічного складу органічної фракції ТПВ, що в свою чергу впливає на тривалість процесу компостування та здатності готового компосту підвищувати родючість ґрунтів.

Викладення основного матеріалу. В залежності від складу родини, місця її проживання, харчових звичок, доходу, роду занять усі групи населення, які приймали участь у даному дослідженні, буди розділені на окремі категорії (табл. 1). Результати було отримано від 15 родин кожного типу в різних регіонах України. Під час досліджень кожна група родин раз на місяця впродовж тижня фіксувала масову частку визначених типів органічних відходів у весняно-літній та осінньо-зимовий період, після чого дані усереднювали. До органічної фракції було віднесено як харчові відходи, так й рослинні рештки й гній від свійських тварин.

Аналізуючи отримані дані щодо загального обсягу утвореної органічної фракції та частки в ній харчових продуктів (рис. 1) можна зробити наступні висновки:

1) тип занять родин напряму впливає на кількість органічної фракції ТПВ, яка утворюється. Родини, які тісно пов'язані з сільським господарством (наприклад, тип Г) мають найбільшу кількість органічних відходів в структурі ТПВ, що є прогнозованим, адже при веденні індивідуального сільського господарства утворюється велика кількість стебел, бадилля, листя;

2) у складі органічної фракції ТПВ переважають харчові відходи у всіх типах родин, проте у родинах, які проживають в сільській місцевості та займаються сільським господарством рослинних, т.з. «зелених» відходів більше на 10–15 мас.% ніж у інших типах родин;

3) у родинах, які вирощують городину та розводять дрібних свійських тварин та птицю для власних потреб кількість органічних відходів менша у порівнянні з родинами, які не мають в структурі занять свійських тварин. Це пов'язано з поширеною практикою використання залишків як харчових продуктів, так й зелених рештків в якості корму для тварин. Проте самі тварини є джерелом утворення гною, які відносяться до органічних відходів;

Таблиця 1

Характеристика родин

Тип родини	Тип відмінностей	Шифр
Без дітей, проживає у місті в багатоповерховому будинку	територіальні (географічні), вікові	БДБ
Без дітей, проживає у місті в приватному будинку		БДП
Є діти, проживає у місті в багатоповерховому будинку		ДБ
Є діти, проживає у місті в приватному будинку		ДП
Вегетаріанці	культурні (харчові)	В
Без харчових пріоритетів		БХП
Вирощують городину (овочі) для власних потреб	за типом занять	Г
Розводять дрібних свійських тварин та птицю для власних потреб		СП
Вирощують городину та розводять дрібних свійських тварин та птицю для власних потреб		ГСП
Вирощують виключно фрукти та ягоди для власних потреб		ФЯ
Вирощують виключно декоративні низькорослі рослини		ДР

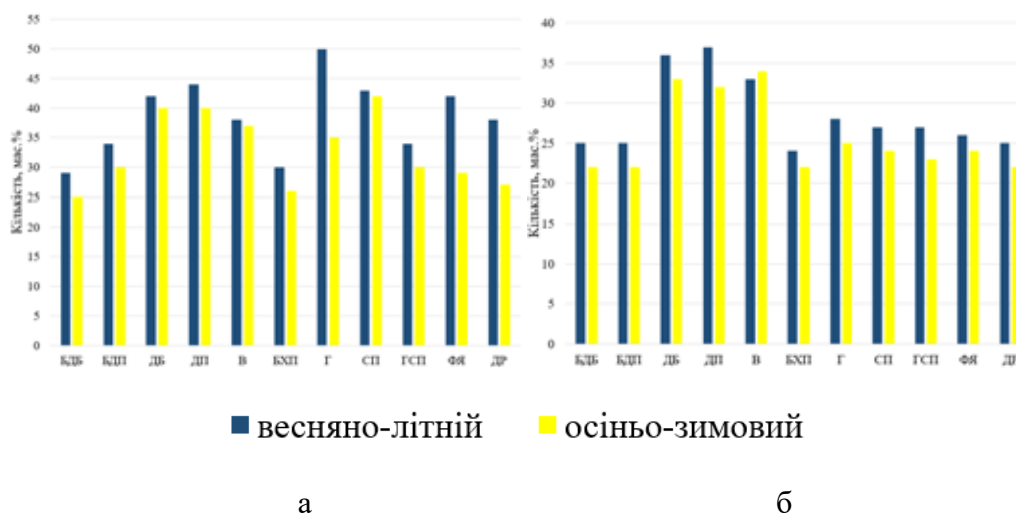


Рис. 1. Кількісний склад органічної фракції ТПВ у різні періоди року

а – загальний вміст органічної фракції у ТПВ; б – вміст харчових відходів у ТПВ

4) при проживанні родин у місті кількість харчових відходів збільшується у родинах з дітьми (ДБ, ДП) в середньому на 10–12 мас.% у порівнянні з родинами без дітей. Вміст зелених відходів більше у родинах, які мешкають в приватних будинках урбанізованих територій (БДП, БП) за рахунок наявності елементів озеленення на території навіть найменших приватних будинків;

5) у теплий період року кількість органічних відходів у складі ТПВ прогнозована більше у всіх типах родин, що пов'язано з культурою споживання та доступністю свіжих овочів та фруктів саме в теплий період року в Україні.

Результати досліджень складу харчових відходів у різних типах родин (рис. 2) засвідчив наступне:

1) кількість citrusових відходів у всіх типах родин, окрім вегетаріанців, не перевищує 3 мас.% (рис. 2а). В холодний період року спостерігається

зростання саме такого типу відходів у складі органічної фракції у родинах з дітьми, що, на думку авторів, пов'язано з доступністю citrusових як джерела вітамінів для дітей саме у холодний період року. Існує поширена думка, що citrusові не можна додавати до компосту, адже вони завдяки своїм кислотним властивостям уповільнюють процес компостування та не дозволяють досягти готовому компосту необхідного лужного рівня рН;

2) для відходів citrusових та бананів спостерігається збільшення їх кількості в холодний період року;

3) кількість відходів від бананів, переважно шкірок, є більшою у родинах з дітьми та вегетаріанців (рис. 2б). Бананова шкірка є цінним джерелом фосфору та калію, його наявність у компості може суттєво вплинути на кінцеві властивості компосту та його здатність покращувати розвиток рослин,

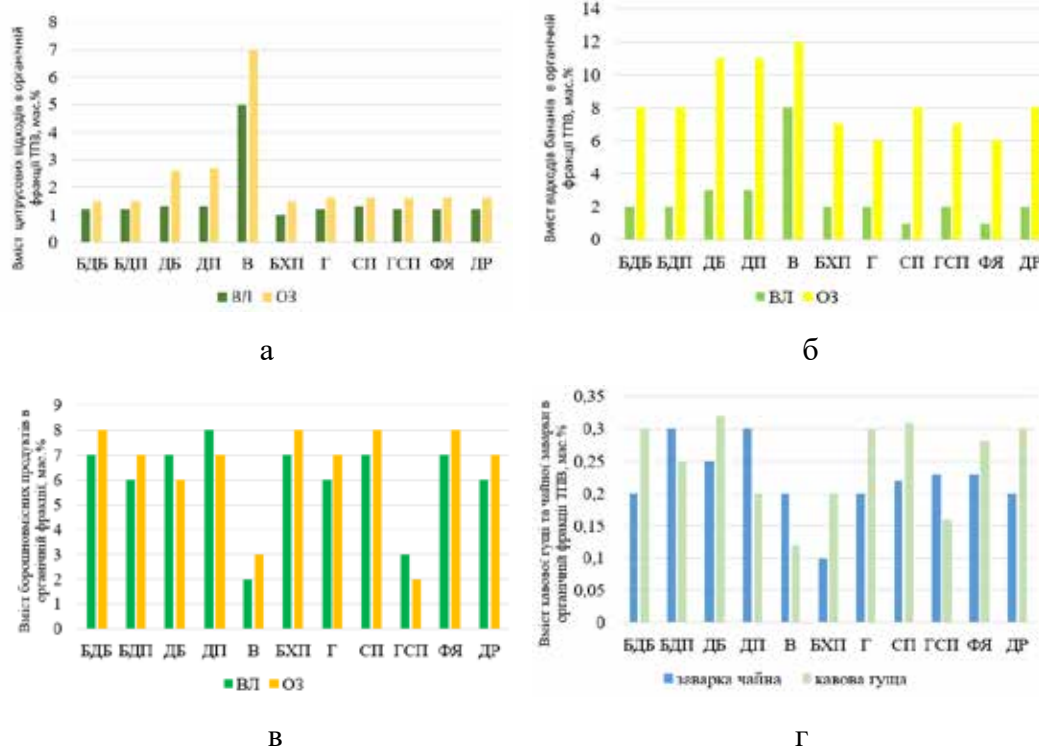


Рис. 2. Вміст деяких типів харчових продуктів в органічній фракції ТПВ

а – цитрусові відходи; б – відходи банану; в – борошновмісні відходи; г – відходи кави та чаю

особливо квітучих [5]. Отримані дані щодо кількості відходів бананів свідчать про популярність цього імпортованого фрукту в раціоні українців;

4) кількість відходів, що містять борошно, до яких було віднесено хліб та хлібобулочні вироби, а також борошняні кондитерські вироби (печиво, вафлі) залишається майже не змінною впродовж року для всіх типів родин, окрім вегетаріанців та родин типу ГСП (рис. 2в); нема суттєвої різниці між вмістом такої фракції відходів в сукупній органічній фракції в залежності від місця проживання чи роду занять. Для родин ГСП зниження вмісту відходів, які містять борошно пов'язано з практикою їх використання в якості корму для свійських тварин. У роботі [10] автори наводять дані щодо збільшення кількості відходів кондитерських виробів у разі їх придбання за акційними пропозиціями, причому переважно у родинах без дітей. Такий результат стосується виключно кондитерських виробів, тоді як автори даної роботи не відокремлювали кондитерські борошняні вироби від інших борошновмісних виробів. У вегетаріанців до категорії борошновмісних відходів відносяться бездріжджові продукти, наприклад лаваш тонкий;

5) кількість відходів кави та чаю – кавової гущі та чайної заварки в індивідуальних домогосподарствах є дуже низькою та не перевищує 0,5 мас. % (рис. 2г). Раніше авторами було досліджено, що при додаванні кавової гущі у компост у кількості 30 мас. % спостерігається збільшення рівня кислотності компостів [9]. Проте додавання у кількості до 10 мас. % не має сут-

тєвого впливу. Розподіл між кількістю відходів кави та чаю залежить від харчових звичок та вподобань членів родин, проте проведені дослідження показали загальну невелику кількість такого типу відходів.

Аналіз результатів дослідження зелених відходів органічній фракції свідчить про прямий зв'язок між типом занять, тобто видом сільськогосподарської діяльності в індивідуальних домогосподарствах, та вмістом кожної фракції у складі «зелених» відходів (рис. 3). Листя та стебла у значній кількості утворюються у тих домогосподарствах, де вирощують городину та декоративні рослини. Зменшення кількості неякісних овочів, які потрапляють до органічної фракції спостерігається при наявності свійських тварин, проте у таких родинах зростає кількість гною.

Головні висновки. Склад органічної фракції ТПВ, яка може бути компостована та потім використана в якості добрива, залежить від багатьох факторів. У даній роботі було досліджено вплив типу занять, складу родин та їх харчових звичок та отримано наступні висновки:

- 1) наявність дітей у родині суттєво впливає як на загальну кількість харчових відходів, так й на кількість окремих елементів цієї фракції, наприклад на кількість утворених відходів цитрусових та бананів;
- 2) проживання у місті в багатоквартирному або приватному будинку не суттєво впливає на морфологічний склад органічної фракції ТПВ;
- 3) в залежності від типу сільськогосподарської діяльності родин в сільській місцевості відрізня-

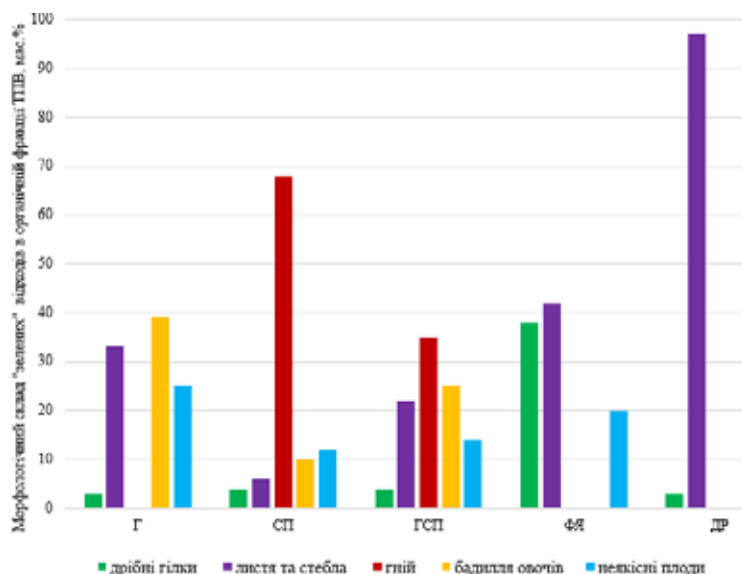


Рис. 3. Морфологічний склад «зелених» відходів в залежності від виду сільськогосподарської діяльності

ються як вміст харчових відходів в органічній фракції ТПВ, на що впливає утримання свійських тварин, для яких такі відходи можуть бути кормом, так й та морфологічний склад зелених відходів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути викори-

стані при розробці рекомендації щодо оптимального складу компосту в залежності від типу індивідуального домогосподарства, де утворюється органічна фракція ТПВ; при дослідженні реальних харчових звичок населення; при прогнозуванні позитивного впливу на родючість ґрунтів компостів різного складу.

Література

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. *Офіційний вісник України*. 2017. № 94. Ст. 2859. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
2. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-ukrainy.pdf> (дата звернення: 10.09.2025).
3. Manea E.E., Laurentiu C.B. Razvan D. M., Nicolescu C.M. Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management: Current Practices and Potential Improvements. *Sustainability*. 2024. № 16(15). P. 6329. URL: <https://doi.org/10.3390/su16156329> (дата звернення: 10.09.2025)
4. Hassan N.Y., Abd el Wahed N.H. Abdelhamid A.N. Composting: an eco-friendly solution for organic waste management to mitigate the effects of climate change. *Innovare Journal of Social Sciences*. 2023. № 2. URL: <https://doi.org/10.22159/ijss.2023.v11i4.48529> (дата звернення: 15.09.2025)
5. Тихомирова Т. С., Титаренко А. І., Пітак Р. О. Дослідження змін морфологічного складу паперової фракції твердих побутових відходів. *Екологічні науки*. 2025. № 6 (57). С. 179–184.
6. Брич К.А., Василенко І.А. Розробка ефективної рецептури дозрівання компосту. *Молодий вчений*. 2020. № 4(80). С. 217–220.
7. Жуковський О.М., Кривохижа Є.М., Мазур С.О., Болтик Н.П. Аналіз енергоефективності виробництва компосту з гною ВРХ. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 2. С. 100–107.
8. Якимович М.В., Тертична О.В., Пінчук В.О. Екологічний вплив та агрономічна цінність використання біопрепарату Компоназа для компостування гною великої рогатої худоби. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 2. С. 134–141.
9. Павленок С.І. Виробничі комплекси машин для аерації при компостуванні органічної сировини. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39). Ч. I. С. 67–75.
10. Тихомирова Т. С., Шестопалов О. В., Разно М. Р., Кочетов М. С. Дослідження впливу складу компосту на його здатність покращувати якість ґрунтів. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 72–78.
11. Адашевський О.В., Пітак Р.О. Вплив акційних пропозицій на обсяги утворення відходів споживання кондитерських відходів. *Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування: матеріали Міжнар. наук. конф., 14–15 травня 2025 р.* – Харків: Держ. біотехн. ун-т. 2025. С. 201–203.

Дата першого надходження рукопису до видання: 14.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

АНАЛІЗ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ПРИКЛАДІ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Фролов В.Ф., Степова О.В., Кутний Б.А.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

пр. Віталія Грицаєнка, 24, 36011, м. Полтава

frolov19470308@ukr.net, alenastepovaja@gmail.com, kytnuba@ukr.net

Відходи є одним із найбільш вагомих факторів забруднення навколишнього середовища. Значні обсяги промислових та побутових відходів становлять реальну небезпеку для суспільства та навколишнього природного середовища, що сьогодні є складною проблемою й потребує невідкладного вирішення. Звалища відходів несуть санітарну небезпеку, тому що є сприятливим середовищем для розвитку паразитичної фауни та патогенної мікрофлори. Зараження підземних та поверхневих вод, ґрунту продуктами інфільтрації, безконтрольне утворення метану спричиняє самовільне самозаймання сміттєзвалищ та полігонів. В Україні дана проблема вирізняється особливою масштабністю і значимістю як наслідок домінування в національній економіці ресурсоемних багатовідхідних технологій, так і через відсутність протягом тривалого часу адекватного реагування на її виклики. Значні масштаби користування ресурсів та енергетично-сировинна спеціалізація національної економіки разом із застарілою технологічною базою визначали й насьогодні визначають високі показники утворення відходів. У той же час відходи й, зокрема, побутові відходи є цінним потенційним ресурсом, що доведено світовою практикою впровадження принципів циркулярної економіки. Варто зазначити, що доцільно раціонально використовувати ресурси, в основному вітчизняний природний газ, енергетичне вугілля, тобто вичерпні та невідновлювальні види палива, які разом з паливом розглядаються як важливий елемент забезпечення національної енергетичної безпеки та створення сприятливих умов для стабільного розвитку паливного комплексу й енергетики в складні часи. Сьогодні очевидно, що всі види паливних ресурсів на планеті зменшуються, і лише об'єм відходів, які продукує людина, постійно збільшується. Ці обставини обґрунтовують важливість використання побутових відходів з місцевих звалищ та полігонів, оскільки останній фактор має енергетичний ресурс. Відповідно, цільовим спрямуванням даної статті авторами обрано здійснення аналізу наявного ресурсного й енергетичного потенціалу побутових відходів в розрізі окремих територіальних громад Полтавської області. *Ключові слова:* побутові відходи, ресурсний та теплоенергетичний потенціал відходів, енергетична криза, екологічна безпека.

Analysis of the resource potential of household waste on the example of the Poltava region. Frolov V., Stepova O., Kutnyi B.

Waste is one of the most significant factors contributing to environmental pollution. Significant volumes of industrial and household waste pose a real danger to society and the natural environment, which is a complex problem today and requires urgent solutions. Waste dumps pose a health hazard because they are a favorable environment for the development of parasitic fauna and pathogenic microflora. Contamination of groundwater and surface water, soil with infiltration products, and uncontrolled methane formation cause spontaneous combustion in landfills and dumps. In Ukraine, this problem is particularly widespread and significant as a result of the dominance of resource-intensive, waste-intensive technologies in the national economy and the long-term lack of an adequate response to its challenges. The significant scale of resource use and the energy and raw material specialisation of the national economy, together with an outdated technological base, have determined and continue to determine high waste generation rates. At the same time, waste, and in particular household waste, is a valuable potential resource, as proven by global practice in implementing the principles of the circular economy. It should be noted that it is advisable to use resources rationally, mainly domestic natural gas and energy coal, i.e., exhaustible and non-renewable fuels, which, together with fuel, are considered an important element in ensuring national energy security and creating favorable conditions for the stable development of the fuel complex and energy sector in difficult times. Today, it is obvious that all types of fuel resources on the planet are decreasing, and only the volume of waste produced by humans is constantly increasing. These circumstances justify the importance of using household waste from local landfills and dumps, since the latter factor has energy resources. Accordingly, the authors have chosen to analyze the existing resource and energy potential of household waste in selected communities in the Poltava region as the focus of this article. *Key words:* household waste, resource and thermal energy potential of waste, energy crisis, environmental safety.

Постановка проблеми. На сьогодні зростання обсягів утворення побутових відходів є невід'ємною складовою усіх видів господарської діяльності в Україні, що призводить до збільшення антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище внаслідок переважного використання технологій видалення відходів на полігони й звалища [1]. В останнє десятиліття Україна активно спрямовує свою державну екологічну політику на дотримання концепції збалансованого розвитку та циркулярної економіки: зниження викидів парнико-

вих газів, зменшення використання викопних невідновлюваних видів палива, зниження маси утворення побутових відходів та площ, зайнятих полігонами й звалищами під їх захоронення, відокремлення ресурсоцінних компонентів відходів за для подальшого їх повернення в господарський цикл тощо [2]. Водночас, складний етап воєнного стану в країні та наслідки військових дій вимагають пошуку раціональних рішень з подолання енергетичної кризи, зокрема, розвитку технологій використання альтернативних видів енергоресурсів, до яких відносяться

побутові відходи. Відповідно питання оцінювання ресурсного (енергетичного) потенціалу побутових відходів як на державному, так й на регіональних та місцевих рівнях є нагальним та практично орієнтованим [2, 3]. Саме тому дане питання стало цільовим в даній роботі, опрацювання якого було здійснено на прикладі Полтавської області.

Актуальність дослідження. Питання, що досліджувались в даній роботі, відносяться до сфери національної безпеки, зокрема її складових енергетичної та екологічної безпеки, які набувають всі більшої важливості в умовах воєнного часу й залишаються вагомими у найближчі десятиліття у період відновлення України. Відповідно питання раціонального використання відходів як потенційного матеріального та альтернативного енергетичного ресурсу набувають все більшої актуальності.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження авторів напряму пов'язане з актуальними завданнями як наукової екології, так і практики управління відходами. Напрямок даної роботи узгоджений із «Національним планом управління відходами до 2033 року» (затвердженим Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.12.2024 р. № 1353-р) [1], а саме, робота спрямована на розвиток й реалізацію заходу «Формування державної політики у сфері управління побутовими відходами».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В рамках даної роботи був проведений огляд опублікованих досліджень, спрямованих на розвиток системи управління побутовими відходами, особливу увагу з яких було приділено роботам, орієнтованим на регіональний рівень, зокрема на досвід Полтавської області в сфері управління відходами [3, 4, 5, 6].

Новизна даних досліджень полягає у застосуванні підходу щодо визначення ресурсного потенціалу побутових відходів, апробований на прикладі територіальних громад Полтавської області, який може бути покладений в основу техніко-економічного обґрунтування доцільності планування й будівництва об'єктів інфраструктури з оброблення/відновлення побутових відходів задля подальшого використання їх ресурсного та енергетичного потенціалу.

Методологічне значення. В рамках даної роботи використовувалися методи систематизації, узагальнення наявної інформації та статистичних даних, метод експертного аналізу та моделювання ситуації з використанням усієї зібраної досліджуваної інформації.

Виклад основного матеріалу. В світовій спільності всі більшого значення набувають процеси управління відходами, орієнтованих на відновлення відходів задля використання їх ресурсного потенціалу та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Так, європейська практика розвитку сфери управління відходами будується на

наступних принципах: запобігання утворенню відходів; повторне використання; перероблення відходів для виробництва вторинних ресурсів й заміщення первинної сировини; відновлення енергії з відходів; біологічні процеси з набуттям енергоносіїв; захоронення на спеціально облаштованих полігонах. Головним результатом перших чотирьох напрямів є зменшення впливу відходів на навколишнє середовище, отримання додаткової енергії та економія первинних природних ресурсів [1, 7, 8].

Трансформація системи управління побутовими відходами в Україні згідно зазначених європейських орієнтирів напряму пов'язана із питаннями національної енергетичної незалежності, державної екологічної політики й безпеки та економічного зростання.

Відповідно в Україні продовжують формуватися й удосконалюватися засади державної політики, орієнтовані на забезпечення раціонального використання відходів як цінних матеріально-енергетичних ресурсів та захист навколишнього природного середовища й здоров'я людини від негативного впливу відходів як фактору забруднення.

Варто зазначити, що реалії сьогодення змушують раціонально використовувати усі наявні в країні ресурси, насамперед вітчизняний природний газ та енергетичне вугілля, але все більш актуальним стає питання пошуку альтернативних ресурсів для заміщення первинних енергоносіїв. Саме тому все частіше в Україні, на рівні регіонів, місцевих громад розглядається світовий досвід використання побутових відходів як потенційного ресурсу, що є дешевшим за блакитне паливо, доступним для використання, стабільним з точки зору обсягів їх утворення.

Відповідно в даній статті проведені оцінювання ресурсного потенціалу побутових відходів з акцентом на компоненти, що мають енергетичну цінність. Дане оцінювання здійснено для 24 територіальних громад Полтавської області, які потенційно можуть об'єднатися у так званий Полтавський кластер [3].

Одним із перших етапів, що визначає ефективність управління побутовими відходами як ресурсом, є наявність об'єктивних даних щодо обсягів їх утворення та компонентного (морфологічного) складу. Саме наявність цих даних у подальшому дозволяє обирати оптимальні організаційно-технологічні рішення щодо необхідної інфраструктури для відновлення (оброблення) відходів.

Відповідно у даній роботі першочергово були визначені потенційні обсяги побутових відходів, що продукуються на території різного типу громад, і які можуть бути зібрані за умови досягнення 90–100% охоплення населення послугою із збирання відходів. На сьогодні в різних громадах послугою із збирання відходів охоплено від 10–100% населення, а в середньому по області 78%, але цей середній показник досягнуто за рахунок 90–100% охоплення населення в містах, зокрема в місті Полтаві.

Тому визначення потенційних обсягів утворення побутових відходів проводилось із умови:

- поступового розширення послуги із збирання відходів до 90% в усіх громадах, що визначено як одним із пріоритетів розвитку сфери управління побутовими відходами у Полтавській області [3];

- проведеного корегування розрахункових обсягів збирання побутових відходів із врахуванням фактичних обсягів збирання відходів на територіях 24 громад Полтавського кластеру (за останні 5 років);

- відсутності в більшості громад відділення із загальної маси побутових відходів, що збираються, побутових будівельних відходів, садово-паркових відходів, відходів прибирання вулиць населених пунктів, що в результаті значно збільшує фактичні обсяги зібраних відходів.

Виходячи з вище зазначених умов, були уточнені потенційні обсяги побутових відходів для 24 громад Полтавської області (табл. 1).

На основі накопичених результатів досліджень щодо морфології [3–6]:

- узагальнений потенційний компонентний склад побутових відходів, що продукуються на територіях громад різних типів (табл. 1): міського типу, де переважає багатоповерхова забудова житлового сектору (БПЖС); міського типу, де переважає приватна забудова житлового сектору (ПЖС); селищ-

ного й сільського типу, де переважає приватна забудова житлового сектору;

- визначені потенційні обсяги утворення окремих компонентів побутових відходів, що мають ресурсну цінність.

У даній роботі був проведений аналіз результатів досліджень теплотворної здатності компонентів твердих побутових відходів, проведених Департаментом з питань довкілля, продуктів харчування і села Уряду Великобританії DEFRA [9] та Міжнародною асоціацією з твердих відходів (ISWA) [10].

На основі даного аналізу здійснено узагальнення та визначено осереднене значення теплотворної здатності досліджуваних компонентів побутових відходів й відповідно визначений прогнозований питомий теплоенергетичний потенціал даних компонентів побутових відходів, МДж/кг (табл. 2).

Таким чином, відокремлення досліджуваних в даній роботі компонентів побутових відходів природного походження (органіка, папір, картон, текстиль, деревина) для подальшого їх використання в якості вторинної сировини або теплоенергетичного ресурсу дозволить: по-перше, реалізовувати принципи циркулярної економіки шляхом використання альтернативних матеріальних та енергетичних ресурсів, що дозволить зменшувати використання дороговартісних традиційних невідновлюваних енергоносіїв та сприятиме автономності енергетич-

Таблиця 1

**Потенціал утворення побутових відходів за компонентним складом
для 24 територіальних громад Полтавської області**

Потенційні обсяги утворення ПВ ¹ , тонн		Вміст компонентів у загальній масі побутових відходів (ПВ), %									
		Потенційні обсяги утворення компонентів ПВ, тонн									
		Органічні відходи	Папір, картон	Пластик	Скло	Метал (чорний, кольоровий)	Текстиль	Дерево (тирса, стружка, шматки дерева)	Небезпечні	Кістки, шкіра, гума	Мінерали, новелітні част., інше
ТГ міського типу з переважанням БПЖС											
		39,2	7,35	9,6	11,4	1,5	3,2	0,34	0,59	1,1	25,72
Всього ¹	85254,4	33419,7	6266,2	8184,4	9719,0	1278,8	2728,1	289,9	503,0	987,8	21877,4
ТГ міського типу з переважанням ПЖС											
		36,5	8,32	8,16	5,04	2,9	3,11	0,82	0,5	1,05	33,6
Всього ²	46738,44	17059,5	3888,6	3813,9	2355,6	1355,4	1453,6	383,3	233,7	490,8	15704,04
ТГ селищного й сільського типу з ПЖС											
		27,2	1,3	7,0	10,0	2,0	1,0	1,05	0,5	1,5	48,9
Всього ³	80480,4	21890,7	1046,25	5633,6	8048,0	1609,6	804,8	845,0	402,4	1207,2	38992,85
УСЬОГО	212473,24	72369,9	11201,05	17631,9	20122,6	4243,8	4986,5	1518,2	1139,1	2685,8	

1 – зазначені обсяги для Полтавської громади; 2 – зазначені обсяги для Зіньківської, Карлівської, Кобеляцької та Решетилівської громад; 3 – зазначені обсяги для Опішнянської, Ланнівської, Мартинівської, Білицької, Котелевської, Диканської, Великорублівської, Машівської, Михайлівської, Новосанжарської, Драбівської, Нехворощанської, Коломацької, Мачухівської, Новоселівської, Терешківської, Щербанівської, Чутівської, Скороходівської громад; 4 – прогнозований обсяг ПВ із умови забезпечення 90% охоплення послугою із збирання ПВ населення громад, крім 6 громад Полтавського субрегіону (Полтавської, Коломацької, Мачухівської, Новоселівської, Терешківської, Щербанівської) – для них планується забезпечення 100% охоплення послугою із збирання ПВ населення.

Таблиця 2

**Осереднена характеристика теплоенергетичного потенціалу побутових відходів,
визначена для 24 громад Полтавської області**

№ п/п	Назва компоненту проби	Осереднене значення теплотворної здатності компонентів ПВ, МДж/кг	Осереднений вміст компонентів у загальній масі ТПВ, %	Питомий теплоенергетичний потенціал ПВ, МДж/кг
1	Органічні відходи	3.5	36,0	1.260
2	Папір і картон	9.5	7,0	0.665
3	Полімери (пластик, пластмаси)	25.0	8,9	2.225
4	Скло	-	9,0	-
5	Метали (чорні, кольорові)	-	2,2	-
6	Текстиль	15.0	3,0	0.45
7	Дерево	14.5	0,8	0.116
8	Небезпечні відходи	3.1	0,57	0.0177
9	Кістки, шкіра, гума	25.1	1,15	0.289
	Загальна маса проби побутових відходів (ПВ)		100	5.0227 МДж/кг (1200 ккал/кг)

них систем особливо в сфері малої теплоенергетики, а, по-друге, одночасно знижувати техногенне навантаження на навколишнє середовище й здоров'я людей шляхом мінімізації обсягів видалення відходів на полігони й звалища.

Головні висновки. Підсумовуючи результати проведеного аналізу ресурсного й теплоенергетичного потенціалу побутових відходів необхідно виділити наступне:

- в роботі сфокусована увага та науково обґрунтована ресурсна цінність твердих побутових відходів з виділенням тих компонентів, що мають теплоенергетичний потенціал;
- визначені потенційні обсяги утворення ресурсоцінних компонентів побутових відходів для прикладу 24 громад Полтавської області, (Полтавський кластер з управління відходами), придатних для повторного використання та рециклінгу, тобто визначено прогнозований ресурсний потенціал побутових відходів для даних громад;
- оцінено прогнозований питомий теплоенергетичний потенціал досліджуваних компонентів побу-

тових відходів для прикладу 24 громад Полтавської області.

Подолання енергетичної кризи та досягнення післявоєнної енергетичної незалежності нашої країни можливе лише за умови комплексного підходу до її вирішення. Відповідно розгляд усіх питань, що пов'язані з управлінням побутовими відходами, потребує залучення фахівців як екологів, так й фахівців з теплоенергетики й відновлюваної енергетики, щоб знайти ефективні шляхи стратегічного забезпечення екологічної й енергетичної безпеки України в найближчому майбутньому.

Перспективи використання результатів дослідження. Усвідомлення цінності ресурсів, які містять побутові відходи, й оцінка їх матеріального та теплоенергетичного потенціалу, дозволить обрати раціональні управлінські та техніко-економічні рішення, які є обов'язковим елементом системи управління відходами на національному, регіональному й місцевих рівнях згідно Національної стратегії управління відходами та вимог Закону України «Про управління відходами».

Література

1. Національний план управління відходами до 2033 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-%D1%80#Text> (дата звернення: 20.10.2025).
2. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 21.10.2025).
3. Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2033 року. URL: https://media.poda.gov.ua/docs/m55pq3ql/proect_rp26112024.pdf (дата звернення: 20.10.2025).
4. Oksana Illiash, Tetiana Serha, Astrid Allesch, Viktor Bredun, Iuliia Chepurko, Nataliia Maksiuta. Comparative analysis of the study results on the component composition of municipal waste in settlements of township and village type in the Poltava region. *ENVIRONMENTAL PROBLEMS Vol. 9, No. 4, 2024*. p. 254–261. URL: <https://science.lpnu.ua/ep/all-volumes-and-issues/volume-9-number-4-2024>.
5. Ілляш О. Е., Серга Т. М., Бредун В. І., Чепурко Ю. В. Визначення ресурсного потенціалу побутових відходів. «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» – 2024»: Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (19 грудня 2024 року, Полтава). Полтава: НУПІ, 2024. С. 96–99.

6. Остаточний звіт про результати виконання науково-дослідної роботи «Дослідження складу твердих побутових відходів та їх ресурсного потенціалу». Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». URL: <https://nupr.edu.ua/uploads/files/0/main/struct/ning/kaf-pep/uap/zvit-poltavska-politekhnika-po-nakazu-mon-dod.7---12.12.24.pdf>.
7. Talus K. Waste-to-Energy through gasification: an EU law assessment and critique. *Waste-to-Energy*. 2016. № 3. P. 14.
8. Альтернативне паливо як метод забезпечення дотримання принципів сталого розвитку. URL: <https://ecolog-ua.com/news/alternatyvne-palyvo-yak-metod-zabezpechennya-dotrymannya-pryncypiv-stalogo-rozvytku-ta> (дата звернення 17.10.2025).
9. Департамент з питань довкілля, продуктів харчування і села Уряду Великобританії DEFRA. URL: <https://www.gov.uk/government/organisations/department-for-environment-food-rural-affairs> (дата звернення 22.10.2025).
10. Міжнародна асоціація з твердих відходів ISWA. URL: <https://www.iswa.org/> (дата звернення 22.10.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 29.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

АНАЛІЗ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА СТРУКТУРУ ТА ДИНАМІКУ ПРИРОДНИХ ЛАНДШАФТІВ

Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М., Шевчук Л.М., Васильєва Л.А.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

kgt_gol@ztu.edu.ua, ke_kham@ztu.edu.ua, knz_shlm@ztu.edu.ua, knz_vla@ztu.edu.ua

У статті висвітлено ключові вектори трансформації природних ландшафтів, які відбуваються в умовах глобальних кліматичних змін, що дедалі частіше виявляються у вигляді підвищення середньорічної температури, зростання кількості екстремальних погодних явищ, порушення водного режиму, деградації ґрунтів і зменшення біорізноманіття. Кліматичні зміни у XXI столітті розглядаються як один із найвпливовіших чинників перебудови як природних, так і культурно-антропогенних ландшафтів. Особлива увага приділена комплексному міждисциплінарному підходу, що поєднує географічні, екологічні, соціально-економічні та просторово-планувальні знання. У роботі наведено приклади ландшафтних трансформацій у різних регіонах світу – від танення вічної мерзлоти в Арктиці до опустелювання у Середземномор'ї, а також охарактеризовано специфіку таких змін на території України. Аналіз проведено з урахуванням регіональних особливостей – зокрема, деградації чорноземів у степовій зоні, змін у лісових угрупованнях лісостепу, перебудови гідрологічних режимів Полісся та вертикальної міграції флори в Карпатах.

Увага зосереджена на необхідності формування нових концептуальних підходів до управління ландшафтами в умовах кліматичної нестабільності. Дослідження дозволяє краще зрозуміти складні взаємозв'язки між компонентами довкілля та суспільством, підкреслюючи важливість інтеграції наукових знань у практику адаптації до змін клімату. Це сприятиме формуванню сталих стратегій розвитку, що враховують як природні, так і соціальні виклики сучасності. Такий підхід відкриває нові горизонти для комплексного управління природними ресурсами, створюючи умови для гармонійного співіснування людини і природи в контексті мінливого клімату. *Ключові слова:* кліматичні зміни, природні ландшафти, ландшафтна динаміка, міждисциплінарний підхід, деградація ґрунтів, біорізноманіття, адаптивне управління, географія, ландшафтні послуги, сталий розвиток, зміна клімату, просторове планування.

Analysis of the impact of climate change on the structure and dynamics of natural landscapes. Herasymchuk O., Kahukina A., Shevchuk L., Vasilieva L.

The article highlights the key vectors of transformation of natural landscapes that occur in the context of global climate change, which is increasingly manifested in the form of an increase in average annual temperature, an increase in the number of extreme weather events, disruption of the water regime, soil degradation and a decrease in biodiversity. Climate change in the twenty-first century is considered to be one of the most influential factors in the restructuring of both natural and cultural and anthropogenic landscapes. Particular attention is paid to an integrated interdisciplinary approach that combines geographical, ecological, socio-economic and spatial planning knowledge. The paper provides examples of landscape transformations in different regions of the world – from permafrost melting in the Arctic to desertification in the Mediterranean – and describes the specifics of such changes in Ukraine. The analysis is based on regional peculiarities, in particular, the degradation of black soils in the steppe zone, changes in forest communities of the forest-steppe, restructuring of hydrological regimes in Polissya and vertical migration of flora in the Carpathians. Attention is focused on the need to develop new conceptual approaches to landscape management in the face of climate instability. The research allows for a better understanding of the complex interrelationships between environmental components and society, emphasising the importance of integrating scientific knowledge into climate change adaptation practices. This will contribute to the formation of sustainable development strategies that take into account both natural and social challenges of our time. This approach opens up new horizons for integrated natural resource management, creating conditions for the harmonious coexistence of humans and nature in the context of a changing climate. *Key words:* climate change, natural landscapes, landscape dynamics, interdisciplinary approach, soil degradation, biodiversity, adaptive management, geography, landscape services, sustainable development, climate change, spatial planning.

Актуальність дослідження. Кліматичні зміни, які відбуваються у XXI столітті, мають глибокий і комплексний вплив на функціонування геосистем. Клімат – один із головних формотворчих чинників ландшафту, його тривалі зміни спричиняють суттєві перетворення як у фізико-географічних, так і в біоекологічних складниках ландшафтів. За останні десятиліття спостерігається загальносвітова тенденція до

підвищення температури, зростання кількості посух, а також порушення сезонних циклів, що напряму впливає на структуру та функціонування природних комплексів [1]. Зростання середньорічної температури призводить до зменшення площі снігового покриву і багаторічної мерзлоти, зміщення меж ландшафтних зон та пришвидшення біогеохімічних циклів у ґрунтах. Зменшення або перерозподіл

опадів змінює гідрологічний режим річок і озер, вологість ґрунтів, динаміку заболочування або опустелювання територій та створює ризики ерозійних процесів та зсувів. Підвищення частоти екстремальних явищ таких як повені, шторми, тривалі засухи, призводять до руйнування ландшафтно́ї структури, деградації ґрунтів, втрати фітоценозів та біоценозів та активізації природних небезпек. Просторовим прикладом трансформацій є Арктика [2], де танення вічної мерзлоти спричиняє утворення термокарстів і заболочення тундрових ландшафтів. Також, ще одним прикладом є Середземномор'я, де зменшення опадів веде до опустелювання й заміни лісів ксерофітними формаціями. В Україні у південних і східних регіонах спостерігається зростання частоти посух, деградація чорноземів і поступове зміщення меж лісостепу на північ [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У сучасних наукових дослідженнях ландшафт розглядається як складна динамічна система, що реагує на численні зовнішні й внутрішні чинники – від кліматичних змін до антропогенного впливу. Розуміння структури, функцій та трансформацій ландшафтів є важливим не лише для географії чи екології, а й для сталого планування територій, охорони довкілля та розробки адаптаційних стратегій в умовах глобальних змін. У науковому дискурсі особливу увагу приділяють міждисциплінарному підходу до вивчення ландшафтних процесів, що дозволяє глибше усвідомити взаємозв'язки між природними й соціальними компонентами середовища. Сучасні наукові праці висвітлюють ключові аспекти трансформації ландшафтів, зокрема вплив танення льодовиків, зміни землекористування, формування нових екосистем, збереження ландшафтно́ї пам'яті та запровадження концепцій, які мають прикладне значення для управління ландшафтами в умовах кліматичних викликів. Дослідження [3, с. 382] присвячене аналізу змін льодовикового покриву та їхнього впливу на глобальні та регіональні ландшафти. Авторами доведено, що танення льодовиків є безпосереднім свідченням впливу клімату на морфологію та гідрологію ландшафтів [3, с. 384]. В науковій праці [4, с. 21], автором доведено важливість історичної структури ландшафтів для формування майбутньої територіальної політики, вивчається концепція «ландшафтно́ї пам'яті» та її вплив на ідентичність місцевості, збереження біорізноманіття та сталий розвиток. Стаття [5] є ключовою для розуміння взаємозв'язку між змінами в ландшафті та глобальними екологічними процесами, авторами запропоновано міждисциплінарний підхід, що об'єднує географію, екологію та соціальні науки в аналізі трансформацій землекористування. У роботі [6] розглянуто трансформації ландшафтів унаслідок антропогенного впливу й кліматичних змін, автори вводять поняття «нових екосистем» та обґрунтовують адаптивні стратегії ландшафтно́ї реконструкції. Автори [7, с. 439] вводять

поняття «антропогенних біомів» – нову концепцію, яка дозволяє по-іншому поглянути на сучасні ландшафти, сформовані значною мірою під впливом людської діяльності. У дослідженні підкреслюється, що більшість наземних екосистем нині вже не є «природними» у класичному розумінні, а є результатом тривалої взаємодії людини та природи. Такий підхід відкриває ширші можливості для аналізу глобальних трансформацій у середовищі існування та розуміння новітньої структури ландшафтів. У дослідженні [8, с. 570] розглядаються широкомасштабні наслідки змін у землекористуванні, які відчутно впливають на кліматичні процеси, стан біорізноманіття та функціонування екосистем, оскільки перетворення природних територій, спричинене діяльністю людини, має складні й взаємопов'язані екологічні наслідки. У [9, с. 241] автори розглядають можливості застосування адаптаційних стратегій для збереження й ефективного управління природними ландшафтами в умовах зростаючого кліматичного тиску. Основна увага приділяється пошуку шляхів, які дозволяють зберігати екологічну рівновагу, підтримувати функціональність екосистем та мінімізувати ризики, пов'язані зі змінами клімату. Розглянуто поняття «ландшафтного управління» – підходу, який враховує не лише екологічні чинники, а й соціально-економічний контекст території. Автори наголошують на важливості довгострокового бачення та інтеграції наукових знань у практику управління ландшафтами з метою забезпечення їхньої стійкості та здатності адаптуватися до нових умов. На прикладі Середземномор'я показано регіональні наслідки глобальних змін, а саме як зміни клімату впливають на водний режим, ерозійні процеси та структуру ландшафту [10]. У [11] впроваджується поняття «ландшафтних послуг», які поєднують екологічну функцію з соціальною цінністю. Це сучасний підхід до охорони та відновлення ландшафтів із залученням місцевих громад.

Метою дослідження є проаналізувати вплив кліматичних змін на структуру та динаміку природних ландшафтів у глобальному та регіональному контексті, з акцентом на міждисциплінарний підхід до дослідження ландшафтних трансформацій.

Виклад основного матеріалу дослідження.

У сучасному світі ландшафти все більше розглядаються не лише як природні утворення, а як складні, динамічні системи, що постійно змінюються під впливом взаємодії природних процесів і людської діяльності [12]. Вони відображають історію землекористування, культурні практики, економічні потреби та екологічні виклики. Особливої актуальності набуває міждисциплінарний підхід до вивчення ландшафтів – як у межах ландшафтно́ї екології, так і в контексті глобальних екологічних змін. У контексті зростаючого тиску на природні ресурси, викликаного урбанізацією, інтенсифікацією сільського господарства та зміною клімату, виникає потреба

в нових наукових підходах до управління просторовими структурами. Наука про зміни земель та концепція ландшафтних послуг відкривають можливості для глибшого розуміння зв'язку між людиною і довкіллям, а також для розробки практичних рішень щодо сталого розвитку територій [13–15]. Ландшафти змінюються, оскільки вони є вираженням динамічної взаємодії між природними та культурними силами в навколишньому середовищі [16]. Культурні ландшафти є результатом послідовної реорганізації землі з метою кращої адаптації її використання та просторової структури до змінних суспільних потреб [4]. Наука про зміни земель стала фундаментальним компонентом досліджень глобальних змін навколишнього середовища та сталого розвитку. Ця міждисциплінарна галузь прагне зрозуміти динаміку земного покриву та землекористування як пов'язану систему людина-довкілля для вирішення теорії, концепцій, моделей та застосувань, що стосуються екологічних та суспільних проблем, включаючи їх перетин [5]. Люди фундаментально змінили глобальні моделі біорізноманіття та екосистемних процесів [7]. Землекористування загалом вважається локальною екологічною проблемою, але воно стає силою глобального значення. Зміни в лісах, сільськогосподарських угіддях, водних шляхах та повітрі [17] у всьому світі зумовлені необхідністю забезпечити їжею, клітковиною, водою та житлом понад шість мільярдів людей. За останні десятиліття площі сільськогосподарських угідь, пасовищ, плантацій та міських районів у світі розширилися, що супроводжується значним збільшенням споживання енергії, води та добрив, а також значними втратами біорізноманіття [8]. Управління екосистемами – це орієнтована на дії структура, спрямована на сприяння соціально-екологічній стійкості планети, що швидко змінюється [9]. Ландшафтна екологія має можливість стати науковою основою сталого розвитку ландшафтів. Коли політика просторового планування децентралізована, місцеві суб'єкти повинні співпрацювати, щоб вирішувати питання змін, які необхідно внести в ландшафт, щоб краще врахувати їхнє сприйняття цінності [11]. Дослідження ландшафтно-екологічних питань повинні більше зосереджуватися на цих питаннях, і пропонуємо концепцію ландшафтних послуг як об'єднуючої спільної основи, де вчених з різних дисциплін заохочують до співпраці у створенні спільної бази знань, яку можна інтегрувати в багатофункціональний, керований суб'єктами розвиток ландшафтів [11]. Ландшафти слід розглядати як відкриті системи, які постійно адаптуються до соціальних, економічних і екологічних викликів. Зміни землекористування, зростання антропогенного навантаження [18] та глобальні кліматичні трансформації формують нову реальність, у якій традиційні підходи до вивчення та управління ландшафтами вже не є достатніми. Інтеграція знань із різних галузей – географії, екології, соціології, пла-

нування – дозволяє формувати сучасне бачення ландшафтно-політики, орієнтованої на довгострокову екологічну рівновагу та соціальну справедливість.

Значним викликом у контексті кліматичних змін є деградація ґрунтового покриву, яка проявляється у формі ерозії, виснаження органічної речовини та зниження водоутримувальної здатності. Навіть незначне зменшення кількості опадів може призвести до незворотних змін у ґрунтовому профілі [19]. Такі процеси не лише впливають на локальні екосистеми, а й порушують загальну екологічну рівновагу регіонів [20]. Крім того, кліматичні зміни змінюють ареали природної рослинності, зокрема відбувається вертикальна та широтна міграція видів. У гірських системах спостерігається поступове зсування рослинних поясів, що змінює флористичний склад ландшафтів і може спричинити втрату ендемічних видів. Ці біотичні зрушення супроводжуються перебудовою ландшафтних структур – зменшенням стабільності фітоценозів, порушенням міжвидових взаємозв'язків і зростанням ризику інвазії чужорідних видів. Ще одним важливим аспектом є вплив кліматичних змін на водний баланс природних територій. Зміни сезонності опадів, скорочення обсягу снігового покриву та підвищення температури впливають на гідрологічний режим річок, озер і водно-болотних угідь. Унаслідок цього змінюється не лише водозабезпечення екосистем, а й формуються нові мікроландшафтні умови, що сприяють виникненню нетипових біотопів або деградації існуючих. Також, варто звернути увагу на соціоекологічний вимір ландшафтних змін. Підвищення частоти природних катастроф, таких як зсуви, повені, лісові пожежі, посилює тиск на природні системи, вимагаючи впровадження превентивних стратегій просторового планування. У зв'язку з цим актуальним стає застосування концепції адаптивного ландшафтного менеджменту, який передбачає гнучке реагування на кліматичні ризики з урахуванням природної стійкості територій та потреб місцевого населення. Кліматичні зміни мають комплексний і багатовимірний вплив на природні ландшафти, зумовлюючи структурні перебудови, зміну динаміки процесів та необхідність нових підходів до ландшафтного аналізу й управління.

В умовах України кліматичні зміни [21; 22] також спричиняють помітні зрушення у структурі природних ландшафтів. Найвразливішими вважаються степові регіони Півдня та Сходу, де збільшення середньорічної температури, зменшення опадів та збільшення кількості посушливих днів призводить до опустелювання, деградації ґрунтів та втрати продуктивності природної рослинності. Особливо страждають чорноземні ландшафти, які втрачають вологу та біологічну активність, що загрожує не лише екологічною деградацією, а й зниженням сільськогосподарського потенціалу території. У лісостеповій зоні відзначаються зміни у складі лісових угру-

повань. Через зниження вологості та підвищення температур частішають випадки всихання дубових і соснових лісів, зростає вразливість до шкідників та лісових пожеж. Крім того, скорочення тривалості снігового покриву знижує водонакопичення в ґрунтах у весняний період, що порушує баланс вологи у лісових екосистемах. Полісся, як зона з відносно вологим кліматом, демонструє поступове зміщення ареалів вологолюбних рослин на північ. Зміни в режимі опадів та підвищення температур сприяють заболочуванню в одних районах і водночас осушенню в інших. Це призводить до перебудови торфових і болотних ландшафтів, змін у гідрології та втрати характерних біотопів. У Карпатах спостерігається підняття межі лісу, що є проявом вертикальної міграції біоценозів. Зокрема, види, типові для нижчих поясів, поступово «піднімаються» вище, витісняючи субальпійську флору. Танення снігу та льодовиків (зокрема, малих карових форм) порушує гідрологічний режим, збільшуючи ризик паводків і зсувів, що впливає як на природні, так і на антропогенно змінені ландшафти.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Кліматичні зміни виступають одним із головних чинників, що визначають сучасну трансформацію природних ландшафтів. У різних географічних зонах вони проявляються через зміну температурного режиму, перерозподіл опадів, зростання частоти екстремальних погодних явищ, деградацію ґрунтів, зміщення меж рослинних ареалів і зміни у водному

балансі територій. Усе це спричиняє перебудову морфологічної структури ландшафтів, порушення екологічної рівноваги та втрату природного різноманіття. Узагальнення наукових напрацювань дало змогу констатувати, що трансформаційні процеси в ландшафтах під впливом кліматичних змін характеризуються не лише природною детермінованістю, а й виразним соціоекологічним компонентом. Стійкість ландшафтних систем залежить від ефективності адаптаційного управління, застосування міждисциплінарних підходів та врахування локальних особливостей кожної території. Застосування таких концепцій, як ландшафтні послуги, адаптивне планування та інтегроване землекористування, створює підґрунтя для збалансованого розвитку в умовах змінного клімату. Формування стратегій сталого управління природними ландшафтами вимагає глибокого наукового осмислення сучасних кліматичних викликів, постійного моніторингу стану довкілля та залучення місцевих спільнот до прийняття рішень. Лише в умовах співпраці науки, суспільства та влади можливо забезпечити адаптивність і життєздатність природних ландшафтів у ХХІ столітті. Кліматичні зміни чинять істотний і багатовекторний вплив на природні ландшафти, а їх динаміка вимагає постійного моніторингу, адаптивного управління територіями та впровадження принципів сталого розвитку. Майбутні дослідження мають базуватись на міждисциплінарному підході, що враховує як природні, так і соціально-економічні аспекти трансформацій геосистем.

Література

1. Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156–159.
2. Безлатія Л.О., Ситник О.І. Кліматичні зміни в Арктиці: вплив на океанічні течії та екосистеми Атлантичного океану. *Природнича освіта та наука*. 2025. № 1. С. 118–126. <https://doi.org/10.32782/NSER/2025-1.19>
3. M. Zemp, M. Huss, E. Thibert, N. Eckert, R. McNabb, J. Huber, M. Barandun, H. Machguth, S. U. Nussbaumer, I. Gärtner-Roer, L. Thomson, F. Paul, F. Maussion, S. Kutuzov, J. G. Cogley. Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature*. 2019. Vol. 568. P. 382–386. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1071-0>
4. Antrop M. Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning*. 2005. Vol. 70(1–2). P. 21–34.
5. Turner B.L., Lambin E.F., Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. Vol. 104(52). P. 20666–20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
6. Perring M.P., Standish R.J., Hobbs R.J. Incorporating novelty and novel ecosystems into restoration planning and practice in the 21st century. *Ecological Processes*. 2013. Vol. 2(1). P. 1–8. <https://doi.org/10.1186/2192-1709-2-1>
7. Ellis E.C., Ramankutty N. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2008. Vol. 6(8). P. 439–447. <https://doi.org/10.1890/070062>
8. Jonathan A. Foley, Ruth Defries, Gregory P. Asner, Carol Barford, Gordon Bonan, Stephen R. Carpenter, F. Stuart Chapin, Michael T. Coe, Gretchen C. Daily, Holly K. Gibbs, Joseph H. Helkowski, Tracey Holloway, Erica A. Howard, Christopher J. Kucharik, Chad Monfreda, Jonathan A. Patz, I. Colin Prentice, Navin Ramankutty, Peter K. Snyder. Global Consequences of Land Use. *Science*. 2005. Vol. 309(5734). P. 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
9. F. Stuart Chapin, Stephen R. Carpenter, Gary P. Kofinas, Carl Folke, Nick Abel William C. Clark, Per Olsson, D. Mark Stafford Smith, Brian Walker, Oran R. Young, Fikret Berkes, Reinette Biggs, J. Morgan Grove, Rosamond L. Naylor, Evelyn Pinkerton, Will Steffen, Frederick J. Swanson. Ecosystem stewardship: sustainability strategies for a rapidly changing planet. *Trends in Ecology & Evolution*. 2010. Vol. 25(4). P. 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.10.008>
10. Massimo Zecchin, Daniel Praeg, Silvia Ceramicola, Francesco Muto Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*. 2015. Vol. 143. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.01.006>
11. Termorshuizen J.W., Opdam P. Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. *Landscape Ecology*. 2009. Vol. 24. P. 1037–1052. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9314-8>
12. Ковальчук І., Мартинюк В., Логвиненко І., Зубкович І. Ландшафтна структура та гідрохімічний стан ставу Верхів як передумова розробки екологічного паспорта водойми. *Природнича освіта та наука*. 2024. № 6. С. 136–145. <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-6.18>

13. Герасимчук О.Л., Мельник-Шамрай В.В., Шевчук Л.М., Васільєва Л.А. Інноваційні підходи до розвитку землеустрою в контексті сталого розвитку територій. *Екологічні науки*. 2023. № 4(55). С. 202–206.
14. Кагукіна А.М., Пацева І.Г. Графічний аналіз закономірностей сезонних температурних коливань та концентрації забруднювачів атмосфери міського середовища. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 5(56). С. 193–197.
15. Луньова О.В., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М. Аналіз стану водних ресурсів Житомирської області та їх вплив на організм людини. *Екологічні науки*. 2022. Вип. 6(45). С. 31–34.
16. Герасимчук О., Гой В., Харів В. Використання сучасних геодезичних технологій для проведення оцінки земельних ресурсів у віддалених районах. *Технічні науки та технології*. 2024. № 4(38). С. 313–324. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-4\(38\)-313-324](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-4(38)-313-324).
17. Кагукіна А.М., Пацева І.Г. Взаємозв'язок метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир. *Екологічні науки*. 2025. Вип. 1(58). С. 58–64.
18. Луньова О.В., Кагукіна А.М. Аналіз антропогенного забруднення Житомирського регіону. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 3(48). С. 48–52.
19. Харченко В.В. Використання геоінформаційних систем для потреб ландшафтного районування України. *Природнича освіта та наука*. 2024. № 4. С. 119–127. <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-4.19>
20. Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Сікач Т.І., Івашкіна О.Л. Формування та реалізація державної екологічної політики. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2023. Вип. 6(143). <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.6.7>
21. Kahukina A., Patseva I. Assessment and forecast of atmospheric pollutant dynamics in the urban ecosystem of Zhytomyr. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. № 2(3(82)). Р. 36–42. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326893>
22. Patseva I., Herasymchuk L., Kahukina A., Patsev I., Valerko R., Ustymenko V. The impact of forest fires in the context of climate change: an interdisciplinary analysis. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. № 3(3(83)). С. 25–37.

Дата першого надходження рукопису до видання: 28.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ВАРІАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ГЕОДИНАМІЧНИМ ТА СЕЙСМІЧНИМ СТАНАМИ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Ігнатишин В.В.^{1,2}, Малицький Д.В.³, Іжак Т.Й.², Молнар Д.С.С.², Рац А.Й.²,
Ігнатишин А.В.¹, Ігнатишин М.Б.¹, Прокопишин В.І.¹

¹Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України
вул. Ярославенка, 27, 79011, м. Львів

²Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II
пл. Кошута, 6, 90202, м. Берегове

³Карпатське відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України
вул. Наукова, 36, 79060, м. Львів

rgstrs1962@i.ua, Adalbert_Ihnatisin@i.ua, sitkomonika@i.ua, izsak.tibor@kmf.org.ua

На території закарпатського внутрішнього прогину та прилеглих територіях відбуваються землетруси різного енергетичного класу, які можуть ускладнити екологічний стан регіону. Важливо вивчення передумов як підготовки так прояву місцевої сейсмічності. *Метою роботи* є вивчення зв'язків параметрів метеорологічного стану сейсмогенеруючого регіону та геодинаміки, впливу факторів завад на сейсмічність регіону та його екологічний стан. *Об'єктом дослідження в роботі* є екологія регіону, сучасні рухи кори, місцева сейсмічність та метеорологічні поля. *Предметом дослідження статті* є зв'язки між температурою атмосферного повітря та сучасних рухів кори, між температурою повітря та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, зв'язки між геодинамічним та сейсмічним станом регіону. На території Закарпатського внутрішнього прогину проводяться роботи по моніторингу геофізичних полів на режимних геофізичних станціях Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Проводяться вимірювання варіацій параметрів метеорологічного, гідрологічного станів. Виконуються роботи по вивченню геофізичних полів в періоди сеймотектонічної активізації, використовуються та удосконалюються різні методи наукових досліджень. Результати геофізичних спостережень, ряди параметрів метеорологічних, геодинамічних полів аналізуються із використанням статистичного аналізу, порівняльного аналізу, картографічних методів. Також застосовуються аналітичні методи, геоінформаційні технології, елементи інформатики. Загальнонаукове значення полягає в тому, що отримані результати та методика дослідження можуть бути застосовані в інших наукових напрямках. Встановлено зв'язок сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та місцевої сейсмічності в досліджуваній період. Інтервали інтенсивних рухів кори, сейсмічної активності та варіацій температури повітря знаходяться в одних часових інтервалах. Отримані результати є підтвердженням ефективності використання геофізичного моніторингу сейсмонебезпечного регіону. Алгоритми дослідження та їх результати можуть бути використані в навчально-виховному процесі як в базовій середній школі, позашкільній освіті так і при викладанні природничих дисциплін на природничих спеціальностях вищої освіти, зокрема при вивченні географії, екології та геофізики. Важливо розширення спектру метеорологічних та геофізичних досліджень в краї. *Ключові слова*: температура атмосферного повітря, геодинамічний стан, сейсмічний стан, землетруси, Закарпатський внутрішній прогин, зона Оашського глибинного розлому, сучасні горизонтальні рухи кори, екологічний стан.

Variations in atmospheric air temperature and their relationship to geodynamic and seismic conditions in the Carpathian region. Ihnatyshyn V., Malyskyi D., Izsák T., Molnar D., Rats A., Ihnatyshyn A., Ihnatyshyn M., Prokopyshyn V.

Earthquakes of varying energy classes occur in the Transcarpathian internal trough and adjacent territories, which can complicate the ecological situation in the region. It is important to study the prerequisites for both the preparation and manifestation of local seismicity. The aim of this work is to study the relationships between the meteorological parameters of the seismogenic region and geodynamics, the influence of interference factors on the seismicity of the region and its ecological condition. The object of study in this work is the ecology of the region, modern crustal movements, local seismicity, and meteorological fields. The subject of the article is the relationship between atmospheric air temperature and modern crustal movements, between air temperature and the spatial-temporal distribution of local seismicity, and the relationship between the geodynamic and seismic state of the region. In the territory of the Transcarpathian internal trough, work is being carried out to monitor geophysical fields at the regime geophysical stations of the Seismicity Department of the Carpathian Region and the Carpathian Branch of the S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Measurements of variations in meteorological and hydrological parameters are being taken. Work is being carried out to study geophysical fields during periods of seismotectonic activation, using and improving various scientific research methods. The results of geophysical observations and series of meteorological and geodynamic field parameters are analyzed using statistical analysis, comparative analysis, and cartographic methods. Analytical methods, geoinformation technologies, and elements of computer science are also used. The general scientific significance lies in the fact that the results obtained and the research methodology can be applied in other scientific fields. A connection has been established between modern crustal movements in the Oash deep fault zone and local seismicity during the study period. The intervals of intense crustal movements, seismic activity, and air temperature variations are within the same time intervals. The results obtained confirm the effectiveness of geophysical monitoring of seismically hazardous regions. The research algorithms and their results can be used in the educational process in secondary schools,

extracurricular education, and in teaching natural sciences in higher education, particularly in the study of geography, ecology, and geophysics. It is important to expand the range of meteorological and geophysical research in the region. *Key words:* atmospheric temperature, geodynamic state, seismic state, earthquakes, Transcarpathian internal depression, Oash deep fault zone, modern horizontal crustal movements, ecological state.

Постановка проблеми. Закарпаття є сейсмогенеруючим регіоном і є частиною Карпатського регіону. На території закарпатського внутрішнього прогину та прилеглих територіях відбуваються землетруси різного енергетичного класу. Ці підземні поштовхи можуть ускладнити екологічний стан регіону. Важливо вивчення передумов як підготовки так прояву місцевої сейсмічності. Для цього необхідно вивчення факторів що впливають на поточний стан справ, реакцію геологічного середовища на сеймотектонічні процеси, що виявляються в змінах фізичних характеристик середовища. **Метою роботи** є вивчення зв'язків параметрів метеорологічного стану сейсмогенеруючого регіону та геодинаміки, впливу факторів завад на сейсмічність регіону та його екологічний стан. **Об'єктом дослідження в роботі** є екологія регіону, сучасні рухи кори, місцева сейсмічність та метеорологічні поля. **Предметом дослідження статті** є зв'язки між температурою атмосферного повітря та сучасних рухів кори, між температурою повітря та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, зв'язки між геодинамічним та сейсмічним станом регіону.

Актуальність дослідження. Важливість дослідження сеймотектонічних процесів в сейсмонезбезпечних регіонах викликана, зокрема в Закарпатті, тим, що на його території розташовані об'єкти критичної інфраструктури. Територія Закарпаття має важливе географічне положення, тому екологічна безпека краю має важливе значення як в науковому та методологічному значенні. На території Закарпатського внутрішнього прогину проводяться роботи по моніторингу геофізичних полів на режимних геофізичних станціях Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Проводяться вимірювання варіацій параметрів метеорологічного, гідрологічного станів. Виконуються роботи по вивченню геофізичних полів в періоди сеймотектонічної активізації, використовуються та удосконалюються різні методи наукових досліджень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Метою дослідження, що проводяться в закарпатському внутрішньому прогині це виявлення особливостей варіацій параметрів геофізичних полів в просторово-часовому інтервалі та сучасних рухів кори, які впливають на сейсмічну розрядку. В роботі проведено вивчення змін температури атмосферного повітря в 2024 році, динаміки сучасних рухів кори та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності. Результати важливі для поповнення бази даних,

вивчення картини напружено-деформованого стану порід та умов їх розрядки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] представлено результати проведеного дослідження зв'язку динаміки горизонтальних рухів кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та місцевої сейсмічності в періоди інтенсивних атмосферних опадів. Вивчено зв'язки варіацій параметрів атмосферних опадів із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2019–2020 рр. Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та варіації параметрів атмосферних опадів у 2020 р. вказує на високий ступінь кореляції рядів геофізичних даних. Активізація сейсмічності регіону спостерігається на фоні загального розширення порід, що відбувається за сталих вікових рухів кори. На сучасному етапі сучасні рухи кори перебувають у стані розширення порід, якщо така тенденція не зміниться, слід очікувати підвищення сейсмічності в регіоні [2]. В статті [3] досліджено зв'язок між сучасними рухами земної кори та просторово-часовим розподілом сейсмічності в Карпатському регіоні (зокрема, Закарпатському Внутрішньому прогині та зоні Вранча (Румунія)). Показано існування процесів зміни знака в горизонтальних рухах земної кори в Закарпатському Внутрішньому прогині в досліджуваному часовому інтервалі. Карпатський пояс насунутий на неогеновий Передкарпатський прогин, який заклав фундамент Східно-Західноєвропейської платформ [4]. В Україні більшість епіцентрів зареєстрованих землетрусів розташовані в Волино-Подільлі та Передкарпатській складці на краю Складчастих Карпат. У Кримсько-Чорноморському регіоні спостерігалася слабка сейсмічність з епіцентрами землетрусів, зосередженими в морі [5]. В результаті обробки даних супутникової радіолокаційної інтерферометрії було створено карти вертикальних зміщень зазначених територій, де відбувалося зміщення земної поверхні, спричинене впливом неприпливного атмосферного навантаження [6]. Також важливо врахувати, що сейсмічні дані можуть допомогти нам дослідити структуру внутрішнього шару Землі та фізичні механізми землетрусів, надаючи цінні знання щодо оцінки та запобігання землетрусам. Крім того, статистичний аналіз сейсмічних даних може бути пов'язаний з відповідною інформацією про деформацію земної кори та її глибинні рівні [7]. В статті [8] показано результати дослідження взаємозв'язків між зміною клімату, підвищенням рівня моря та підняттям суші, які можна запропонувати для застосування для прогнозування майбутніх змін підняття суші. В статті [9] наведено висновки, що землетруси передбачувані, якщо нако-

пичення напружень, перенесення напружень (НДС) можна контролювати. Це числове моделювання з урахуванням складної геометрії системи розломів та неоднорідності середовища може відкрити низку можливостей для майбутніх досліджень динаміки землетрусів та їх прогнозування на основі постійного удосконалення методів моніторингу напружень або деформацій. Неотектонічні структури загалом демонструють добру відповідність з полем швидкостей деформації, наприклад, у Динаридах, Східних Альпах або в західному Паннонському басейні. Однак наявність паралельного розломам скорочення або двовісного скорочення вздовж лівосторонніх неотектонічних структур у центральному та східному Паннонському басейні показує деяку розбіжність між поточною геодезичною та спостережуваною неотектонічною деформацією [10]. В роботі [11] вивчалися геофізичні аспекти екологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2020 рік, відмічено зв'язок геофізичних полів та геологічних процесів. Встановлено зв'язок швидкості сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому з просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2020 рік [12]. В [13, 14] представлено результати дослідження астрофізичних аспектів геодинамічного та екологічного стану Закарпаття, показано на взаємозв'язок астрофізичних та геофізичних параметрів. В [15] вказано на зв'язок варіацій параметрів метеорологічного стану центральної частини Закарпаття з сучасними горизонтальними рухами кори та проявом місцевої сейсмічності за 2021 рік: зміна температури повітря впливає на фізичні характеристики верхніх шарів земної кори, викликаючи розширення порід.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідження екологічного стану, можливих причин його погіршення в Закарпатському внутрішньому прогині проводяться тривалий період. Отримано важливі результати, які можна використати в майбутньому прогнозі землетрусів, моделі сейсмо-тектоніки регіону. Але важливо проводити безпервні геофізичні дослідження з метою удосконалення методик дослідження, поповнення баз даних. Також важливо розширення спектру методик дослідження. Актуально вивчення варіацій температури повітря та їх впливу на геологічні процеси, землетруси та ін. Метеорологічні сейсмічні параметри вимірюються на режимній геофізичній станції «Тросник», сучасні горизонтальні рухи кори вимірюються в шотольні пункту деформометричних спостереженнях «Королеве» Відділу сейсмічності Карпатського регіону (Берегівський район, Закарпатська область).

Новизна. Наукова новизна проведених досліджень полягає в тому, що вперше на теренах закарпатського внутрішнього прогину за результатами моніторингу геофізичних полів проведено вивчення зв'язків варіацій температури повітря із динамікою

рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, їх впливу на екологічний стан регіону через виникнення місцевих землетрусів в тому числі і відчутних підземних поштовхів за період в 2024 році.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Для вирішення поставлених в роботі завдань було вирішено декілька завдань методологічного та наукового значення. Результати геофізичних спостережень, ряди параметрів метеорологічних, геодинамічних полів аналізуються із використанням статистичного аналізу, порівняльного аналізу, картографічних методів. Також застосовуються аналітичні методи, геоінформаційні технології, елементи інформатики. Загальнонаукове значення полягає в тому, що отримані результати та методика дослідження можуть бути застосовані в інших наукових напрямках, з метою покращення ефективності наукових досліджень.

Викладення основного матеріалу. Зміни температури повітря на РГС «Тросник» в 2024 році. На території режимної геофізичної станції «Тросник» проведено вимірювання температури повітря протягом 2024 року за допомогою приладів для вимірювання температури атмосферного повітря, ртутного термометра та метеорологічної станції «Конрад». Вимірювання температури атмосферного повітря проводяться щогодинно в автоматичному режимі, для обробки даних використовують таблиці Excel. На рисунку 1 представлено варіацію температури атмосферного повітря за січень 2024 року.

Розраховано середню величину температури атмосферного повітря на режимній геофізичній станції імені Т.З. Вербицького в селі Тросник за січень 2024 року, яка дорівнює: $+0.28^{\circ}\text{C}$.

Для вивчення варіацій температури повітря в досліджуваному регіоні важливо провести інтерпретацію рядів спостережень в різних часових діапазонах, зокрема щогодинних та добових. На рисунку 2 представлено варіації температури повітря на РГС «Тросник» в січні 2024 року в режимі щогодинних спостережень.

Розраховано коефіцієнт кореляції в режимі щогодинних спостережень температури атмосферного повітря за січень 2024 року на РГС «Тросник» (між середньодобовими величинами та щогодинними величинами), який становить $:0.9$. Отримані результати показують, що для вивчення змін температури повітря в даному регіоні можна використати розраховані середньодобові значення температури атмосферного повітря поряд із щогодинними даними режимних спостережень метеорологічних параметрів (рисунк 3).

Середньодобові величини температури повітря співпадають із температурами щогодинних спостережень в першій половині доби, якщо діапазон температури повітря додатніх температур та в другій половині доби, якщо цей діапазон припадає на від'ємні показники температури повітря.



Рис. 1. Зміни середньодобової температури повітря на режимній геофізичній станції «Тросник» в січні 2024 року. Режим щогодинних спостережень

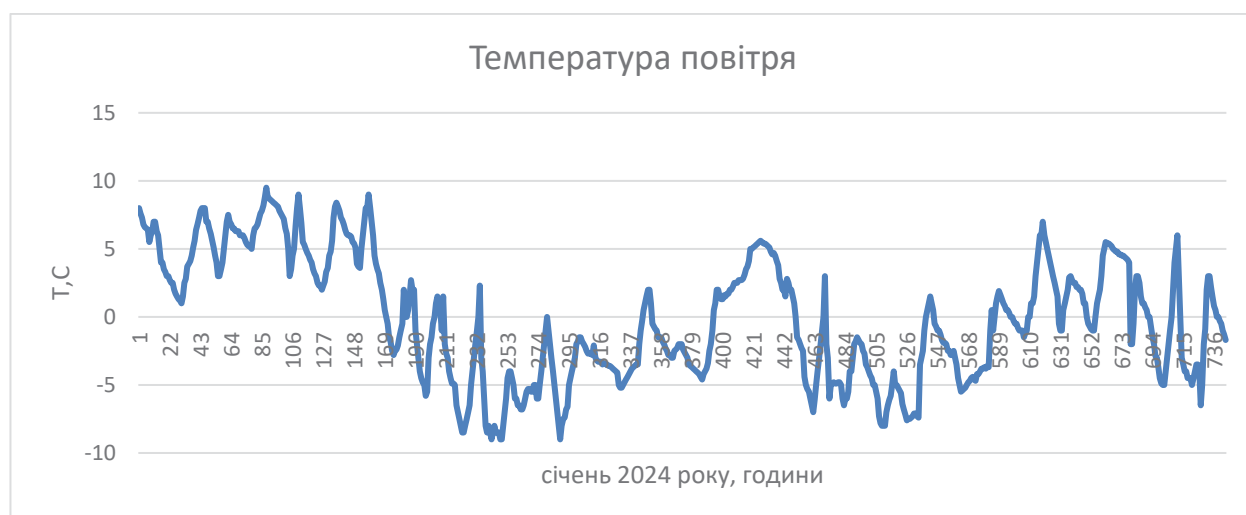


Рис. 2. Варіації температури атмосферного повітря виміряного на режимній геофізичній станції «Тросник» в січні 2024 року. Щогодинні спостереження

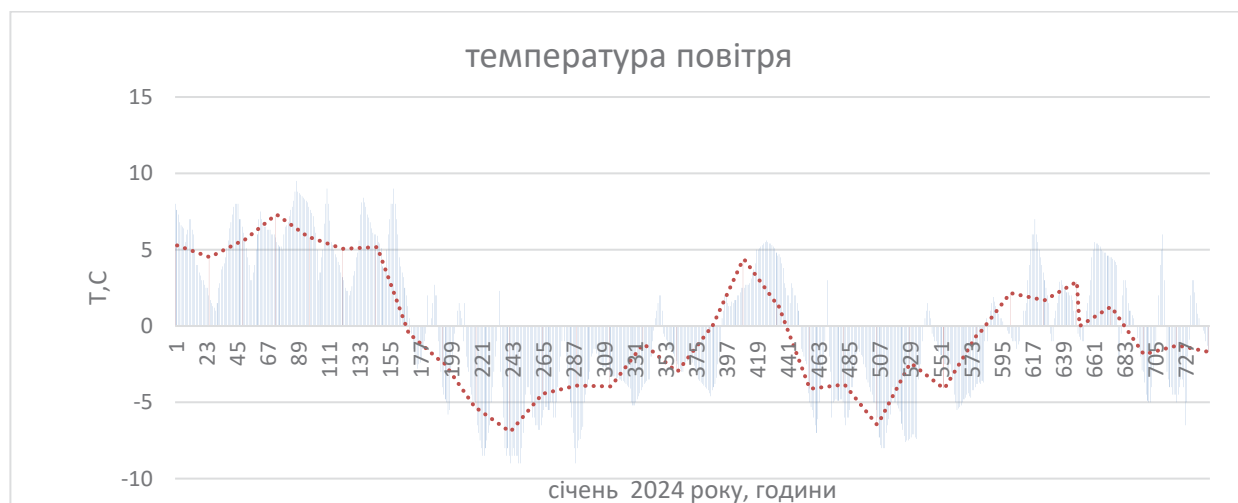


Рис. 3. Температура повітря на РГС «Тросник», щогодинні спостереження (крива синього кольору), середньодобові значення температури повітря (діаграма червоного кольору)

Досліджено зв'язки метеорологічних параметрів між собою, зокрема атмосферного тиску та температури атмосферного тиску за січень 2024 року. Побудовано комплексний графік атмосферного тиску та температури повітря за січень 2024 року (рисунок 4).

Розраховано коефіцієнт кореляції атмосферного тиску та температури атмосфери за січень 2024 року, який становить: -0.5. Підвищення температури повітря супроводжується зниженням величини атмосферного тиску, що відповідає фізичним аспектам географічних процесів.

Деформографічні спостереження в Закарпатському внутрішньому прогині. Картину сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в січні 2024 року та розташування пунктів спостережень в регіоні представлено на рисунку 5.

Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому та метеорологічний стан регіону. Досліджено варіації температури повітря та зміщень порід в зоні Оашського глибинного розлому за досліджуваний період часу (січень 2024 року) на предмет виявлення особливостей їх зв'язку (рисунок 6).

Розраховано ступінь кореляції варіації температури повітря виміряній в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в січні 2024 року, який становить: -0.3. Підвищення температури атмосферного повітря супроводжується процесом стиснення порід в зоні Оашського глибинного розлому в першій половині місяця, пониження температури повітря в цей інтервал часу співпадає в часі з інтенсивним розширенням порід. В третій декаді січня 2024 року

пониження температури повітря супроводжується стисненням порід (знакозмінний процес в рухах кори). Підвищення температури атмосферного повітря та інтенсивне розширення порід в зоні Оашського глибинного розлому спостерігається наприкінці місяця. Якщо враховувати фізичні аспекти геологічних процесів та їх зв'язків із факторами впливу на геодинамічний стан регіону, то важливо відмітити їх неоднозначність.

Важливо врахувати вплив на геомеханічні процеси також і температури атмосферного повітря, що вносить свій вклад в зміни фізичних характеристик порід земної кори. Дослідження важливі для визначення ступеня впливу факторів завад на сейсмотектонічні процеси в сейсмогенеруючих регіонах, зокрема Закарпаття, Прикарпаття та прилеглих територій.

Варіації температури повітря та сейсмічність карпатського регіону. Розглянуто можливий зв'язок між варіаціями температури повітря та місцевою сейсмічністю в досліджений інтервал часу та регіону. Представлено часові розподіли варіацій температури атмосферного повітря в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та регіональної сейсмічності (рисунок 7).

Землетруси в регіоні реєструються в періоди зменшення температури повітря, підвищення температури, тобто біля критичних точок варіацій метеорологічного параметру. Закарпатські землетруси також підлягають подібному розподілу (землетруси відбуваються в кінці місяця). Таким чином, землетруси рівномірно розподіляються в місячному часовому діапазоні: вони відбуваються в призмонах температури повітря та в їх критичних точках (максимумах та мінімумах). Розрахований коефіцієнт



Рис. 4. Варіації температури атмосферного повітря (крива коричневого кольору) та атмосферного тиску (крива синього кольору) за січень 2024 року, щогодинні спостереження

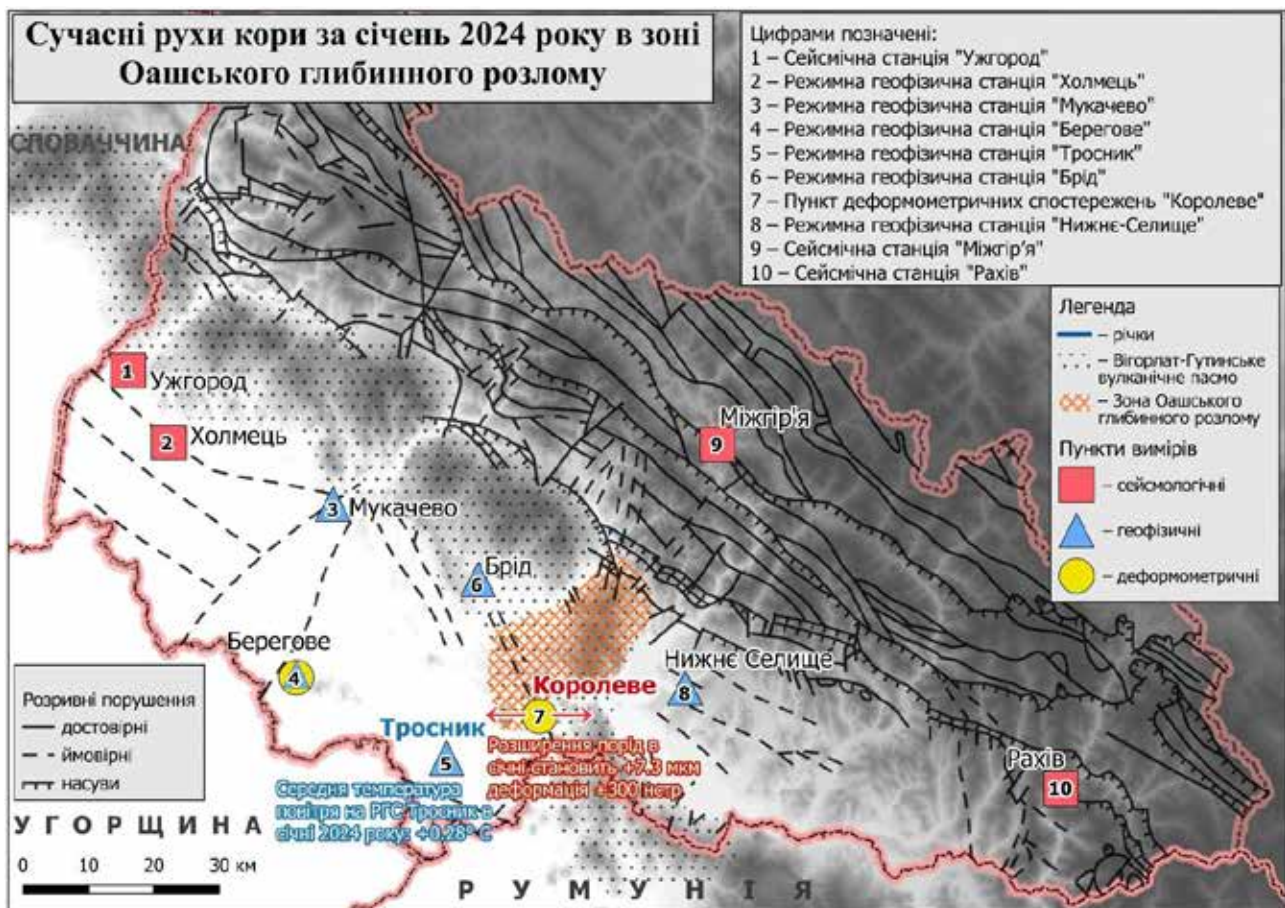


Рис. 5. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в січні 2024 року

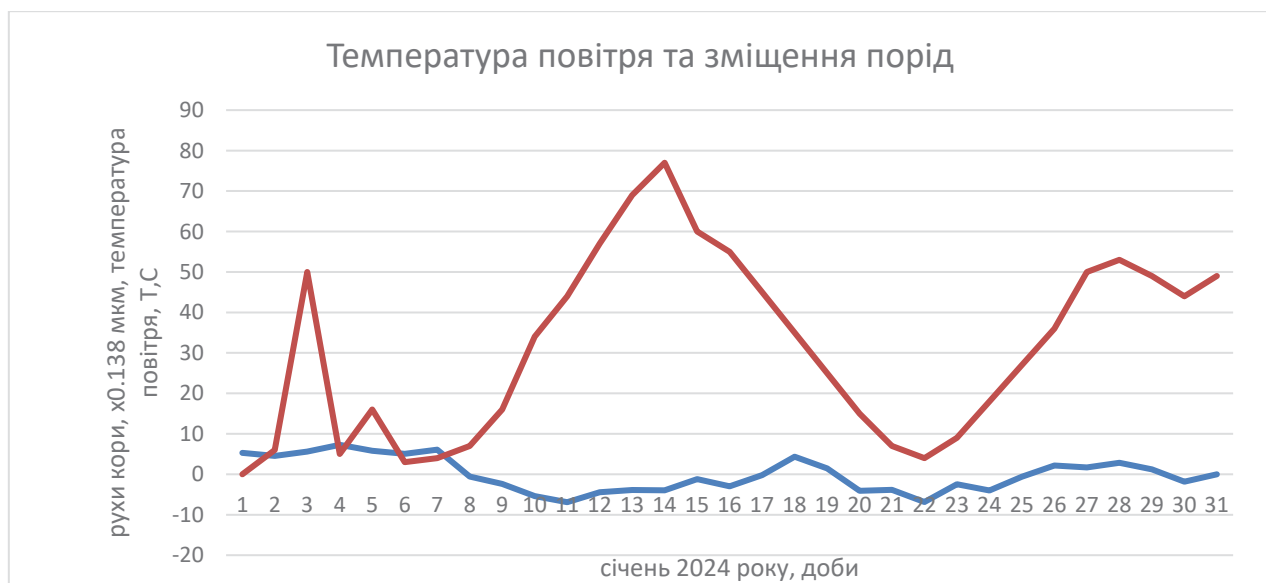


Рис. 6. Варіації температури повітря (крива синього кольору), зміщення порід в зоні Оашського глибинного розлому (крива коричневого кольору). Закарпатський внутрішній прогин, січень 2024 року

кореляції варіацій температури повітря та часового розподілу місцевої сейсмічності в січні 2024 року становить: -0.81 . Отриманий результат показує на

високий ступінь зв'язку або впливу температури повітря на сеймотектонічні процеси в карпатському регіоні.

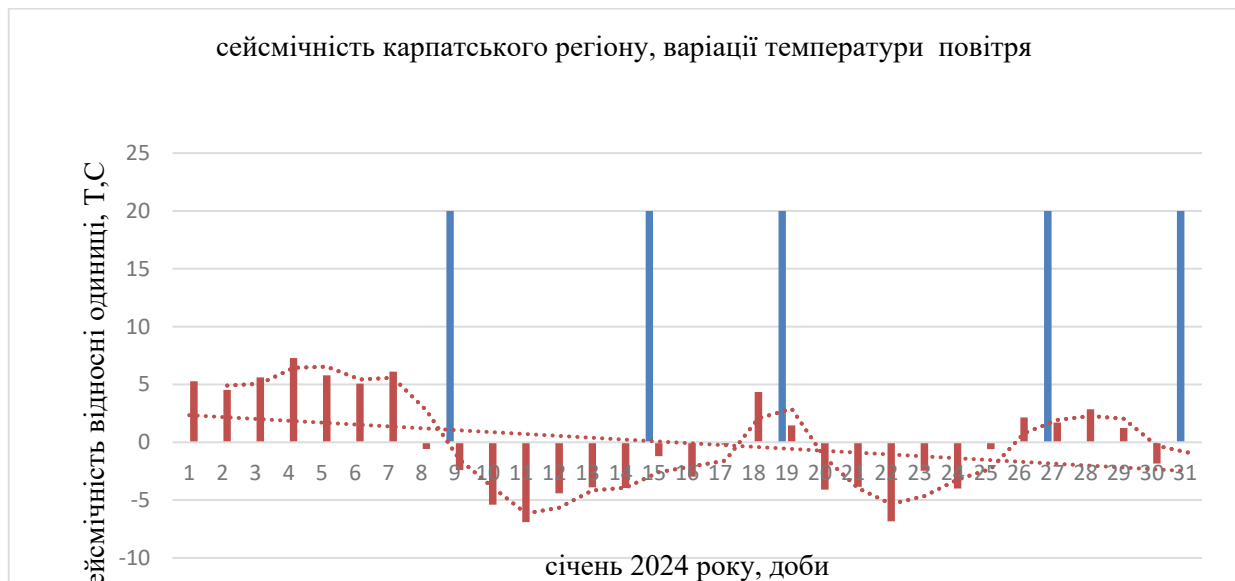


Рис. 7. Сейсмічність карпатського регіону (діаграма синього кольору), варіації температури повітря (діаграма коричневого кольору). Січень 2024 року

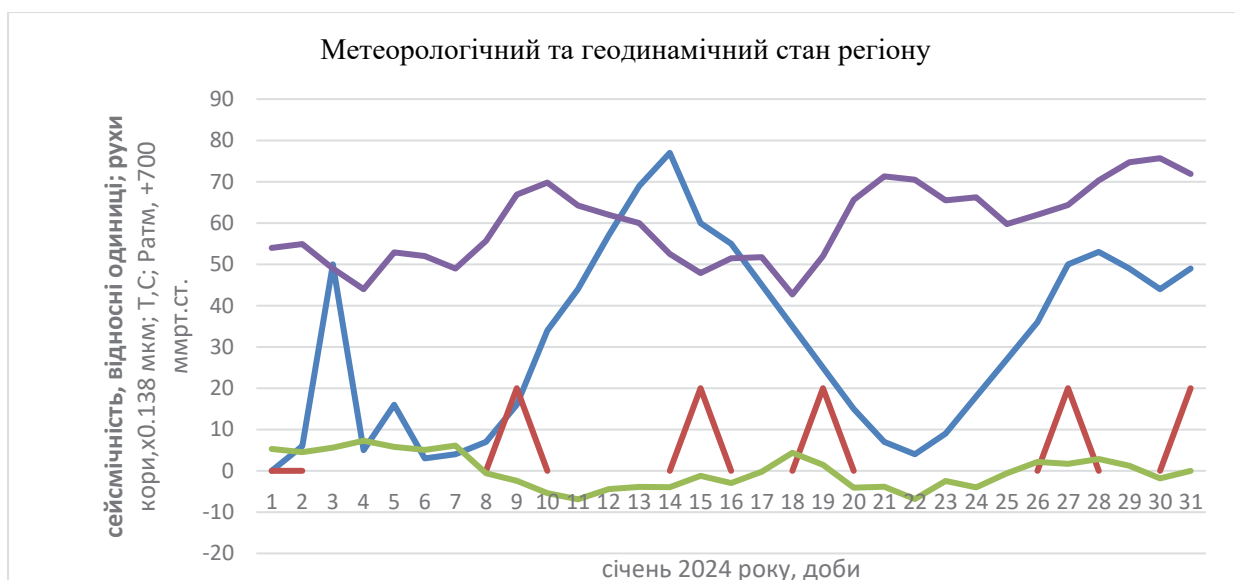


Рис. 8. Варіації атмосферного тиску (крива жовтого кольору), температури повітря (крива сірого кольору), сучасні рухи кори (крива синього кольору), сейсмічність карпатського регіону (діаграма коричневого кольору). Січень 2024 року

Представлено комплексний графік варіацій метеорологічних параметрів та параметрів сейсмотектонічного стану порід: варіацій атмосферного тиску та температури повітря, рухів кори та прояву сейсмічності регіону (рисунки 7, 8).

Землетруси в карпатському регіоні відбуваються в інтервалах часу, коли реєструють інтенсивні зміни сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, які в певній мірі викликані впливом метеорологічних факторів (температури повітря, атмосферного тиску). Таким чином, сейсмотектонічні

процеси в Карпатському регіоні зв'язані з факторами впливу на підготовку та прояв місцевої сейсмічності.

Головні висновки. В статті представлено результати дослідження сейсмотектонічних процесів в карпатському регіоні та їх зв'язок із варіаціями параметрів метеорологічного стану регіону за досліджуваний період 2024 року. Проведено вивчення варіацій температури повітря за січень 2024 року, розраховано середньомісячну її величину, яка становить: $+0.28$ °C. Виміряні зміщення земної кори при сучасних горизонтальних рухах кори в зоні

Оашського глибинного розлому представлені розширеннями порід величиною: $+7.3$ мкм, деформація порід при цьому становить: $+3 \times 10^{-7}$. Вказано на можливість використання середньодобових величин параметрів метеорологічного стану при вивченні взаємозв'язків геофізичних полів між собою. Встановлено зв'язок сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та місцевої сейсмічності в досліджуваній період. Показано, що варіації температури атмосферного повітря, а саме в інтервалах їх динамічних змін перебувають у зв'язку із сейсмотектонічними процесами в регіоні. Інтервали інтенсивних рухів кори, сейсмічної активності та варіацій температури повітря знаходяться в одних часових інтервалах. Отримані результати є підтвердженням ефективності використання геофізичного моніторингу сейсмонезбезпечного регіону. Алгоритми дослідження та їх результати можуть бути використані в навчально-виховному процесі як в базовій середній школі, позашкільній освіті так і при викладанні природничих дисциплін на природничих спеціальностях вищої освіти, зокрема при вивченні географії, екології та геофізики. Матеріали моніторингу екологічного стану регіону важливі при вивченні сучасних методів підготовки учнями наукових досліджень, геоінформатики, фізичних основ географічних процесів, геоінформаційних техноло-

гій, та застосуванні інформатики при вирішенні екологічних проблем сейсмонезбезпечних територій.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати отримані в статті важливі для наукових та практичних потреб. Використана методика та алгоритм дослідження екологічного, геодинамічного та сейсмічного станів в сейсмонезбезпечних регіонах таких як карпатський регіон можуть бути використані при вивченні природничих дисциплін. Їх можна застосувати на уроках географії, фізики, інформатики, на заняттях природних гуртків позашкільної освіти як в системі МАН та і в шкільних гуртках. Оскільки при дослідженні геофізичних явищ та географічних процесів використовувалися як математичні та і геоінформаційні методи, результати та і самий процес дослідження пропонується при викладанні природничих дисциплін на природничих факультетах вищих навчальних закладів (сучасні методики та технології організації дослідницької діяльності учнів з географії, фізичних основи географічних процесів, географії, геоінформаційних технологій та інформатики). Пропонується також проведення дослідження впливу метеорологічних параметрів на геофізичні процеси в регіоні із розширення спектру метеорологічних полів та точок дослідження в Карпатському регіоні.

Література

1. Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Моніторинг сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині за результатами комплексних геофізичних спостережень. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. 3(98). С. 42-48. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>
2. Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Молнар С., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за результатами деформометричних спостережень у регіоні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2024. 1(104). С. 13-21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02>
3. Ігнатишин В., Малицький Д., Купльовський Б., Іжак Т., Молнар С., Рац А., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геофізичні аспекти сучасних горизонтальних рухів у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину. *Геофізичний журнал*. 2025. 47 (2). С. 221-225 <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.320370>
4. Єгорова Т., Верпаховська О., Муровська Г. Тришарова структура Карпатської осадової призми за результатами сейсмічної міграції на профілях PANCAKE та RomUkrSeis WARR. *Геофізичний журнал*. 2022. 44 (2). С. 152-169. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i2.256270>
5. Андрущенко Ю., Ляшук О., Фарфуляк Л., Амашукелі Т., Ханієв О., Осадчий В., Петренко К., Вербицький С. Національний сейсмологічний бюлетень України за 2021 рік. *Геофізичний журнал*. 2023. 44 (6). С. 162-180. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273649>
6. Третьак К., Кухтар Д. Застосування інтерферометричних зображень радіолокаційного комплексу «Сентинел-1» для моніторингу вертикальних зміщень земної поверхні, що піддаються впливу неприпливного атмосферного навантаження. *Геофізичний журнал*. 2023. 45 (1). С. 87-101. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275180>
7. ByLin Shiyang, Ji Jianqing, Su Jun. Statistical analysis of global earthquake focal depth and distribution of seismic layer. *Chinese Journal of Geology*. 2019. 54(4). P. 1167-1184. In Chinese (Translated into English by LD).
8. Girgibo Nebiyu, Lü Xiaoshu, Hiltunen Erkki, Peura Pekka, Yang Tong, Dai Zhenxue. A conceptual framework for the future of sea-level rise and land uplift changes in the Vaasa region of Finland. *SCIREA Journal of Geosciences*. Volume 6, Issue 1. February 2022. P. 23-57. [10.54647/geosciences17154](https://doi.org/10.54647/geosciences17154)
9. Chunan Tang, Tianhui Ma, Xiaoli Ding. On stress-forecasting strategy of earthquakes from stress buildup, stress shadow and stress transfer (SSS) based on numerical approach. *Earthq Sci*. 2009. 22(1). P. 53-62. DOI: 10.1007/s11589-009-0053-y
10. Porkoláb K., Broerse T., Kenyeres A. Active tectonics of the Circum-Pannonian region in the light of updated GNSS network data. *Acta Geod Geophys*. 2023. 58. P. 149-173. <https://doi.org/10.1007/s40328-023-00409-8>
11. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т. Геофізичні аспекти екологічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2021. № 4(37). С. 114-120. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.17>
12. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т., Іжак Т.Й. Швидкості сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та їх зв'язок з просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за

2020 рік. Збірник праць Всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI), 28-30 вересня 2021 року. С. 244-248. УДК: 55+548/549.

13. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Вербицький С.Т., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Геофізичні та астрофізичні аспекти екологічного стану Закарпаття. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2022. № 3(42). С. 98-106. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.16>
14. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Варіації астрофізичних параметрів та сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2022 рік. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2024. № 1(52). С. 42-51. <http://ecoj.dea.kiev.ua/52-1-2024>
15. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й. Метеорологічний аспект геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2021 рік. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*. 2024. № 1. С. 32-47.

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН (НА ПРИКЛАДІ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР)

Романчук Л.Д.¹, Голуб В.О.², Кравчук-Ободзінська Т.В.¹

¹Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

²Волинський національний університет імені Лесі Українки

вул. Потапова, 9, корпус С, 43025, м. Луцьк

ke_rld@ztu.edu.ua, Golub.Valentina@vnu.edu.ua, ke_ktv@ztu.edu.ua

У статті представлено результати комплексного багаторічного дослідження (2021–2024 рр.), спрямованого на оцінку ефективності біотехнологічних підходів у підвищенні екологічної безпеки виробництва харчової продукції в умовах посилення кліматичних змін. Об'єктом дослідження виступали основні злакові культури України – пшениця озима, ячмінь ярий, кукурудза та жито озиме, які мають стратегічне значення для забезпечення продовольчої безпеки держави. Дослідження проводили в межах трьох агрокліматичних зон України – Полісся, Лісостепу та Південного Степу – з урахуванням регіональних відмінностей гідротермічного режиму та рівня адаптивності культур до абіотичних стресів.

Метою роботи було встановити вплив кліматичних факторів, насамперед гідротермічних умов, на врожайність та екологічну стабільність злакових культур, а також оцінити ефективність застосування різних груп біотехнологічних та їх комплексного поєднання в системах адаптивного землеробства.

Отримані результати свідчать, що в умовах інтенсивної посухи середнє зниження врожайності становило 38–43 % залежно від культури, причому найбільш чутливою до дефіциту вологи виявилася кукурудза, тоді як жито озиме демонструвало відносно вищу стійкість до гідротермічного стресу. Встановлено, що використання біотехнологічних засобів дозволяє істотно пом'якшити негативний вплив посушливих умов: урожайність пшениці озимої зросла на 22,4 %, ячменю ярого – на 22,2 %, кукурудзи – на 21,0 %, жита озимого – на 18,6 % порівняно з контролем. Найвищу ефективність продемонструвало комплексне застосування препаратів, що поєднувало властивості біодобрих, біозахисту та біостимуляторів.

Механізм дії таких засобів пов'язаний із покращенням біологічної активності ґрунту, стимуляцією розвитку ризосферної мікрофлори, посиленням фотосинтетичної активності рослин і підвищенням їхньої здатності до накопичення осмотичних регуляторів. Це забезпечує підвищення водоутримуючої здатності рослин, оптимізацію азотного обміну та стійкість до оксидативного стресу.

Отримані результати мають практичне значення для формування адаптивних систем управління агрофітоценозами злакових культур, розроблення регіональних стратегій сталого агровиробництва та удосконалення політики екологічної безпеки в аграрному секторі. *Ключові слова:* кліматологічні зміни, біологічна адаптація, біотехнологічні засоби, екологічна безпека, харчові продукти, екологія, продовольча безпека, сталий розвиток.

Biotechnological approaches to improving the environmental safety of food production in the context of climate change (on the example of cereal crops). Romanchuk L., Holub V., Kravchuk-Obodzinska T.

The article presents the results of a comprehensive multi-year study (2021–2024) aimed at assessing the effectiveness of biotechnological approaches in improving the environmental safety of food production in the context of intensifying climate change. The study focused on Ukraine's main cereal crops—winter wheat, spring barley, corn, and winter rye—which are of strategic importance for ensuring the country's food security. The research was conducted in three agroclimatic zones of Ukraine—Polissya, Forest-Steppe, and Southern Steppe—taking into account regional differences in the hydrothermal regime and the level of crop adaptability to abiotic stresses.

The aim of the study was to determine the influence of climatic factors, primarily hydrothermal conditions, on the yield and ecological stability of cereal crops, as well as to evaluate the effectiveness of various groups of biotechnological products and their complex combination in adaptive farming systems.

The results show that under conditions of intense drought, the average yield reduction was 38–43% depending on the crop, with corn being the most sensitive to moisture deficiency, while winter rye showed relatively higher resistance to hydrothermal stress. It has been established that the use of biotechnological means can significantly mitigate the negative impact of arid conditions: the yield of winter wheat increased by 22.4%, spring barley by 22.2%, corn by 21.0%, and winter rye by 18.6% compared to the control. The highest efficiency was demonstrated by the complex application of preparations that combined the properties of biofertilizers, bioprotection, and biostimulants.

The mechanism of action of such agents is associated with improving the biological activity of the soil, stimulating the development of rhizosphere microflora, enhancing the photosynthetic activity of plants, and increasing their ability to accumulate osmotic regulators. This ensures an increase in the water-holding capacity of plants, optimization of nitrogen metabolism, and resistance to oxidative stress.

The results obtained are of practical importance for the formation of adaptive management systems for cereal crop agro-phytocenoses, the development of regional strategies for sustainable agricultural production, and the improvement of environmental safety policies in the agricultural sector. *Key words:* climate change, biological adaptation, biotechnological means, environmental safety, food products, ecology, food security, sustainable development.

Постановка проблеми. Сучасне агровиробництво перебуває під значним впливом кліматичних змін, які викликають підвищення частоти екстремальних погодних явищ, порушення водного балансу, деградації ґрунтів та зниження продуктивності основних сільськогосподарських культур [1, 2]. Особливо вразливою є група злакових культур – пшениця, ячмінь, кукурудза, рис та жито, які становлять основу продовольчої безпеки як в Україні, так і у світі. Згідно з дослідженнями світових вчених [3], навіть короточасні посухи або температурні стреси можуть зменшувати врожайність зернових на 10–20 %, що ставить під загрозу стабільність продовольчих систем.

У контексті таких викликів зростає потреба у переході від традиційних агротехнологій до біотехнологічно орієнтованих сільськогосподарських систем виробництва, які поєднують високий рівень продуктивності з екологічною безпекою та стійкістю до кліматичних стресів [4]. Біотехнологічні підходи відкривають можливості для селекції нових сортів злаків із підвищеною витривалістю до посухи, солоності, коливань температури та патогенів, а також для зниження антропогенного навантаження через оптимізацію використання добрив і засобів захисту рослин [5,6].

Разом із тим, у сучасній науковій літературі спостерігається недостатня інтеграція біотехнологічних рішень щодо екологічної безпеки агровиробництва. Більша кількість досліджень зосереджена або на підвищенні врожайності, або на адаптаційних механізмах рослин до стресів, без комплексного врахування екологічних ризиків, пов'язаних із впровадженням нових біотехнологічних систем [7,8].

Саме тому, актуальність дослідження зумовлена необхідністю наукового обґрунтування та розроблення біотехнологічних підходів до підвищення екологічної безпеки виробництва харчової продукції на основі злакових культур у контексті зміни клімату. Вирішення цієї проблеми дозволить забезпечити сталий розвиток агросфери, знизити екологічні ризики та підвищити продовольчу незалежність держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні наукові дослідження підкреслюють, що біотехнології становлять ключовий інструмент для підвищення стійкості агросистем до кліматичних стресів – шляхом прискореної селекції, цілеспрямованої модифікації геному, маніпуляції мікробіомом та впровадження біостимуляторів у системи управління ґрунтом і живленням [9,10].

Наукові дослідження 2020–2024 рр. свідчать про значну роль біостимуляторів (органо-мінеральні добавки, морські екстракти, ферментовані продукти) у підвищенні стрес-толерантності злакових культур та зменшенні застосування синтетичних засобів захисту рослин. Емпіричні дослідження показують покращення показників водокористування та зниження ерозії ґрунтів при інтеграції таких засобів у системи обробітку [10,11].

Сучасні наукові праці демонструють широкий спектр перспективних біотехнологічних підходів для підвищення екологічної безпеки виробництва злакових культур в умовах кліматичних змін: від прискореної генетичної інновації до маніпуляції мікробіомом і впровадження біостимуляторів, а також застосування цифрових платформ для моніторингу та прийняття рішень. Одночасно ключовими перешкодами є: розрив між лабораторними результатами і польовою ефективністю, питання масштабування інокулянтів, регуляторна невизначеність та потреба в міждисциплінарних дослідженнях, які би поєднали різні агроекологічні підходи.

Мета досліджень. Метою нашого дослідження є комплексне наукове обґрунтування біотехнологічних підходів до підвищення екологічної безпеки виробництва харчової продукції із злакових культур з урахуванням впливу кліматичних чинників та адаптивних можливостей агроecosистем різних агрокліматичних зон України.

Методика досліджень. Дослідження проводились у 2021–2024 роках у трьох основних агрокліматичних зонах України – Поліссі, Лісостепу та Південному Степу, що відрізнялись рівнем зволоження, температурним режимом і типом ґрунтів. Об'єктами дослідження були представники основних злакових культур – пшениця м'яка озима, ячмінь ярий, кукурудза та жито озиме, які мають різний рівень адаптивності до абіотичних стресів.

Результати досліджень та їх обговорення. Упродовж 2021–2024 рр. нами було проведено комплексні польові дослідження, спрямовані на оцінку впливу кліматичних умов на формування врожайності основних злакових культур – пшениці озимої, ячменю ярого, кукурудзи та жита озимого – у трьох агрокліматичних зонах України: Поліссі, Лісостепу та Південному Степу.

Дослідження здійснювали за трьома гідротермічними сценаріями, що відображали типові умови зволоження клімату. Перший сценарій – оптимальне зволоження (контроль) – характеризувався середніми багаторічними показниками опадів і температурного режиму, що відповідають кліматичній нормі для кожної зони. Другий сценарій, а саме помірна посуха, передбачав дефіцит опадів на 25–30 % від багаторічного середнього значення при незначному підвищенні середньодобової температури. Третій сценарій, інтенсивна посуха, моделював екстремальні умови дефіциту вологи (понад 50 % від норми) у поєднанні з високими температурами повітря (понад +30 °C протягом десяти і більше діб).

Умови водного дефіциту створювали шляхом регульованого обмеження поливів у критичні фази органогенезу злакових культур, а саме кушіння, колосіння та наливу зерна, що дозволяло кількісно оцінити реакцію кожного виду на різні рівні дефіциту вологи та визначити закономірності зміни їхньої продуктивності залежно від гідротермічного режиму.

Таблиця 1

Продуктивність злакових культур за різних умов зволоження

Культура	Оптимальне зволоження, т/га	Помірна посуха, т/га	Інтенсивна посуха, т/га	Відносне зниження, %*
Пшениця озима	6,2	5,0	3,8	38,7
Ячмінь ярий	5,4	4,3	3,2	40,7
Кукурудза	8,9	7,2	5,1	42,7
Жито озиме	4,8	3,9	2,9	39,6

Таблиця 2

Ефективність біотехнологічних засобів у вирощуванні злакових культур

Культура	Контроль, т/га	Біодобрива, т/га	Біозахист, т/га	Біостимулятори, т/га	Комплексне застосування, т/га	Приріст до контролю, %
Пшениця озима	5,8	6,4	6,2	6,6	7,1	+22,4
Ячмінь ярий	4,9	5,5	5,3	5,6	6,0	+22,2
Кукурудза	8,1	8,9	8,6	9,1	9,8	+21,0
Жито озиме	4,3	4,7	4,5	4,8	5,1	+18,6

Результати наших досліджень свідчать про суттєвий вплив рівня зволоження на продуктивність основних злакових культур, що вирощувались у різних агрокліматичних зонах України. При оптимальному зволоженні, що відповідало середнім багаторічним показникам опадів, спостерігалось формування максимальних показників врожайності: для пшениці озимої – 6,2 т/га, ячменю ярого – 5,4 т/га, кукурудзи – 8,9 т/га, а жита озимого – 4,8 т/га. Дані показники відображають потенціал культур за умов достатнього водопостачання й оптимального теплового режиму.

При умові помірної посухи спостерігалось зниження урожайності на 15–20 % залежно від культури. Найменше відреагувало на посушливі умови жито озиме (зменшення врожайності на 18,8 %), що свідчить про його вищу стійкість до дефіциту вологи. Натомість у кукурудзи врожайність знизилася з 8,9 до 7,2 т/га, що становить втрату близько 19,1 %, це пов'язано з високими потребами цієї культури у волозі під час активного росту та наливу зерна.

За умов інтенсивної посухи спостерігалось істотне зменшення врожайності всіх злакових культур на 38–43 % відносно контрольного варіанта. Найчутливішою до водного дефіциту виявилася кукурудза, у якої врожайність зменшилася до 5,1 т/га, що на 42,7 % нижче за контроль. Подібна тенденція спостерігалася і для ячменю ярого – зниження врожайності на 40,7 %. Пшениця озима та жито озиме продемонстрували відносно вищу толерантність до посушливих умов, зменшення врожайності становило відповідно 38,7 % та 39,6 %.

Результати наших досліджень свідчать, що інтенсивність зниження продуктивності злакових культур

прямо залежить від рівня водного дефіциту, а стійкість культур до посухи визначається особливостями їхньої морфологічної адаптації. Зокрема, культури з глибшою кореневою системою (жито, пшениця) мають перевагу за екстремальних кліматичних умов. Результати дослідження узгоджуються з висновками міжнародних робіт, які вказують на прямий лінійний зв'язок між зростанням температури повітря, зменшенням вологості ґрунту та втратою врожайності зернових культур у регіонах із нестабільним зволоженням.

Результати наших досліджень підтверджують високу ефективність застосування біотехнологічних засобів у системі вирощування основних злакових культур, зокрема пшениці озимої, ячменю ярого, кукурудзи та жита озимого. Усі варіанти із використанням біотехнологічних препаратів продемонстрували суттєве зростання урожайності порівняно з контролем, що свідчить про їхній позитивний вплив на фізіологічні процеси рослин і загальний стан агроєкосистеми.

При використанні біологічних добрив спостерігався ріст врожайності в середньому на 10–12 %. Найвищий ефект спостерігався у кукурудзи, де врожайність підвищилася з 8,1 до 8,9 т/га. Це пояснюється активізацією азотного та фосфорного живлення під дією азотфіксувальних та фосфатомобілізувальних мікроорганізмів. У варіантах із біозахистом урожайність зросла на 7–9 %, що пов'язано зі зниженням фітопатогенного навантаження та покращенням фітосанітарного стану посівів.

Біостимулятори росту сприяли підвищенню врожайності на 13–15 % порівняно з контролем, забезпечуючи підвищення фотосинтетичної діяльності та поліпшення водного режиму рослин у критичні фази

вегетації. Особливо помітним цей ефект був у пшениці озимої (зростання з 5,8 до 6,6 т/га) та кукурудзи (з 8,1 до 9,1 т/га).

Найвищі показники зафіксовано у варіантах комплексного застосування біодобрив, біозахисту та біостимуляторів, про що свідчить приріст урожайності на 18–22 % порівняно з контролем. Зокрема, врожайність пшениці озимої сягнула 7,1 т/га, ячменю ярого – 6,0 т/га, кукурудзи – 9,8 т/га, а жита озимого – 5,1 т/га. Такий ефект пояснюється синергічною дією біологічних препаратів, які одночасно покращують живлення, стимулюють ростові процеси та підвищують імунологічну стійкість рослин.

Отримані результати досліджень доводять, що комплексне застосування біопрепаратів підвищує ефективність використання елементів живлення, посилює стійкість до абіотичних стресів і сприяє формуванню екологічно безпечної врожайності. Таким чином, використання біотехнологічних засобів може розглядатися як один із ключових напрямів підвищення екологічної безпеки та адаптивності злакових агроценозів в умовах кліматичних змін.

Висновки. У результаті проведених у 2021–2024 рр. польових досліджень встановлено, що кліматичні умови та біотехнологічні чинники істотно впливають на продуктивність і екологічну стабільність злакових культур у різних агрокліматичних зонах України. Виявлено чітку тенденцію до

зниження врожайності за умов дефіциту вологи – від 15–20 % за помірної посухи до понад 40 % за інтенсивної. Найбільш толерантними до водного стресу виявилися пшениця озима та жито озиме, що зумовлено їхніми морфологічними адаптаціями до коливань гідротермічного режиму.

Найвищий ефект забезпечувало комплексне використання препаратів різних груп, що має синергічний вплив на обмін речовин рослин, активізує кореневе живлення та підвищує імунітет культур до біотичних і абіотичних стресів.

Результати досліджень підтверджують, що біотехнологічні підходи є дієвим інструментом екологізації агровиробництва, оскільки дозволяють зменшити застосування мінеральних добрив і пестицидів, покращити структуру ґрунту, оптимізувати мікробіологічні процеси та знизити антропогенне навантаження на агроєкосистеми. Впровадження таких рішень сприяє зміцненню екологічної та продовольчої безпеки України, забезпечуючи стабільне виробництво високоякісної зернової продукції навіть в умовах кліматичних коливань.

У подальших дослідженнях доцільно зосередитись на оцінці довготривалого впливу біотехнологічних препаратів на агробіоценози, визначенні економічної ефективності їх застосування у різних системах землеробства та розробці інтегрованих моделей управління агроєкосистемами з урахуванням сценаріїв кліматичних змін.

Література

1. Wheeler T, von Braun J. Climate change impacts on global food security. *Science*. 2013. Aug 2.; P. 341. doi: 10.1126/science.1239402.
2. Романчук Л.Д., Кравчук Т.В., Можарівська І.А. Вплив агроєкологічних елементів технології вирощування на вміст мікроелементів в зеленій масі амаранту. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. Вип. № 5(44). 2022. С. 130-133.
3. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. *Rome, FAO*. 2022. P. 260. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>
4. Timmis K. N. The contribution of microbial biotechnology to sustainable development goals. *Microbial Biotechnology*, 10(5), P. 984–987.
5. Lata C., Muthamilarasan M., Prasad, M. Biotechnological interventions for improving drought tolerance in cereals. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2018. 38(8). P. 920–936.
6. Романчук Л.Д., Кравчук Т.В. Жирнокислотний та біохімічний склад насіння амаранту залежно від сорту та системи удобрення. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2024. Вип. 55 № 1. С. 138-143.
7. Drobitko A., Markova N., Tarabrina A., Tereshchenko A. Land degradation in Ukraine: retrospective analysis 2017-2022. *International Journal of Environmental Studies*. December 2022. 80(13). P. 1-8. <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2160079>
8. Романчук Л.Д., Кравчук Т.В. Концентрація важких металів у ґрунті при вирощуванні амаранту в умовах Житомирського Полісся. *Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України. Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 58-60.
9. Zhao J., Liu D., Huang R. A Review of Climate-Smart Agriculture: Recent Advancements, Challenges, and Future Directions. *Sustainability* 2023. 15. 3404. <https://doi.org/10.3390/su15043404>
10. Романчук Л.Д., Кравчук-Ободзінська Т.В. Амарант і традиційні культури: біохімічна характеристика та перспективи використання. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. Випуск 4(108). С. 194-204.
11. Hussain, S. DREB Transcription Factors in Wheat: Improving Drought Resistance. *Journal of Plant Research*. 132(3). 231–245.

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025

Дата прийняття до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ДИНАМІКА РІЧНОЇ СУМИ ОПАДІВ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

Семергей-Чумаченко А.Б., Сич Н.Г.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Всеволода Змієнко, 2, 65082, м. Одеса

asemerhey2016@gmail.com, nataly.sych73@gmail.com

Встановлена динаміка річної суми атмосферних опадів на території Вінницької області за період 1936–2024 роки через необхідність визначення та систематизації регіональної реакції кліматичної системи на глобальне потепління. На базі даних метеорологічних спостережень за 88 років на семи станціях виконаний просторово-часовий аналіз річної кількості опадів. Виявлена найбільша активність опадоутворення на станціях Липовець та Хмільник, а найменша – на станціях Могилів-Подільський та Гайсин. Встановлено, що річна сума опадів була максимальною у 1970-ті роки, а мінімальною у 1941–1950 роки. З'ясовано, що після тривалого періоду (1961–2010 роки), коли середня річна сума опадів перевищувала 600 мм, у 2011–2020 роки спостерігалось її зниження до 550 мм. Для виявлення динаміки опадів в регіоні дослідження застосовано метод Сена, який рекомендований Всесвітньою метеорологічною організацією для вивчення кліматичних змін. Отримані результати свідчать про просторову нерівномірність змін річної кількості опадів. Виявлено зниження опадів у північних та центральних районах області (метеостанції Білопілля та Вінниця), де темпи якого становлять відповідно $-0,19$ мм/рік та $-0,43$ мм/рік. Встановлено, що на метеостанціях Хмільник, Липовець, Жмеринка, Гайсин та Могилів-Подільський зафіксовано незначне зростання річної суми від $+0,28$ до $+1,13$ мм/рік. Найсильніше посилення зволоження, що становило $+1,13$ мм/рік, виявилось на станції Гайсин. Результати дослідження підтверджує актуальність регіональних наукових проєктів щодо визначення кліматичних змін на рівні адміністративних одиниць для потреб адаптації сільського господарства, водних ресурсів та природоохоронної політики. *Ключові слова:* кліматичні зміни, опади, річна сума, метод Сена, ковзне середнє, просторово-часовий аналіз, Вінницька область.

Dynamics of annual precipitation in the Vinnytsia region. Semerhei-Chumachenko A., Sych N.

Established the dynamics of annual amount of precipitation in the Vinnytsia region for the period 1936–2024 due to the need to determine and systematize the regional response of the climate system to global warming. Performed the spatiotemporal analysis of the annual amount of precipitation on meteorological observations for 88 years at seven stations. Founded the greatest activity of precipitation at stations Lypovets and Khmilnyk, and the least at stations Mogilev-Podilskyi and Haisyn. Established that the annual amount of precipitation was maximum in the 1970s and minimum in the 1941–1950. Founded that after a long period (1961–2010), when the average annual amount of precipitation exceeded 600 mm, in 2011–2020 its decrease – 550 mm. Applied the Sen method, which is recommended by the World Meteorological Organization for research climate change, to identify the dynamics of precipitation in the study region. Obtained results indicate spatial irregularity of changes in annual precipitation. Detected a decrease in precipitation in the northern and central regions (meteorological stations Bilopilnya and Vinnytsia), where the rates are $-0,19$ mm/year and $-0,43$ mm/year, singly. Established a slight increase at meteorological stations Khmilnyk, Lypovets, Zhmerynka, Haisyn and Mogilev-Podilskyi in precipitation from $+0,28$ mm/year to $+1,13$ mm/year. Founded the strongest increase in moisture at the Haisyn $+1,13$ mm/year. The results of the study confirm the relevance of regional scientific projects to determine climate change at the level of administrative units for the needs of adaptation of agriculture, water resources and environmental policy. *Key words:* climate change, precipitation, annual total, Sen's slope method, moving average, spatiotemporal analysis, Vinnytsia region.

Постановка проблеми. Зміни кліматичних умов, зокрема трансформація режиму атмосферних опадів, становлять одну з головних загроз для екологічної рівноваги та соціально-економічного розвитку регіонів України. Вінницька область, як частина центрального Лісостепу, характеризується високою аграрною значущістю, і саме кількість та розподіл опадів визначають ефективність сільськогосподарського виробництва, водозабезпечення та стабільність екосистем. Незважаючи на наявність багаторічного метеорологічного спостереження, детальний аналіз довгострокової динаміки річної суми опадів у Вінницькій області потребує додаткової систематизації. Існує потреба в науково обґрунтованій оцінці просторово-часових змін, визначенні тенденцій, коливань і статистичних аномалій у багаторічних рядах даних для виявлення ознак кліматичних змін.

Актуальність дослідження просторово-часових закономірностей зміни річної суми опадів дозволяє виявити регіональні особливості кліматичних тенденцій, оцінити рівень кліматичних ризиків та адаптаційні можливості окремих територій. Особливої значущості набуває аналіз багаторічних гідрометеорологічних даних у контексті формування національної кліматичної політики, стратегії адаптації до змін клімату та сталого природокористування.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано згідно з цілями та завданнями, що сформульовані в науково-дослідних роботах кафедри метеорології та кліматології Навчально-наукового Гідрометеорологічного інституту Одеського державного екологічного університету (НН ГМІ ОДЕКУ) «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над

Україною» (№ ДР 0120U100487, 2020–2024 рр.) та кафедри метеорології та кліматології факультету гідрометеорології і екології Одеського Національного Університету імені І.І. Мечникова (ФГМіЕ ОНУ ім. І.І. Мечникова) «Модернізація методів прогнозу небезпечних явищ погоди для різних регіонів України» (№ ДР 0125U000647, 2025–2029 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Атмосферні опади мають вирішальну роль у функціонуванні гідрологічного циклу, забезпечуючи основне джерело поповнення водних ресурсів і вологозабезпечення ґрунтів. Однак під впливом глобального потепління річна сума опадів зазнає істотних змін, які характеризуються просторовою та часовою нерівномірністю [1]. Зростання температури повітря сприяє посиленому випаровуванню з поверхні океанів, морів і суходолу, що призводить до підвищення вмісту водяної пари в атмосфері та, відповідно, створює передумови для збільшення кількості опадів у ряді регіонів. Втім, ці зміни проявляються неоднозначно: вологі регіони стають ще вологішими (наприклад, Північна Європа, Канада, північна частина Азії) [2-5], у той час як посушливі регіони зазнають зменшення кількості опадів через трансформацію атмосферної циркуляції (Середземноморський регіон, Північна Африка, частини Центральної Азії) [6-9].

У публікаціях українських дослідників добре висвітлено динаміку режиму атмосферних опадів у кінці ХХ – на початку ХХІ століття, надано оцінки можливих змін і коливань річних, сезонних і місячних сум опадів у різних регіонах України [10-18] і виявлено зростання частоти та інтенсивності екстремальних опадів, які спричиняють підтоплення, ерозію ґрунтів і зсувні процеси [19-27].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених кліматичним змінам на території України, зокрема аналізу опадів у регіональному вимірі, низка аспектів залишається недостатньо опрацьованою.

Недостатньо вивченими залишаються просторові відмінності змін річної суми опадів у межах Вінницької області (між метеостанціями з різним орографічним положенням та ґрунтово-кліматичними умовами), статистичні характеристики трендів і флуктуацій впродовж майже столітнього періоду спостережень та оцінка синхронності та асинхронності змін між окремими пунктами спостереження.

Крім того, залишається відкритим питання застосування сучасних методів тренд-аналізу, таких як непараметричний тест Тейла-Сена, а також візуалізація просторово-часових закономірностей.

Метою цього дослідження є визначення поточного режиму та динаміки річної суми опадів на метеорологічних станціях Вінницької області (Білопілля, Хмільник, Липовець, Вінниця, Жмеринка, Гайсин та

Могилів-Подільський) з 1936 по 2024 рр. за даними стандартних метеорологічних спостережень.

Новизна. У межах дослідження вперше здійснено аналіз просторово-часових змін річної суми атмосферних опадів на основі спостережень на метеостанціях Вінницької області за період 1936–2024 рр. Встановлені регіональні особливості змін кількості опадів з застосування непараметричних методів аналізу трендів (тест Тейла-Сена).

Методологічне значення дослідження полягає у поєднанні класичних і сучасних статистичних підходів для аналізу довготривалих гідрометеорологічних рядів. Використання методу ковзного середнього дало змогу виявити згладжені міжрічні та міждесятирічні коливання кількості опадів, що дозволяє краще інтерпретувати кліматичні періоди та фази відносної стабільності чи нестабільності. Застосування методу Тейла-Сена як непараметричної оцінки тренду забезпечує надійне визначення величини та напрямку змін річної суми опадів, стійке до викидів у ряді. Об'єднання цих методів сприяє формуванню адаптованого аналітичного підходу для регіонального кліматичного аналізу.

Загальнонаукове значення дослідження полягає у поглибленні розуміння просторово-часової структури атмосферних опадів у межах Лісостепової зони України та уточненні кліматичних тенденцій на рівні регіону.

Викладення основного матеріалу. Характерною рисою просторового розподілу опадів на рівнинній території України є їх зменшення з півночі і північного заходу у південному та південно-західному напрямках через циркуляційні чинники [28]. Вінницька область розташована в зоні достатнього зволоження і характеризується помірно континентальним кліматом.

Аналіз річної суми опадів на станціях Вінницької області від 1936 р. по 2024 р. (рис. 1) виявив, що максимальна сума опадів за весь період дослідження була на ст. Липовець та ст. Хмільник (624 та 613 мм), а мінімальна на ст. Могилів-Подільський та ст. Гайсин (565 та 569 мм). Середня сума опадів на станціях області з 1936 по 2024 рр. становила 592 мм, у 1936–1960 рр. вона становила 537 мм, а у період 1961–1990 рр. суттєво збільшилась – 690 мм, далі у 1991–2020 роки знизилася до 603 мм.

Як було виявлено авторами у [29]: «У 1961–1990 рр. найсильніші опади спостерігались на ст. Липовець і Хмільник та становили 661 та 645 мм. Найменша інтенсивність опадоутворення була в Білопіллі та Гайсині (599 мм) та Могилеві Подільському (661 мм). У наступний період (1991–2020 рр.) також найсильніші опади були на ст. Липовці та Хмільнику (624 та 625 мм). Мінімальна сума опадів за цей період була у Вінниці (566 мм)».

Аналіз динаміки опадоутворення (табл. 1) виявив максимальну річну суму опадів у 1970-х роках (641 мм) та мінімальну – у 1941–1950 рр. (507 мм).

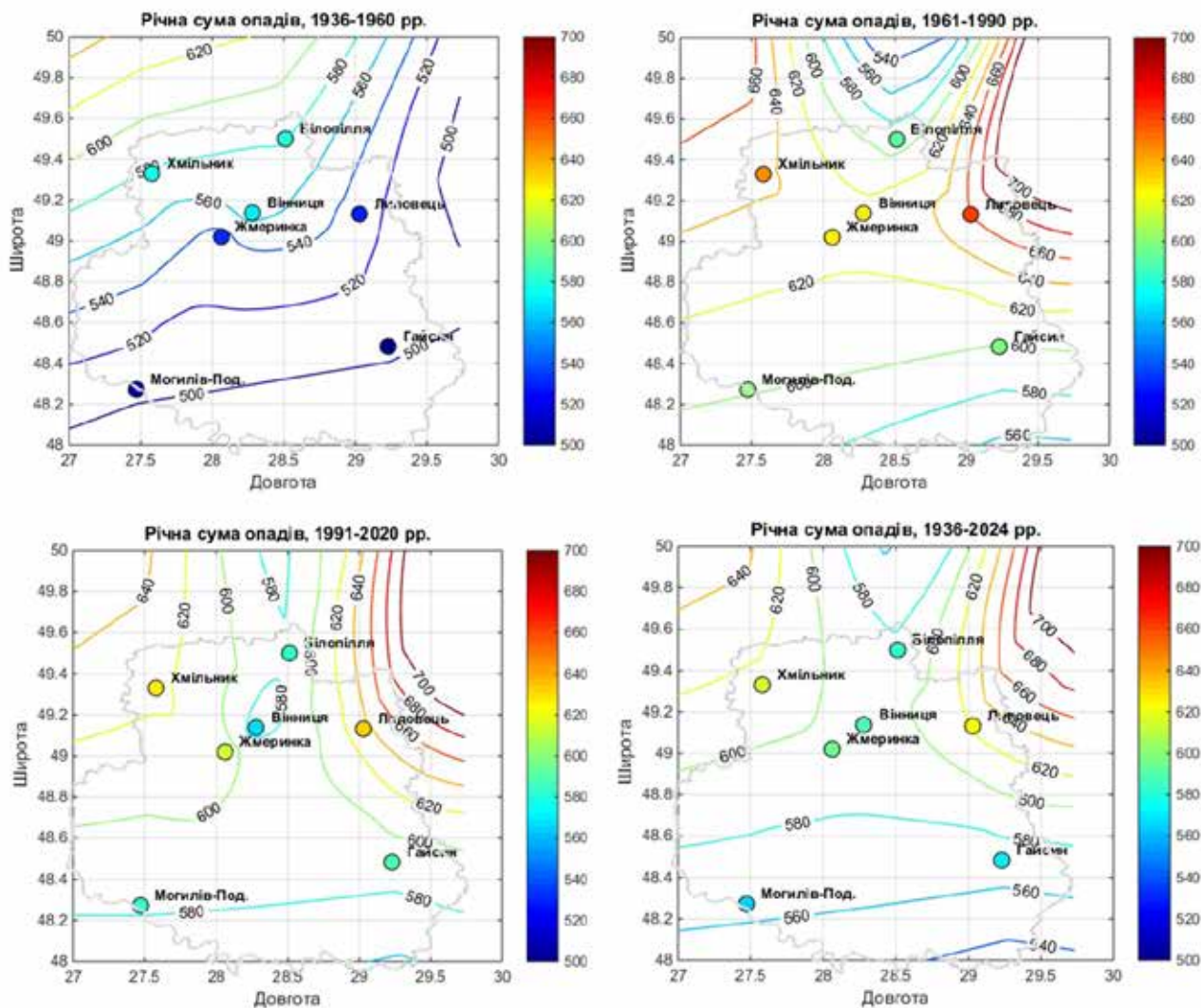


Рис. 1. Середньорічна сума опадів (мм) на станціях Вінницької області у періоди 1936–1960, 1961–1990, 1991–2020 та 1936–2024 рр.

Загалом середня річна сума опадів по області перевищувала 600 мм упродовж 1961–2010 рр., однак у 2011–2020 рр. спостерігається її зниження до 556 мм.

З 1961 по 2010 рр. найсильніші опади спостерігались на ст. Хмільник та Липовець (у середньому 652 та 663 мм), а також відносно активними опади були у Жмеринці (662 мм). В 2011–2020 рр. максимальна річна сума опадів виявилася у в Липовці та Гайсині (573 та 572 мм). За середніми багаторічними показниками найбільша кількість опадів зафіксована на станціях Хмільник та Липовець, натомість найменші значення – у Гайсині та Могилеві-Подільському.

Графіки ковзного середнього з 30-річним періодом мають найкращу візуальну узгодженість з лінійним трендом, тоді як графіки з періодом 10 та 20 років [31] виявляють періоди підвищеної інтенсивності випадіння опадів у 1970–1980-х роках ХХ століття.

На рис. 2 наведено, як графіки ковзного середнього з періодом 30 років демонструють тенденцію до зростання річної суми опадів у період 1950–1980 рр. (рис. 2). У подальший період, до 2000 року, спостерігається фаза відносної стабілізації режиму опадів на більшості метеостанцій Вінницької області, за винятком м. Вінниця, де починаючи з 1975 року фіксується стійке зниження кількості опадів, що триває до кінця періоду дослідження.

Аналогічна тенденція до зменшення річної суми опадів виявлена з початку 1990-х років на станціях Білопілья, Гайсин, Жмеринка та Липовець, причому у Гайсині це зниження є слабо вираженим.

Метод Сена, який рекомендований Всесвітньою метеорологічною організацією (WMO) для аналізу трендів кліматичних змін, зокрема температури, опадів, вологозабезпеченості та вітрового режиму, набув широкого застосування в наукових досліджен-

Таблиця 1

Середня сума опадів (мм) на станціях Вінницької області за 10- та 30-річні періоди

Періоди	Білопілья	Хмільник	Липовець	Вінниця	Жмеринка	Гайсин	Могилів-Подільський
10 років							
1936-1940	690	515	533	573	592	510	534
1941-1950	532	541	391	553	514	476	495
1951-1960	556	582	542	582	514	518	495
1961-1970	587	628	667	629	606	616	576
1971-1980	591	656	670	656	662	617	659
1981-1990	595	651	646	600	609	564	568
1991-2000	608	673	685	587	651	589	612
2001-2010	580	651	646	596	646	607	622
2011-2020	565	552	573	515	548	572	511
30 років							
1936-1960	581	557	529	571	532	503	504
1961-1990	591	645	661	628	626	599	601
1991-2020	584	625	634	566	615	589	582
1936-2024	584	614	623	590	594	570	564

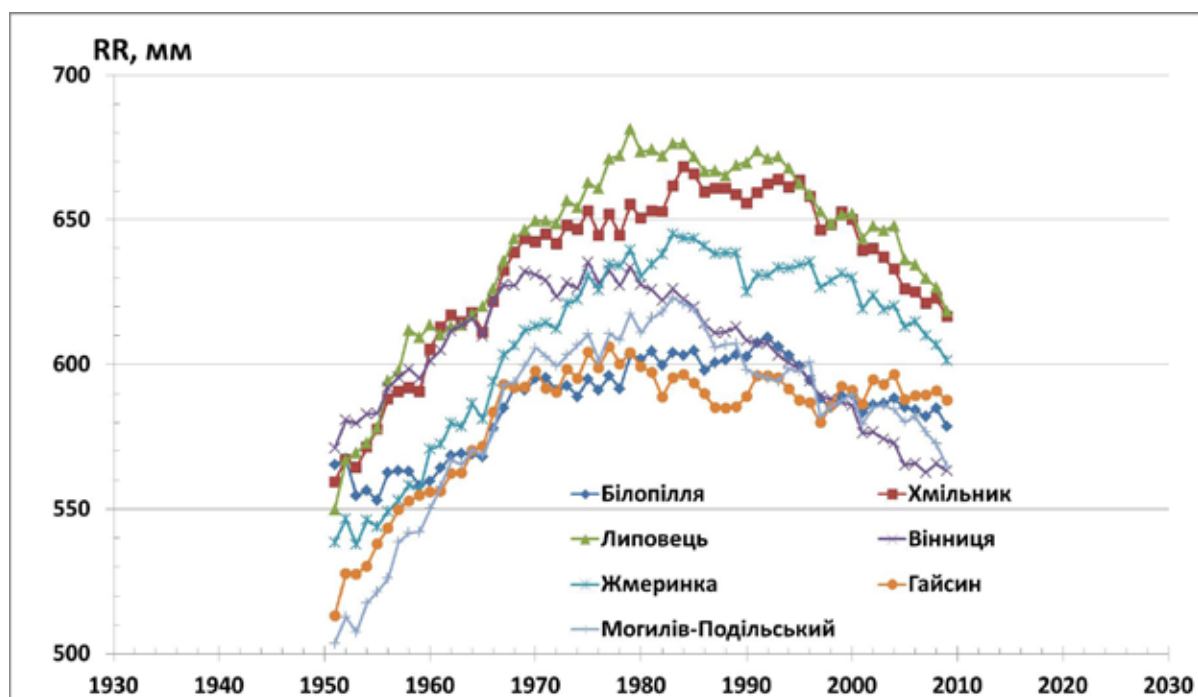


Рис. 2. Графіки ковзного середнього річної суми опадів (мм) з кроком 30 років на станціях Вінницької області з 1936 по 2024 рр.

нях [8, 30], присвячених вивченню довготривалих змін кліматичних показників.

Функція Тейла-Сена безлічі точок на площині (x_i, y_i) – це медіана m коефіцієнтів нахилу $(y_j - y_i) / (x_j - x_i)$ по всіх парах точок вибірки.

Для розрахунку тренду Сена потрібно:

– обчислити всі можливі нахили між парами спостережень

$$S_{ij} = \frac{y_i - y_j}{x_i - x_j}, \text{ для всіх } i < j$$

– визначити медіану з усіх отриманих S_{ij} :

$$\beta = \text{median}(S_{ij}),$$

де β – оцінка тренду (нахилу): середнє зростання або спадання y на одну одиницю x (наприклад, мм опадів на рік).

Розрахунок тренду Сена та візуалізація результатів проведена за допомогою скрипів MATLAB (MATrix LABoratory), в рис. 3 наведена карта просторового розподілу по станціям Вінниччини.

Аналіз багаторічних рядів спостережень засвідчив наявність негативних трендів річної кількості опадів на

метеостанціях Білопіль та Вінниця, де темпи зниження становлять відповідно $-0,19$ мм/рік та $-0,43$ мм/рік. Обидві станції розташовані у північно-східній частині області, що може свідчити про формування регіональної тенденції до зменшення річної суми опадів у північно-східному секторі території дослідження.

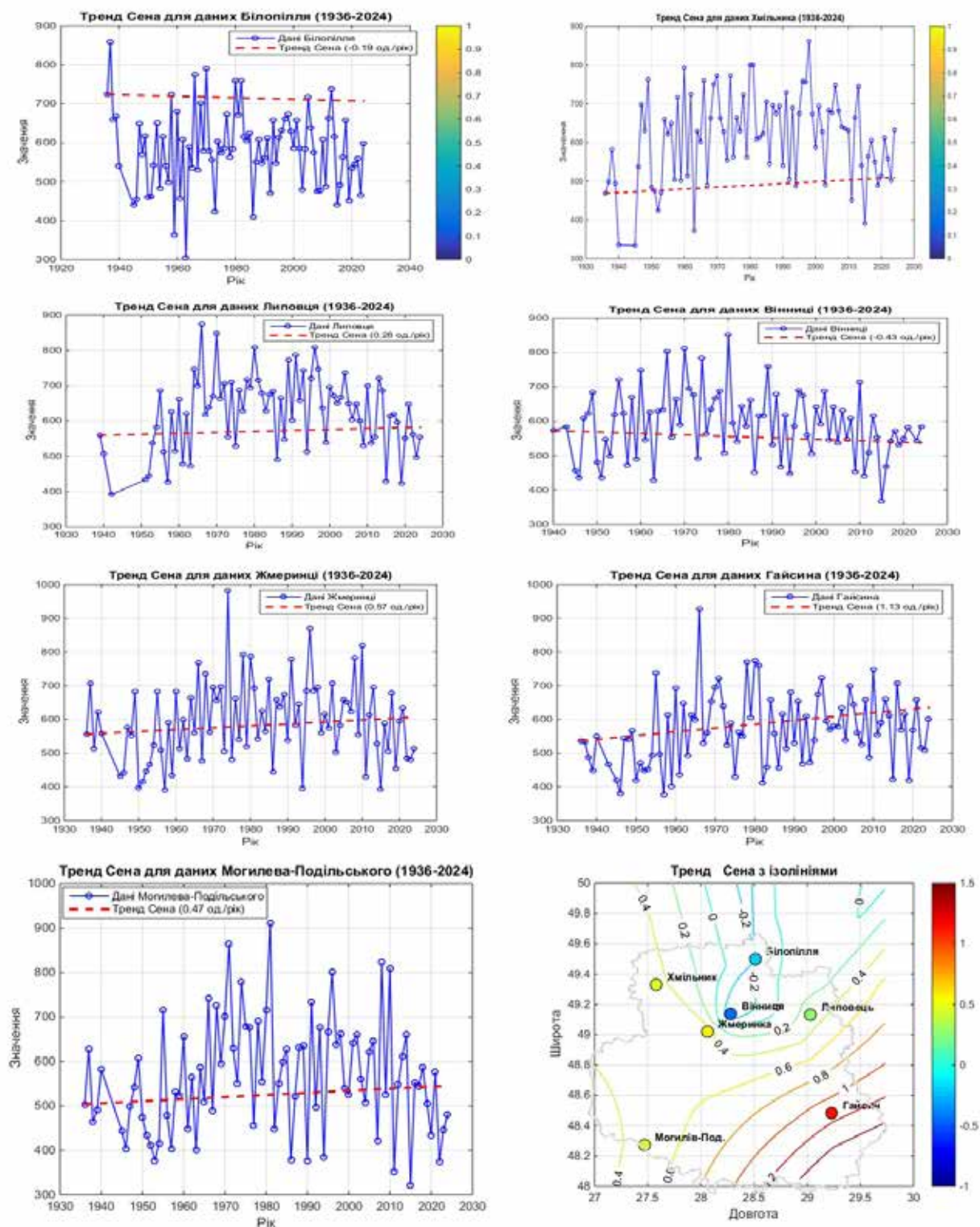


Рис. 3. Результати розрахунку тренду Сена річної суми опадів Вінницької області, 1936–2024 рр.

Водночас на метеостанціях Хмельник, Липовець, Жмеринка, Гайсин та Могилів-Подільський зафіксовано позитивні тренди, що характеризуються зростанням кількості опадів із темпами від +0,28 до +1,13 мм/рік. Найбільш виражене збільшення річної кількості опадів спостерігається у Гайсині (+1,13 мм/рік), що вказує на інтенсифікацію вологонакопичувальних процесів у південній частині регіону під впливом Подільської височини на заході області та зміно циркуляційних процесів.

Головні висновки. На станціях Вінницької області у 1936–2024 рр. найбільша річна сума опадів була на станціях Липовець та Хмельник. Максимальна інтенсивність опадоутворення зафіксована у 1970-х роках. Протягом майже п'яти десятиліть (1961–2010 рр.) річна кількість

опадів стабільно перевищувала 600 мм, що свідчить про відносно високий рівень зволоження, але у 2011–2020 рр. вона знижується. Розрахунок тренду Сена виявив стійке збільшення опадів на заході та південному заході регіону (Жмеринка, Гайсин, Могилів-Подільський) та зниження річної суми опадів на північному сході (Білопілья) та у центрі області (Вінниця).

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження уточнюють сучасні уявлення про динаміку атмосферних опадів у Центральній Україні та можуть бути використані як наукова база для подальших кліматичних, агрометеорологічних і водогосподарських досліджень, а також для формування адаптаційних стратегій у межах регіональної кліматичної політики.

Література

1. State of the Global Climate 2024 <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024>
2. Smit Chetan Doshi, Gerrit Lohmann, Norel Rambu, Monica Ionita; Spatiotemporal trend analysis of climate indices for the European continent. *Journal of Water and Climate Change*. 2023. 14 (9). P. 3112–3130. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.183>
3. Mekis É., Vincent L. An overview of the second generation adjusted daily precipitation dataset for trend analysis in Canada. *Atmosphere–Ocean*. 2011. 49 (2). P. 163–177.
4. Dettinger Michael. Climate Change, Atmospheric Rivers, and Floods in California – A Multimodel Analysis of Storm Frequency and Magnitude Changes. *Journal of the American Water Resources Association*. 2011. 47(3). P. 514–523. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00546.x>
5. Athulya R., Nuncio M., Chatterjee S., Vidya P. Characteristics of the mean and extreme precipitation in ny Ålesund, Arctic. *Atmospheric Res*. 2023. 295, 106989 DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4327570>
6. Philandras C. M., Nastos P. T., Kapsomenakis J., Douvis K. C., Tselioudis G., Zerefos C. S. Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2011. 11. P. 3235–3250, DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-11-3235-2011>
7. Ogunrinde A.T. Adeyeri O.E., Xian X., Yu H., Jing Q., Faloye O.T. Long-Term Spatiotemporal Trends in Precipitation, Temperature, and Evapotranspiration Across Arid Asia and Africa. *Water*. 2024. 16. P. 3161. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16223161>
8. Han Jiqin, Fikiru Temesgen Gelata, Samerawit Chaka Gameda. Application of MK trend and test of Sen's slope estimator to measure impact of climate change on the adoption of conservation agriculture in Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*. 2023. 14 (3). P. 977–988. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.508>
9. Song S., Bai J. Increasing Winter Precipitation over Arid Central Asia under Global Warming. *Atmosphere*. 2016. 7. P. 139. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos7100139>
10. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса, 2018. 548 с.
11. Барабаш М.Б., Гребенюк Н.П., Татарчук О.Г. Особливості зміни ресурсів тепла та вологості в Україні при сучасному потеплінні клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 174–186.
12. Гончарова Л.Д., Прокоф'єв О.М., Решетченко С.І., Черниченко А.В. Вплив атмосферних макропроцесів на просторовий розподіл опадів по території України у весняний сезон. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 5–15.
13. Гончарова Л.Д., Прокоф'єв О.М. Клімато-географічні особливості розподілу опадів на території України в осінній період. *Екологічні науки*. 2021. № 2 (35). С. 94–98.
14. Гончарова Л.Д., Прокоф'єв О.М. Статистичний підхід до вирішення задач клімато-географічних особливостей розподілу опадів літнього сезону на території України. *Екологічні науки*. 2022. № 1 (40). С. 134–139.
15. Івус Г.П. Гончарова Л.Д., Косолапова Н.І. Просторово-часове розподілення атмосферних опадів в Одеському регіоні на початку XXI століття. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. № 22. С. 16–27.
16. Хохлов В. М., Боровська Г. О., Уманська О. В., Тенетко М. С. Зміна погодних умов на території України в умовах зміни клімату. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. № 17. С. 31–37.
17. Нажмудінова О. М. Зміни поля опадів на Одещині у 2006–2014 рр. *Фізична географія та геоморфологія*. 2015. 4 (80). С. 138–144.
18. Нажмудінова О. М. Особливості повторюваності сильних опадів теплого півріччя на території України у 2007–2016 рр. *Фізична географія та геоморфологія*. 2017. 4 (88). С. 77–81.
19. Семергей-Чумаченко А.Б., Слободяник К.Л. Просторово-часовий розподіл сильних опадів над Україною протягом 1979–2019 рр. за даними реаналізу ERA5. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 26. С. 50–59. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020>
20. Слободяник К. Л., Семергей-Чумаченко А. Б., Веретнова В. О. Виникнення сильних опадів на станції Херсон за даними реаналізу ERA5 та метеорологічних спостережень. *World Science*. 2021. 11 (72) DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122021/7720

21. Ozymko, R., Semerhei-Chumachenko, A. Manivchuk, V. Spatiotemporal distribution of heavy and extreme snowfalls in the Transcarpathian region. *Időjárás – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service (OMSZ)*. 2021. 125 (3). P. 477-490. DOI: <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.3.7>
22. Семергей-Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Динаміка виникнення стихійних опадів на території Закарпатської області з 1990 по 2019 рр. *International Academy Journal «Web of Scholar»*. 2020. 5(47). P. 23-26. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7090.
23. Семергей-Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Розподіл стихійних дощів в Закарпатській області за останнє двадцятиріччя (1999-2018 рр.). *Український географічний журнал*. 2019. 4. С. 11-17. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.04.011>
24. Agayar E., Aemisegger F., Armon M., Scherrmann A., Wernli H. Precipitation extremes in Ukraine from 1979 to 2019: climatology, large-scale flow conditions, and moisture sources. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2024. 24. 2441-2459. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-24-2441-2024>
25. Agayar E. Precipitation extremes in the Ukraine: dynamical aspects, large-scale circulation and moisture sources. *EGU General Assembly 2023*, Vienna, Austria, 24–28.04.23, EGU23-2647, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-2647>.
26. Agayar, E., Armon, M., and Wernli, H.: The catastrophic floods in 2008, 2010 and 2020 in western Ukraine: Hydrometeorological processes and the role of upper-level dynamics. *EGU General Assembly 2025*. Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-5086, DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-5086>.
27. Bohushenko A., Khomenko I., Stepanenko S. Climate variability, trends and extreme events in Ukraine. *EGU General Assembly*. 2023, DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-12175>
28. Клімат України: монографія / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид.-во Раєвського, 2003. 343 с.
29. Сич Н. Г., Семергей-Чумаченко А. Б. Просторово-часовий розподіл річної суми опадів на станціях Вінницької області. *Матеріали студ. наукової конференції ОДЕКУ*. 10-19 квітня 2024. Одеса : ОДЕКУ. 2024. С. 369-373.
30. Yunus Ziya Kaya, Martina Zelenakova, Application of innovative Şen trend method to the Slovakian hydrometeorological records. *Heliyon*. 2025, Vol. 11 (6) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42991>

Дата першого надходження рукопису до видання: 15.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

УДК 551. 515.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.31>

ГРОЗОВА АКТИВНІСТЬ ХОЛОДНОГО СЕЗОНУ В УКРАЇНІ

Семергей-Чумаченко А.Б., Уманська О.В., Боровська Г.О.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Всеволода Змієнко, 2, 65082, м. Одеса

asemersey2016@gmail.com, olyaorlik@ukr.net, bga6319@gmail.com

У статті визначені особливості грозової активності холодного сезону (листопад–березень) на території України в умовах сучасних кліматичних змін. На основі даних метеорологічних спостережень за 2017–2024 рр. виявлено 144 випадки гроз, серед яких максимум припадає на березень (47 %) та листопад (31 %), тоді як взимку їх повторюваність мінімальна. Просторовий аналіз показав, що найбільша грозова активність характерна для Закарпаття та Причорномор'я, де розвиток гроз пов'язаний із проходженням південних циклонів. Порівняння з кліматичною нормою 1961–1990 років засвідчило зменшення частоти гроз і звуження зон їх поширення, особливо в південних областях, що може бути зумовлено дефіцитом опадів, зниженням вологості та ослабленням середземноморського циклогенезу. Встановлено, що у березні 2017–2024 рр. грозова активність зменшилася порівняно з 1961–1990 рр. Найчастіше грози спостерігаються у Закарпатті та центральних областях, тоді як на півдні їх частота знизилася через дефіцит вологи. У листопаді грози в Україні спостерігаються поодинокі та характеризуються тенденцією до подальшого зменшення частоти. У поточний період зони грозової активності значно звужилися, і випадки гроз фіксуються переважно у південних та південно-західних областях. Виявлено, що зимові грози формуються найчастіше у теплих секторах активних циклонів та супроводжуються опадами у вигляді снігу або снігової крупи, шквалом і короточасними електричними розрядами. Отримані результати підтверджують актуальність подальших досліджень нетипової грозової активності холодного періоду для уточнення регіональних кліматичних тенденцій та покращення методів прогнозу небезпечних метеорологічних явищ. *Ключові слова:* грозова активність, холодний сезон, конвекція, клімат України, просторово-часовий аналіз, кліматичні зміни.

Thunderstorm activity in the cold season in Ukraine. Semerhei-Chumachenko A., Umanska O., Borovska H.

The article determined the features of thunderstorm activity in the cold season (November–March) in Ukraine under the conditions of climate change. Identified 144 thunderstorms by meteorological observations for 2017–2024, among which the maximum fell on March (47%) and November (31%), while in winter their recurrence is minimal. Spatial analysis showed that the greatest thunderstorm activity is characteristic of Transcarpathia and the Black Sea region, where the thunderstorms is associated with a southern cyclones. Comparison with the climatic norm of 1961–1990 showed a decrease in the frequency of storms and a narrowing of their distribution zones, especially in the southern regions, which may be due to the deficit in precipitation, a decrease in humidity, and a weakening of Mediterranean cyclogenesis. Found a decrease in storm activity in March 2017–2024 compared to 1961–1990. Thunderstorms are most often observed in Transcarpathia and the central regions, while in the south, their frequency has decreased. In November, thunderstorms in Ukraine are observed sporadically and have a tendency to decrease. In the current period, the zones of storm activity have narrowed, and thunderstorm cases are recorded mainly in the southern and southwestern regions. Found that winter thunderstorms are formed most often in the warm sectors of cyclones and are accompanied by precipitation in the form of snow or snowflakes, squalls, and short-term electrical discharges. The results obtained confirm the relevance of further studies of atypical thunderstorm activity of the cold period to clarify regional climatic trends and improve methods for forecasting extreme weather. *Key words:* thunderstorm activity, cold season, convection, climate of Ukraine, spatiotemporal analysis, climate change.

Постановка проблеми. Грозова активність традиційно асоціюється в Україні з теплим періодом року, коли спостерігаються умови для розвитку глибокої конвекції. Проте у холодному сезоні (листопад–березень) також виникають грозові явища, які, хоча й мають меншу частоту, можуть супроводжуватися небезпечними погодними умовами – сильними опадами, налипанням мокрого снігу, шквалами та грозовими розрядами. Незважаючи на їхню потенційну небезпеку для енергетичної, транспортної та комунікаційної інфраструктури, питання просторово-часових особливостей гроз холодного сезону в Україні вивчене недостатньо. Відсутність систематизованих досліджень цієї тематики ускладнює оцінку кліматичних тенденцій і прогнозування ризиків, пов'язаних із грозовою активністю холодного періоду.

Актуальність дослідження. В умовах глобального потепління спостерігаються суттєві зміни

у просторово-часових характеристиках атмосферної циркуляції, які впливають на динаміку конвективних процесів і, відповідно, на грозову активність. Підсилення меридіональної циркуляції, збільшення кількості циклонічних вторгнень та зміщення зон баричних утворень у холодний сезон створюють передумови для появи гроз навіть у нетиповий для них період року. Для України ці зміни особливо важливі, оскільки вони впливають на частоту небезпечних явищ, структуру опадів і кліматичні ризики. Дослідження грозової активності холодного сезону має практичне значення для підвищення готовності до небезпечних погодних явищ, оптимізації енергетичних та транспортних систем і розвитку клімато-орієнтованого планування.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано згідно з цілями та завданнями,

що сформульовані в науково-дослідних роботах кафедри метеорології та кліматології факультету гідрометеорології і екології Одеського Національного Університету імені І.І. Мечникова (ФГМіЕ ОНУ ім. І.І. Мечникова) «Модернізація методів прогнозу небезпечних явищ погоди для різних регіонів України» (№ ДР 0125U000647, 2025–2029 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження грозової активності в Україні проводяться в межах ширших європейських кліматичних аналізів, де встановлено закономірності просторового розподілу та сезонності грозових явищ. Зокрема, у роботах [1, 2] показано підвищену грозову активність у Карпатському регіоні та виражений літній максимум, що узгоджується з українськими спостереженнями. Сучасні кліматичні зміни, що проявляються глобальним підвищенням температури повітря, мають значний вплив на умови формування небезпечних явищ погоди, в тому числі гроз [3–6].

Вітчизняні дослідження зосереджуються переважно на аналізі грозового режиму в теплий період року, оцінці повторюваності грозових явищ і визначенні небезпечних типів конвекції [7–16]. У цих роботах використовуються дані метеорологічних спостережень і мережі грозопеленгації, проте питання активності гроз у холодний сезон залишаються вивченими недостатньо. Грози холодного сезону переважно пов'язані з циклонами та посиленням меридіональної циркуляції, що підкреслює необхідність поглибленого аналізу грозової діяльності в Україні з урахуванням сучасних змін атмосферної циркуляції в умовах глобального потепління.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність численних досліджень, присвячених грозовій активності на території України, більшість із них зосереджені на аналізі явищ теплового сезону, коли умови для розвитку глибокої конвекції є найбільш сприятливими. У той же час, грозова активність холодного сезону залишається малодослідженою через її рідкісність, обмеженість спостережних даних і складність визначення механізмів утворення гроз за низьких температур.

Недостатньо вивченими залишаються питання впливу атмосферної циркуляції на формування грозових процесів у холодний період року, а також просторово-часові особливості їхнього прояву на території України. Необхідним є уточнення синоптичних умов виникнення таких гроз, визначення регіональних закономірностей їхньої повторюваності та оцінка тенденцій змін у контексті глобального потепління.

Метою цього дослідження є виявлення просторово-часових особливостей грозової активності холодного сезону на території України та оцінка впливу змін атмосферної циркуляції в умовах глобального потепління на її частоту.

Новизна. У межах дослідження вперше здійснено аналіз просторово-часового розподілення грозової

активності холодного сезону на території України за період 2017–2024 рр. у порівнянні з попереднім кліматичним періодом. Встановлені регіональні особливості у межах холодного сезону.

Методологічне значення дослідження полягає у вдосконаленні підходів до аналізу грозової активності в умовах холодного сезону шляхом поєднання статистичних, синоптичних та кліматологічних методів. Запропонований підхід може бути використаний для подальшого вивчення конвективних явищ у перехідні та нетипові для конвекції періоди року, а також для удосконалення методів регіонального кліматичного моделювання. Отримані результати можуть бути основою для підвищення якості прогнозів небезпечних атмосферних явищ і для розроблення методів оцінки кліматичних ризиків у контексті глобальних змін клімату.

Загальнонаукове значення дослідження полягає у розширенні уявлення про просторово-часову структуру аномальної атмосферної конвекції в умовах змін клімату. Отримані результати сприяють кращому розумінню взаємозв'язку між глобальними змінами клімату та регіональними особливостями грозових явищ. Дослідження робить внесок у розвиток сучасної кліматології та синоптичної метеорології, зокрема у вивчення процесів конвекції холодного періоду в умовах глобального потепління.

Викладення основного матеріалу. У помірних широтах грозова активність переважно спостерігається в теплий період року, коли розвиток глибокої атмосферної конвекції сприяє утворенню купчасто-дощових хмар. У зимовий сезон грози трапляються вкрай рідко (їхня повторюваність становить лише соті частки відсотка [17]) і зазвичай пов'язані з осередками так званої «зануреної» або слабко розвиненої конвекції, що формується на тлі переважання шарувато-подібної хмарності.

Відповідно до [18], будь-яка гроза класифікується як небезпечне метеорологічне явище I рівня небезпечності (НМЯ I), що відповідає жовтому рівню безпеки. Таким чином, за ступенем впливу на життєдіяльність населення та функціонування господарського комплексу країни, гроза належить до погодніх явищ, які можуть спричинити певні ускладнення та тимчасові порушення у діяльності окремих галузей і сфер життєзабезпечення.

На території України зимою грози виникають дуже рідко [17], на сході (Сумська, Харківська, Луганська області) вони взагалі не зафіксовані. На решті території третина зимових гроз буває один раз за 10–15 років, а більша частина (55 % усіх зимових гроз) – один раз за 20–25 років. Пізньоосінні грози спостерігаються в Україні майже кожного року, але через глобальне потепління процеси літнього типу можуть повторюватися у холодне півріччя.

Зимова гроза є справді рідкісним явищем для території України, проте формується за аналогічних фізичних умов, що й у теплий період року. Для

її розвитку необхідна наявність енергії нестійкості, достатньо зволоженої повітряної маси, інтенсивного зниження температури з висотою та тригерного механізму, який ініціює вертикальні рухи повітря. Якщо температура у верхній частині хмарного шару досягає приблизно -22°C , ймовірність виникнення грозового розряду істотно зростає.

Як правило, зимові грози супроводжуються інтенсивними опадами у вигляді снігу чи снігової крупи, хуртовинами та шквалистим посиленням вітру. Прогнозування таких явищ залишається складним завданням навіть за використання сучасних чисельних моделей погоди. Типовою синоптичною ситуацією для виникнення гроз у холодний сезон є теплі сектори активних південних циклонів, у межах яких уздовж холодних фронтів із високою швидкістю переміщення формуються конвективні купчасто-дощові хмари. На відміну від літніх гроз, зимові характеризуються невеликою кількістю блискавок і короткочасністю, що зумовлено недостатньою кількістю енергії для підтримання стійкої конвекції [7, 12, 15].

В цьому дослідженні днем з грозою вважався день, коли хоча б на одній метеорологічній станції області була зафіксована хоча б одна гроза в холодне півріччя (з листопада по березень) з 2017 року по 2024 рік. Використовувалась інформація з сертифікованого доступу до програмного забезпечення АРМсин в центрі прогнозів погоди ОНУ ім. І.І. Мечникова та була проаналізована кількість днів з грозою по всім областям України.

Виявлено, що за період дослідження над територією України спостерігалось 144 випадків грози (табл. 1), частіше за все грози виникали у березні та листопаді, причому у березні вони виникали щорічно. Максимальна Мінімальна грозова активність відмічалася у березні 2017 р. (24 днів з грозою) та у листопаді 2023 р. (19 днів з грозою). Найменша грозова активність припадала на грудень – 4 грози за 8 років. В цілому, взимку було 32 грози з максимумом повторюваності у лютому 2020 р., а зимою 2017 р. не

спостерігалось жодної зимової грози, в 2018 та 2021 була лише одна гроза.

По роках максимальна активність фіксувалася у (рис. 1) 2023 р. та становила 36 випадків на рік, також значною виявилася грозова діяльність у 2017 та 2019 рр. – 17 та 13 гроз на рік. Мінімальною вона була у 2018 р. – лише одна гроза у грудні та дві у березні.

Для виявлення просторового розподілення грозової активності холодного періоду побудовані карти середньої та абсолютної кількості гроз по областях України (рис. 2–5), де сірим кольором вказані території з яких відсутні дані у період дослідження. Кожна карта має пояснення щодо кольорової шкали.

У більшості областей України грози холодного сезону є поодинокими і короткочасними, а у 77 % регіонів середня кількість днів з грозою 0,25–1,00, а половина попадає у градацію 0,50–0,75 (рис. 2). Найменша грозова активність (0,00–0,25 днів) спостерігається на заході Українського Полісся та Буковини. Помірна активність (0,51–1,00 днів) охоплює центральні області (Черкаська, Полтавська, Кіровоградська) і частину Поділля, можливо через періодичний вплив середземноморських циклонів, що приносять теплі та вологі повітряні маси. Підвищена активність (1,01–1,50 днів) зафіксована в південно-східних областях (Харківська, Дніпропетровська, Запорізька, Миколаївська, частково Херсонська). Більш активно (1,51–2,00 днів) грози виникали в Одеській та Кіровоградській областях через пересування фронтальних зона активних циклонів, які проходять із південного заходу або Чорного моря. Максимальні значення (2,01–3,00 днів) спостерігаються в Закарпатській області – регіоні, де грозова діяльність підтримується орографічними ефектами (вплив Карпат) і контрастами повітряних мас. У гірських районах часто утворюються локальні грозові осередки навіть за слабко вираженої конвекції.

Порівняння карт територіального розподілення гроз у березні виявляє загальне зменшення грозової

Таблиця 1

Кількість днів з грозою на метеостанціях України у холодний сезон 2017–2024 рр.

Роки	Місяці					
	IX	XII	I	II	III	IX-III
2017	3	0	0	0	24	27
2018	0	1	0	0	2	3
2019	3	1	1	1	17	23
2020	2	0	2	11	1	16
2021	9	0	1	0	1	11
2022	8	1	3	1	2	15
2023	19	1	1	2	13	36
2024	0	0	1	4	8	13
2017-2024	44	4	9	19	68	144



Рис. 1. Розподілення кількості днів з грозою над Україною у холодний сезон 2017–2024 рр.

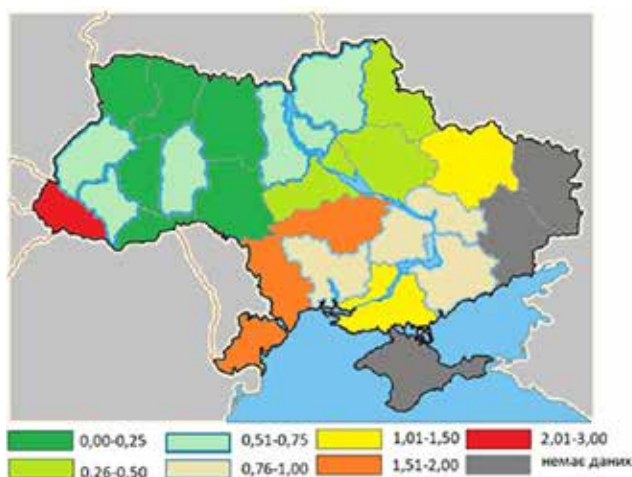


Рис. 2. Середня кількість днів з грозою по областях України у холодний сезон 2017–2024 рр.

активності (рис. 3) у сучасний період (2017–2024) порівняно з кліматичною нормою 1961–1990 рр. [19]. У минулому грози в березні були поширенішими у південно-західних і південних регіонах, тоді як у сучасний період активність на півдні знизилася і змістилася ближче до центральних областей. Найвища грозова активність в обидва періоди у Закарпатській області, що зумовлено орографічним впливом Карпат і підвищеною вологістю повітря. Загалом грози у березні відзначалися переважно на заході та південному заході України. На більшій частині території (Волинська, Львівська, Рівненська, Чернігівська, Київська, Черкаська області) частота гроз знизилася до 0,26–0,75 днів, а на Житомирщині у березні не було жодної грози. У південних регіонах (Одеська, Миколаївська, Херсонська) також спостерігається помітне зниження частоти гроз порівняно з 1961–1990 рр., що може бути пов'язано з дефіцитом опадів і зменшенням вологості повітря у ранньовесняний період.

У період 2017–2024 рр. грозова активність у березні помітно знизилася та стала більш локалізованою, що може бути індикатором зміни атмосферної циркуляції в умовах глобального потепління, коли ранньовесняні процеси характеризуються зменшенням вологості та нестійкості повітря.

У листопаді спостерігається зниження частоти гроз на більшій частині території України (рис. 4) у сучасний період (2017–2024 рр.) порівняно з кліматичною нормою 1961–1990 рр. Якщо раніше поодинокі грози фіксувалися навіть у північних і західних регіонах, то нині вони стали ще рідкіснішими, а зони активності скоротилися переважно до південно-західної частини країни (Кіровоградська, Одеська, Миколаївська та Херсонська області – 0,51–1,00 днів). У 1961–1990 рр. найвищі показники спостерігалися в Автономній Республіці Крим, що зумовлено впливом Чорного моря, теплого морського повітря та активністю середземноморських циклонів. Також підвищена активність була харак-

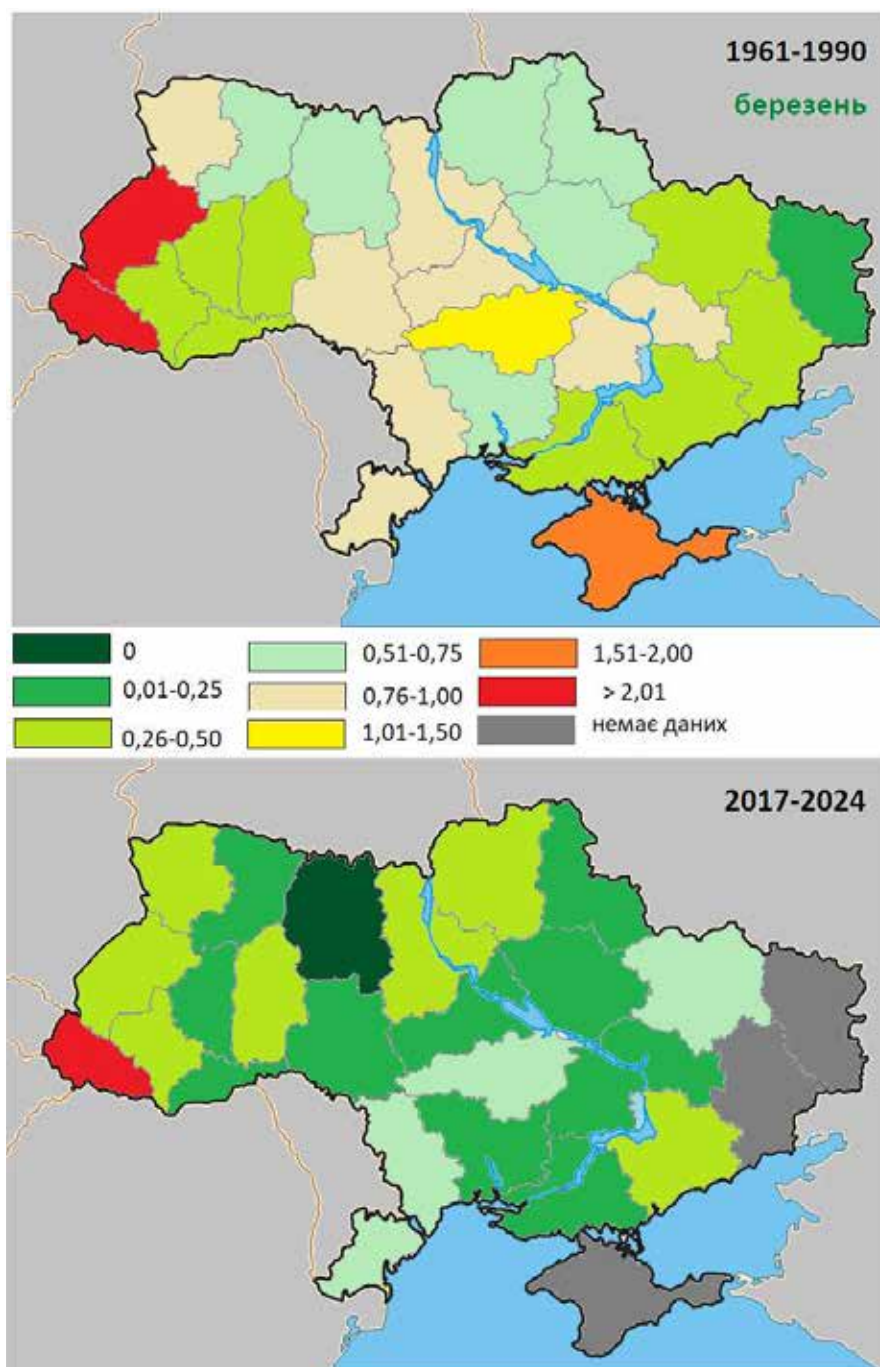


Рис. 3. Середня кількість днів з грозою по областях України у березні 1961–1990 та 2017–2024 рр.

терна для Закарпатської області, де розвиток гроз підтримується орографічними процесами та високою вологістю повітря.

На сучасному етапі зони грозової активності значно звузилися, Закарпатська область зберігає незначну активність (до 0,25 днів), проте кількість випадків зменшилася порівняно з кліматичною нормою, а регіони на захід від Київської та Кіровоградської областей характеризуються повною відсутністю гроз у листопаді. Можливо це пов'язане зі зменшенням частоти циклонів

з Середземного моря та зміною їх траєкторії у пізньоосінній період.

Взимку порівняння періодів не виконувалося через відсутність даних про зимові грози у [19]. Від 2017 по 2024 рр. на території України спостерігалось 32 грози з максимумом у лютому (рис. 5), причому на початку зими кількість гроз раптово знижувалася – з 44 у листопаді до 4 гроз у грудні.

З грудня по лютий грози в Україні є надзвичайно рідкісним явищем – більша частина території позначена темно-зеленим кольором (0 днів з грозами).

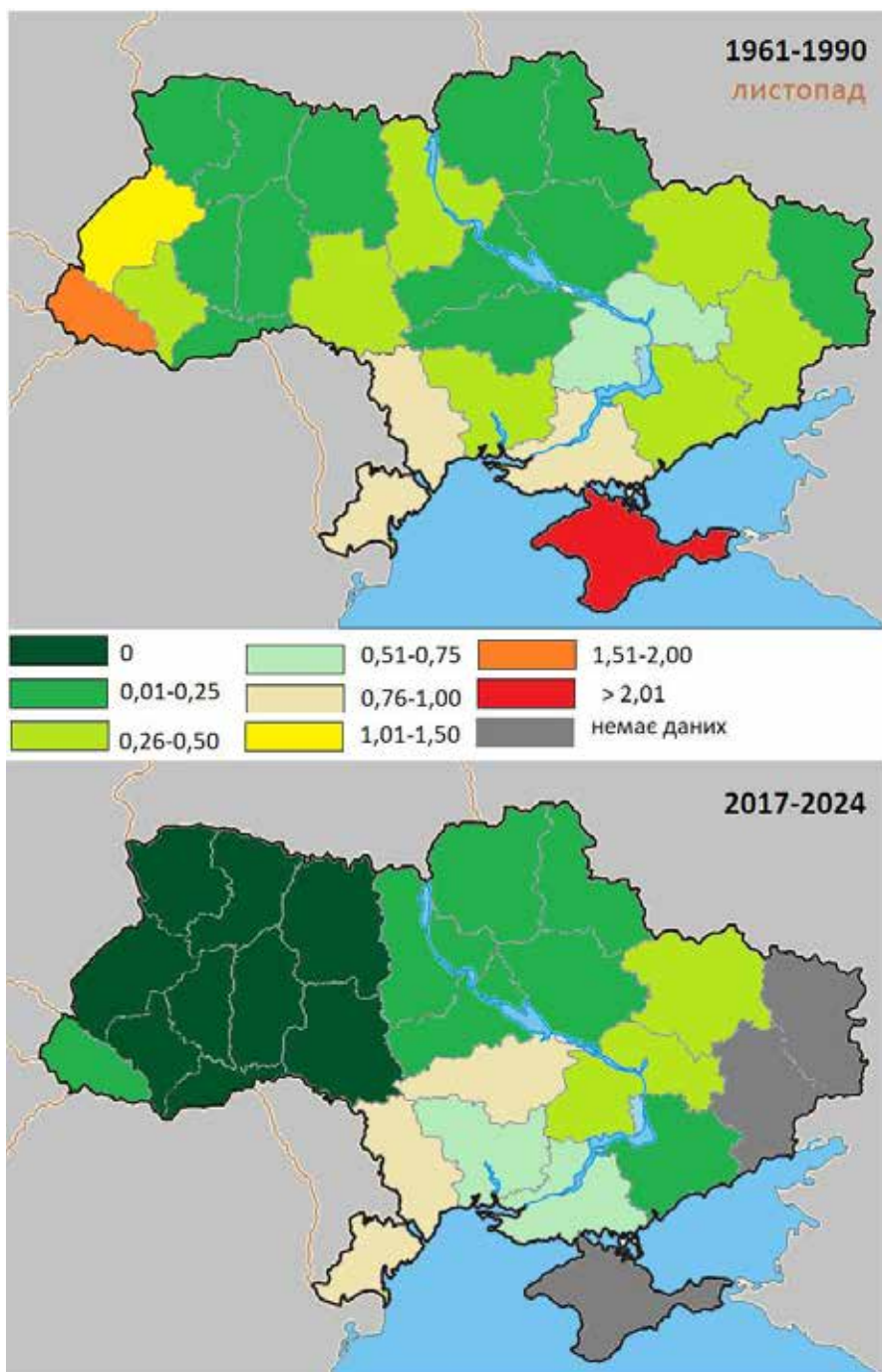


Рис. 4. Середня кількість днів з грозою по областях України у листопаді 1961–1990 та 2017–2024 рр.

Характерною особливістю грудня 2017–2024 рр. є відсутність активності в Карпатах, але січні та лютому вона відновлюється, проте зупиняється у лютому на Одещині через зниження температури Чорного моря.

Головні висновки. Грозова активність у холодний сезон в Україні є нетиповим явищем, що може відображати сучасні кліматичні зміни. У період 2017–2024 рр. зафіксовано 144 випадки гроз, найбільше у березні та листопаді, тоді як у зимові місяці їхня повторюваність мінімальна. Найактивнішими

регіонами залишаються Закарпаття, південний захід і південні області, де грози пов'язані з проходженням південних циклонів. Простежується зниження грозової активності та звуження її просторового поширення.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження уточнюють сучасні уявлення про утворення гроз на території України у холодний період та можуть бути використані як наукова база для оновлення кліматичного забезпечення регіонів України.

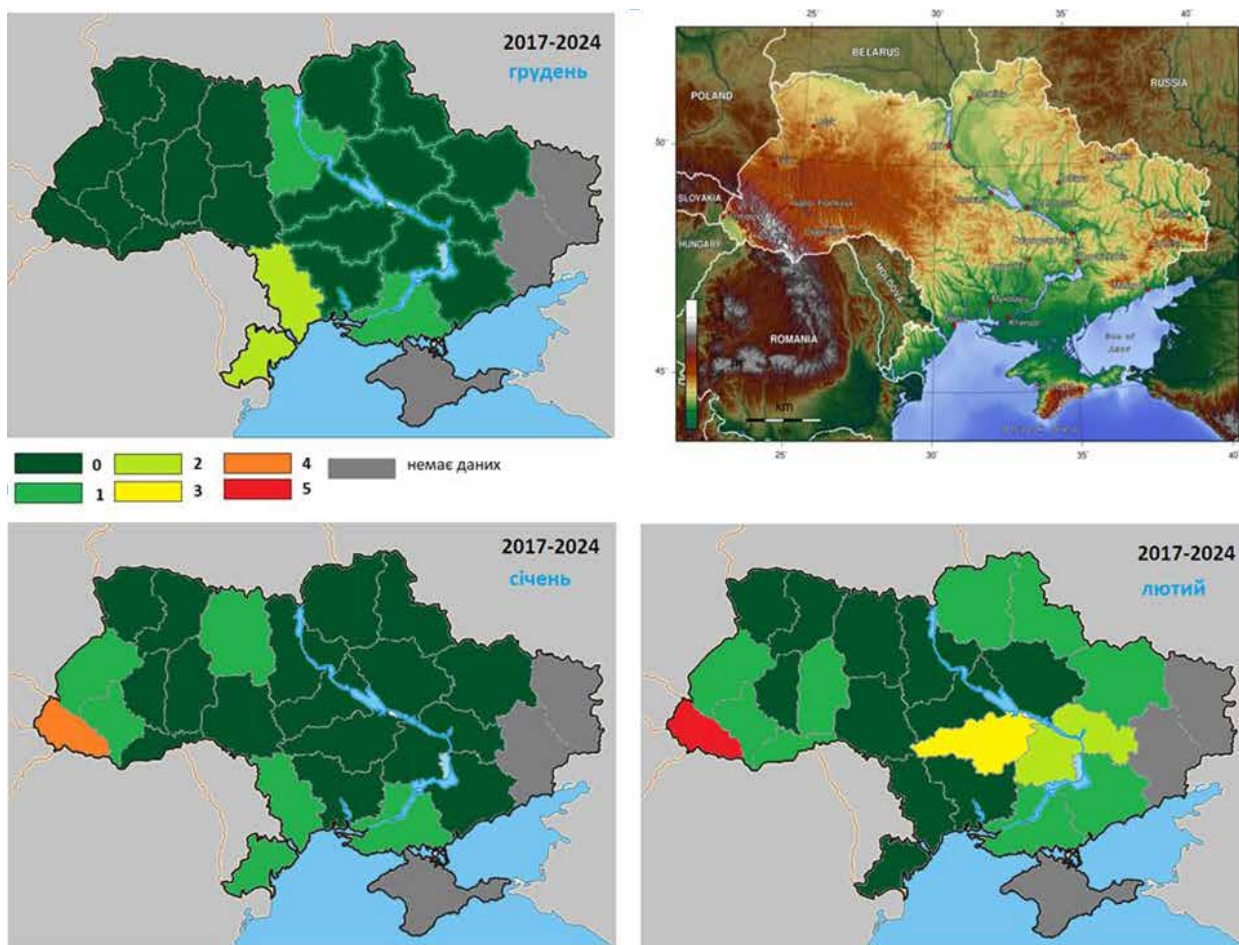


Рис. 5. Кількість днів з грозою по областях України взимку 2017–2024 рр.

Література

1. Taszarek, M. and Coauthors. A Climatology of Thunderstorms across Europe from a Synthesis of Multiple Data Sources. *Journal of Climate*. 2019. 32, p. 1813–1837, DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0372.1>.
2. Morgenstern D., Stucke I., Mayr G.J., Zeileis A., Simon T. Thunderstorm environments in Europe. *Weather and Climate Dynamics*. 2023. 4. P. 489–509. DOI: <https://doi.org/10.5194/wcd-4-489-2023>
3. Tippett M. K., Allen J. T., Gensini V. A., Brooks H. E. Climate and Hazardous Convective Weather. *Curr. Clim. Change Rep.*, 2015, P. 60–73. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0006-6>.
4. Balabukh Vira, Lavrynenko Olena, Bilaniuk Volodymyr, Mykhnovych Andriy and Pylypovych Olha. Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes. *InTech*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77306>
5. Хохлов В. М., Боровська Г. О., Уманська О. В., Тенетко М. С. Зміна погодних умов на території України в умовах зміни клімату. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. № 17. С. 31–37.
6. Хохлов В.М., Сіріченко К.С., Уманська О.В. Вплив змін клімату на періоди холодної погоди в Україні. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. № 22. С. 39–44
7. Мацук Ю. М. Зміни грозової активності на території України в XX та на початку XXI ст. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2013. № 39. С. 147–151.
8. Міщенко Н.М., Панова Я.Л., Грушевський О.М. Нижньорівнева адвекція вологи як тригерний механізм атмосферної конвекції та предиктор її прогнозу. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 28–37. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.03>
9. Нажмудінова О. М. Грозова діяльність над Харковом. *Вестник ГМЦ ЧАМ*, 2018, 1 (21). С. 20–29.
10. Недострелова Л.В., Чумаченко В.В. Часовий розподіл гроз на АМСЦ Одеса на початку XXI століття. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. Вип. 27, С. 16–23. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.02>
11. Недострелова Л.В., Даус М.С., Чумаченко В.В. Аналіз просторово-часової мінливості грозової активності на території Північно-Західного Причорномор'я на початку XXI століття. *Екологічні науки*. 2025. 58. С. 135–140. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.23>

12. Семергей-Чумаченко А. Б., Жук Д.О., Візнюк Р.О. Режим та умови утворення гроз в Одеській області. *World Science*. No 4 (82), 2023, DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122023/8080
13. Федонюк В.В., Федонюк М.А., Павлусь А.М. Дослідження грозової діяльності на Волині та в Україні за даними онлайн-ресурсу Blitzortung, *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. Вип. 28, С. 16-28. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.02>
14. Щербань І.М., Ганчук А.В. Динаміка повторюваності гроз на півночі України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2016. No 2. С. 83-88.
15. Заболоцька Т. М., Підгурська В. М., Шпиталь Т. М. Грозова діяльність на території України. *Наукові праці Укр. НДГМІ*. 2007. № 256. С. 92-98.
16. Боровська Г. О. Виявлення та прогноз розвитку грозових осередків у різних регіонах України. *Тези 79-й конференції професорсько-викладацького складу і наукових працівників ОНУ імені І.І. Мечникова*. 2024. С. 204-207.
17. Ліпінський, В.М., Дячук, В.А., Бабіченко, В.М. (Ed.). *Клімат України*. Київ: 2023, Видавництво Расвського, 343 с.
18. Гумоненко Л.В., Жук Н.Г., Савченко Л.І., Ткач В.О. *Настанова з метеорологічного прогнозування*. Київ: УкрГМЦ, 2019. https://www.meteo.gov.ua/f/pro_nas/normativni_akt/Nastanova%20z%20meteoprognozuvannia.pdf
19. Кліматичний Кадастр України (електронна версія) / Державна гідрометеорологічна служба. Центральна Геофізична Обсерваторія. Київ, 2006

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

УДК 72.012:711.4:502.131.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.32>

РОЛЬ ЕКОДИЗАЙНУ В АДАПТАЦІЇ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ДО ЗМІН КЛІМАТУ: ПРИКЛАДИ З УКРАЇНСЬКИХ МІСТ

Сірук І.М.

Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
cranberry2204@gmail.com

У статті розглядається роль екодизайну як ключового інструменту адаптації міського середовища України до кліматичних змін. Визначено, що сучасні українські міста стикаються з посиленням проявів урбаністичних та кліматичних ризиків – підвищенням середньорічної температури, утворенням «теплових островів», підтопленнями територій і зниженням якості повітря. Екодизайн у цьому контексті розглядається як сукупність природоорієнтованих рішень, спрямованих на підвищення стійкості міських екосистем та формування комфортного середовища для життя населення.

Проаналізовано ключові підходи екодизайну – зелені дахи, зелені парковки, зелені зупинки, вертикальне озеленення, пермеабельні покриття, системи дощового дренажу, міські сади та кишенькові парки. Особливу увагу приділено прикладам українських міст: Києва, Львова, Рівного, Дніпра, Вінниці, Чернівців, Житомира, Харькова, Одеси де впроваджуються практичні рішення, спрямовані на зменшення кліматичних ризиків і покращення мікроклімату. У Києві активно впроваджуються вертикальні сади та зелені дахи на громадських будівлях, у Львові – дощові сади й «зелені вулиці», у Харкові – модульні зелені системи для зменшення теплового ефекту, Рівне реалізує проекти зі створення зелених зон серед бетону, в Одесі – озеленення прибережних зон, у Чернівцях – кліматичні проекти в рамках ініціативи SUN4Ukraine, у Житомирі та Вінниці проводяться реконструкції набережних та екоінфраструктури навколо річок. Зразковим прикладом «зелених дахів» є місто Дніпро.

Вивчено природорієнтовані рішення в європейських містах. Доведено, що екодизайнерські підходи мають подвійний ефект: екологічний (підвищення біорізноманіття, покращення якості повітря, зменшення парникових викидів) та соціальний (зростання комфорту мешканців, підвищення привабливості міського простору). Практична значущість полягає у формуванні рекомендацій для органів місцевого самоврядування, архітекторів і урбаністів щодо інтеграції екодизайну в містобудівну політику. *Ключові слова:* екодизайн, міське середовище, адаптація, кліматичні зміни, урбаністика.

The role of ecodesign in adapting the urban environment to climate change: examples from Ukrainian cities. Siruk I.

The article examines the role of ecodesign as a key tool for adapting the urban and environment of Ukraine to climate change. It is determined that modern Ukrainian cities are facing increasing manifestations of urban climate risks – rising average annual temperatures, the formation of “urban heat islands,” flooding of territories, and declining air quality. In this context, ecodesign is considered as a set of nature-based solutions aimed at enhancing the resilience of urban ecosystems and creating a comfortable environment for residents.

The key approaches to ecodesign are analyzed – green roofs, green parking lots, green public transport stops, vertical greening, permeable surfaces, stormwater drainage systems, urban gardens, and pocket parks. Special attention is paid to examples from Ukrainian cities: Kyiv, Lviv, Rivne, Dnipro, Vinnytsia, Chernivtsi, Zhytomyr, Kharkiv, and Odesa, where practical solutions are being implemented to reduce climate risks and improve the microclimate. In Kyiv, vertical gardens and green roofs are actively introduced on public buildings; in Lviv, rain gardens and “green streets” are developed; in Kharkiv, modular greening systems are applied to mitigate the heat island effect; Rivne implements projects for creating green spaces among concrete areas; in Odesa, coastal zones are being greened; Chernivtsi participates in climate projects within the SUN4Ukraine initiative; while in Zhytomyr and Vinnytsia, riverfronts and eco-infrastructure are being reconstructed. Dnipro serves as an exemplary case of green roof development.

Nature-based solutions in European cities have also been studied. It is proven that ecodesign approaches have a dual effect: ecological (increasing biodiversity, improving air quality, reducing greenhouse gas emissions) and social (enhancing residents’ comfort and the attractiveness of urban spaces). The practical significance of the study is the development of recommendations for local authorities, architects, and urban planners on integrating ecodesign into urban development policies. *Key words:* ecodesign, urban environment, adaptation, climate change, urban planning.

Постановка проблеми. У ХХІ столітті міста стають найбільш вразливими до змін клімату. Українські мегаполіси та середні міста вже стикаються з проблемами: літні теплові хвилі, підвищене енергоспоживання, підтоплення після злив, дефіцит зелених насаджень. Традиційні містобудівні підходи не відповідають новим викликам, тому необхідно шукати комплексні рішення, серед яких екодизайн відіграє важливу роль. Кліматичні зміни вже не сприймаються як віддалена загроза – їхні наслідки ми відчуваємо щодня. Повністю зупинити цей процес неможливо, проте реально досягти цілей із

пом’якшення його впливу та адаптації. Це потребує формування на рівні громад ефективної кліматичної та екологічної політики, що передбачатиме впровадження природоорієнтованих рішень, спрямованих на збереження довкілля та забезпечення екологічної безпеки населення.

Актуальність дослідження. За даними служби зміни клімату Коперніка, середня температура повітря в країні за останні 30 років зросла більш ніж на 1,2 °С. Останні десять років були найспекотнішими за всю температурних історію спостережень [1]. У містах спостерігається ефект «теплого острова»,

що збільшує ризик для здоров'я населення, зокрема літніх людей і дітей. Адаптація міського середовища стає обов'язковою умовою для забезпечення стійкого розвитку [2]. Екодизайн пропонує інноваційні, відносно маловитратні й ефективні рішення.

Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями. Головна задача – адаптувати міське середовище, яке буде стійким до кліматичних ризиків за рахунок взаємодії урбаністики, екології та дизайну. Роль екодизайну в адаптації міського середовища до змін клімату інтегрує сучасні наукові підходи взаємозв'язку урбаністичного містопланування й екологічної стійкості громад. Досліджування проводилися в рамках науково-дослідних тем кафедри лісового та садово-паркового господарства Поліського національного університету «Формування стійких лісових і паркових насаджень в умовах еколого-кліматичних змін Полісся України» (державний реєстраційний номер 0115U0067350), «Особливості стану лісових і міських насаджень в умовах кліматичних змін» (державний реєстраційний номер: 0125U002166).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зарубіжних працях (Panlasigui S., Spotswood E., Beller E., Grossinger R.) розглянуто концепцію «біофільного міста» [3]. Біофільний дизайн є частиною екологічного дизайну, який виник на початку ХХІ століття, як зв'язок між природою та людством у міському середовищі шляхом мінімізації шкоди зеленим насадженням та здоров'ю людини [4]. Дослідження зелених конструкцій, як інструменту для зменшення шумового забруднення в містах проводили Van Renterghem T., Botteldooren D., Tadeu A., Carrilho J., Almeida J [5]. Зелені дахи та зелені стіни були визнані рішеннями, що можуть покращити акустичну ізоляцію будівель та водночас знизити рівень шуму навколишнього середовища [6] Науковці Holanda M., Soares C., Souza W. провели оцінку поглинання дощової води зеленими дахами, як ефективної альтернативи у боротьбі з інтенсивними повеннями [7]. Енергетичні та екологічні переваги зелених дахів вивчили Perivoliotis D., Arvanitis I., Tzavali A. [8]

Українські науковці (Галушкіна Т.П., Мусіна Л.А., Потапенко В.Г.) акцентують на зеленій інфраструктурі, однак питання екодизайну як адаптаційного механізму залишалося фрагментарним [9]. Зелена інфраструктура є важливим елементом розвитку стійких і комфортних міст. Завдяки інвестиціям у зелену інфраструктуру міські простори стають більш привабливими, безпечними й екологічно чистими для життя. Обґрунтування стійкості рослинних компонентів для зеленої інфраструктури в контексті природоорієнтованих рішень провели (Максименко Н., Гололобова О., Щербань В., Погоріла М.) [10]. Проаналізувала перспективи розвитку садів на штучних основах у м. Києві провела Колесніченко О. [11], а Чвириова О. дослідила озеле-

нення відкритих громадських просторів, як важливий екологічний аспект у процесі містобудування [12]. Дослідження проблем утримання зелених зон, як формування комфортного міського середовища провела Косик О. Вона акцентує увагу на важливості озеленення вільних територій, зокрема створення зелених парковок та застосовування вертикального озеленення фасадів позитивно впливають на екологію міста й здоров'я його мешканців [13]. Роль зелених конструкцій у зменшенні шумового забруднення міст аналізували Шумбар К.В., Щербак А.І. [14]. Ефективне озеленення прибудинкових територій міст потребує особливого підбору рослин з врахуванням змін клімату [15].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна. Незважаючи на окремі позитивні приклади, в Україні відсутня цілісна стратегія екодизайну міст, а більшість проєктів реалізуються локально [16]. Необхідні дослідження, що поєднують практичний досвід із науковим обґрунтуванням. Вперше здійснено системний аналіз прикладів українських міст із точки зору екодизайну як інструменту кліматичної адаптації, з урахуванням ефективності реалізованих рішень.

Новизна роботи полягає у комплексному аналізі практик екодизайну в Україні з акцентом на їхню роль у кліматичній адаптації.

Методологічне або загальнонаукове значення. Використано міждисциплінарний підхід: аналіз документів, польові заміри, порівняння до і після впровадження рішень. Методологічна цінність цього дослідження полягає у застосуванні комплексного міждисциплінарного підходу, що поєднує аналіз нормативних документів, архітектурне планування, екологію, урбаністику та геомоніторинг. Такий підхід забезпечує глибоке вивчення процесів адаптації міського середовища до змін клімату за допомогою екодизайну. Загальнонаукове значення полягає в тому, що результати дослідження можна застосовувати як репрезентативні підходи. Зокрема, у різних кліматичних умовах і типах міст – від західноукраїнських Чернівців до прибережної Одеси, із промисловим Харковом та поліським Житомиром.

Викладення основного матеріалу. Природоорієнтовані рішення (Nature-Based Solutions, NBS) в Європі активно впроваджуються в містобудуванні, екологічному менеджменті та адаптації до зміни клімату. Це один із головних напрямів Європейського зеленого курсу та стратегії ЄС з біорізноманіття до 2030 року. Лідерами з упровадження NBS у Європі є: Відень і Париж (масштабне озеленення дахів та фасадів), Роттердам (розвиток) інноваційної «водної архітектури», Барселона (трансформація міського простору у зелені зони), Мілан («вертикальні ліси», поєднання архітектури та біорізноманіття), Копенгаген (адаптація до зміни клімату та управління водними ресурсами) [16].

Велику Британію цілком можна вважати одним із лідерів у розвитку кишенькових парків. Зокрема, у 2013–2015 роках у Лондоні було реалізовано масштабну програму, на яку міська влада виділила 2 мільйони фунтів стерлінгів. У результаті за короткий час у 26 районах столиці з'явилося понад 100 нових зелених просторів [16].

Київ є одним із піонерів впровадження практик екодизайну в Україні, що пов'язано як із високою щільністю забудови, так і з нагальною потребою адаптації міста до змін клімату [17]. У столиці реалізуються проекти зелених дахів та системи утримання дощових вод, що знижують ризики підтоплення. Наприклад, зелений дах у житлових комплексах «Комфорт Таун» (*фото 1, фото 2*), «Новопечерські Липки», «Tetris Hall», бізнес-центрах «Гулівер», «ASTARTA» [11]. Основні функції зелених дахів – це зниження температури поверхонь на 20–25 °C у літній період, накопичення дощових опадів, зменшення навантаження на зливову каналізацію. З додаткового ефекту – створення мікрокліматичних умов для відпочинку мешканців та поглинання шуму. Крім зелених

дахів в місті Києві наявні вертикальні сади [11] (ЖК «Skyline», ЖК «Time», «Business Center», дощові садки (Парк «Наталка», Парк «Кристерова Гірка» та озеленені тераси (ТРЦ «Ocean Plaza», готель «11 Mirrors», ЖК «Комфорт Таун». Дощові садки допомагають утримувати дощову воду й зменшують навантаження на каналізацію. Озеленені тераси створюють додаткові рекреаційні зони в щільно забудованому місті. Вертикальні сади ефективні для зниження температури, ослаблення шуму та очищення повітря.

Такий різнобічний досвід дає змогу Києву поступово перейти до екодизайну із комплексним підходом – від фасадів до дахів та громадських просторів [18]. Враховуючи щільну забудову міста Києва, важливим є створення так званих кишенькових парків «rocket park». У нормативно-правових актах України поняття «кишеньковий парк» офіційно не зафіксовано. Кишеньковий парк – це міський простір для інновацій та пропозицій. В Києві «rocket park» можна побачити на вул. Небесної сотні, вул. Петра Вершигори. А в одному з столичних готелів в Пушчі-

Таблиця 1

Порівняльна таблиця природоорієнтованих рішень у Європі

Місто	Приклад NBS	Опис рішення	Основні ефекти
Копенгаген (Данія)	Climate Adaptation Plan, «зелені дахи», «площі-резервуари»	Перетворення міських площ на «водні резервуари» під час злив, масове впровадження зелених дахів	Захист від повеней, зменшення теплових островів, покращення мікроклімату
Роттердам (Нідерланди)	Water Squares, зелена інфраструктура	Площі, що збирають дощову воду, система каналів, зелені дахи	Управління зливовими водами, захист від підтоплень, створення рекреаційних зон
Барселона (Іспанія)	Superblocks («суперблоки»)	Перетворення цілих кварталів у пішохідно-зелені простори	Зменшення автомобільного руху, чисте повітря, більше зелені
Мілан (Італія)	Bosco Verticale («Вертикальний ліс»)	Житлові вежі з сотнями дерев і кущів на фасадах	Поглинання CO ₂ , зниження шуму, підвищення біорізноманіття
Відень (Австрія)	Зелені дахи та фасади, міське садівництво	Субсидії на озеленення дахів і фасадів, розвиток «urban farming»	Зменшення спеки, енерго-ефективність, продовольча безпека
Берлін (Німеччина)	Parks as sponges («парки-губки»)	Парки з водоаккумуляційними системами, що збирають і утримують опади	Захист від зливових підтоплень, охолодження міста
Лондон (Велика Британія)	Daylighting річок «Pocket park»	Відновлення річок	Відновлення біорізноманіття, рекреаційні простори, покращення дренажу
Париж (Франція)	Озеленені дахи (закон 2015 року)	Вимога: нові комерційні будівлі мають мати зелений дах або сонячні панелі	Очищення повітря, акумуляція дощової води, виробництво енергії
Осло (Норвегія)	Відновлення річки Акерсельва, міські ліси	Відновлення водних екосистем, збереження зелених поясів	Зменшення паводків, збереження дикої природи у місті
Гельсінкі (Фінляндія)	Smart Green Infrastructure	Поєднання цифрових технологій з NBS: сенсори для моніторингу зелених зон	Ефективне управління кліматичними ризиками, комфорт для мешканців



Фото. 1, Фото 2. Дощовий сад й зелений дах у житловому комплексі «Комфорт Таун» у м. Києві [16]

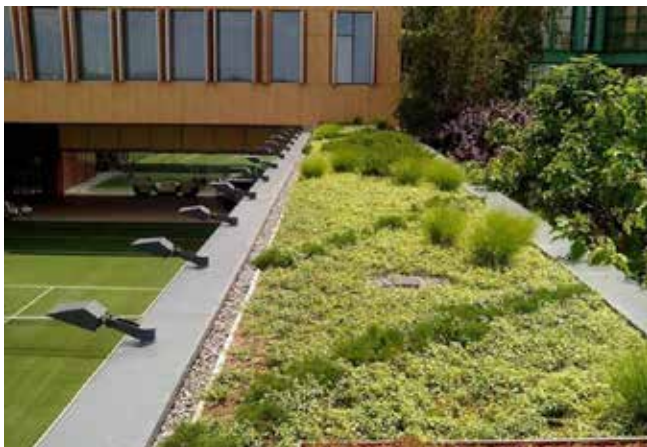


Фото. 3, Фото 4. Зелений дах на Вілла Олімпія та зелений дах у торговельному центрі «Каскад Плаза», м. Дніпро [16]

Водиця впроваджене екологічне рішення з зеленою парковкою [16].

Яскравим прикладом «зелених дахів» є місто Дніпро. Наприклад, зелений дах у Вілла Олімпія (фото 3) та зелений дах у торговельному центрі «Каскад Плаза» (фото 4). Озеленення даху у Вілла Олімпія занесено до міжнародного професійного каталогу компанії ZinCo GmbH. Компанія ZinCo GmbH заснована у 1957 році в Німеччині.

ZinCo GmbH спеціалізується на системних рішеннях для «зелених дахів» – від легких екстенсивних систем до складних інтенсивних парків на покрівлях. Працює у понад 40 країнах світу через партнерську мережу.

У Львові активно впроваджується концепція «зелених вулиць» із використанням пермеабельних покриттів та проєктуванням екологічних скверів [19]. Також у місті Львів створено перший в Україні дощовий сад (фото 5) та першу еко-зупинку [16]. На місці дощо-

вого саду було погане освітлення й дуже часто збиралося багато сміття. Волонтери усе прибрали й зробили простір більш придатним для загального користування. Рослини поглинають воду з даху будинку який розташований біля зеленої стіни. Ти самим зменшується підтоплення підвальних приміщень й підмивання фундаменту самого будинку [16]. З позитивного екологічного ефекту, є те що температура повітря на декілька градусів нижча біля дощового саду. Для створення зеленої зупинки Львівські активісти посадили на даху невибагливі до умов зовнішнього середовища рослини – очитки, сукуленти [16].

Крім зеленої зупинки у Львові можна побачити зелену парковку для автомобілів (фото 6) біля Українського католицького університету. А в парку «Залізна вода» облаштовано громадський сад-город. Отже, місто Львів впевнено крокує до боротьби із зміною клімату, шляхом популяризації екологічних напрямів у ландшафтній архітектурі [20].



Фото 5. Дощовий садок у місті Львів [16]



Фото 6. Зелена зупинка для автомобілів у місті Львові біля Українського католицького університету [16]

Місто Рівне реалізує проекти зі створення зелених зон серед бетону, так зване «розбетонування вулиць». Простори із зеленими вуличними меблями це чудове рішення у місцях, де мало дерев або їх взагалі не має. Міський зелений острівець слугує місцем для відпочинку містян, зустрічей та творчих бесід [16].

Вінниця стала одним із найуспішніших прикладів в Україні, де реконструкція набережної була реалізована з урахуванням принципів екодизайну та сталого розвитку міського середовища [21]. Використано прийоми зеленого озеленення проти теплового ефекту міста: рослини створюють природне затінення, знижують температуру повітря та поверхні плитки. Простір демонструє приклад того, як можна поєднати екологію, урбаністику та естетику у межах міського ландшафту [22].

Житомир став одним із перших українських міст, що приєдналося до Угоди мерів щодо клімату та енергії. В місті було проведено реконструкцію (фото 7) прибережних зон річки Тетерів.

Чернівці належать до провідних українських міст-учасників міжнародної ініціативи SUN4Ukraine, яка підтримує громади на шляху до досягнення кліматичної нейтральності. У межах проекту українські міста отримують можливість розробляти власні плани кліматичної нейтральності та налагоджувати партнерство з європейськими учасниками.

У Харкові важливим напрямом є відновлення парків і зелених зон, які виконують роль природних бар'єрів проти перегріву міста та сприяють рекреації населення. Запропоновано рекомендації щодо впровадження модульного озеленення,



Фото 7. Реконструкція прибережної зони річки Тетерів у місті Житомир

спрямованого на зменшення проявів ефекту теплового острова, очищення та регулювання поверхневого стоку [23]. В промзонах м. Харків обґрунтовано доцільність впровадження концепції зеленої інфраструктури як ключового інструменту забезпечення сталого розвитку міської урбосистеми [24].

В Одесі екодизайн реалізується через облаштування прибережних зон, що одночасно зменшують ерозію ґрунтів і створюють комфортний громадський простір [25].

Висновки. Зміни клімату потребують адаптаційних стратегій на рівні міст. Екодизайн є перспективним напрямом розвитку міського середовища в Україні, що дозволяє одночасно підвищити екологічну стійкість та комфорт життя населення. Досвід Києва, Львова, Рівного, Вінниці, Житомира, Харкова, Одеси, демонструє, що інтеграція природоорієнтованих рішень у міське планування є необхідною умовою адаптації до змін клімату. Необхідно

забезпечити інтеграцію екодизайну в державні будівельні норми.

Перспективи використання результатів дослідження. Порівняння досвіду європейських та українських міст свідчить, що екодизайн значно знижує негативні наслідки кліматичних змін у містах. Ефективними є зелені дахи та стіни, системи управління дощовими водами, збільшення зелених зон. Водночас залишається проблема фінансування проєктів та недостатня інтеграція екодизайну в державні програми розвитку. Крім того, важливо розвивати співпрацю між міською владою та закладами вищої вищої освіти. Така співпраця забезпечує підготовку фахівців у різних сферах – екології, ландшафтного дизайну, менеджменту садово-паркових об'єктів, урбаністики, біології, технології захисту навколишнього середовища, прогнозуванні та оцінюванні ризиків. Подальші дослідження мають бути спрямовані на кількісну оцінку ефектів екодизайну для здоров'я населення, економіки та біорізноманіття.

Література

1. Copernicus Climate Change Service. Global Climate Highlights 2024. URL: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024> (дата звернення: 27.09.2025).
2. Клімат та міста: як вижити адаптуватися / за ред. О. Шевченко. Львів:, 2018. 43 с.
3. Panlasigui S., Spotswood E., Beller E., Grossinger R. Biophilia beyond the building: Applying the tools of urban biodiversity planning to create biophilic cities. *Sustainability*. 2021. 13(5). P. 2450 <https://doi.org/10.3390/su13052450>
4. Milliken S., Kotzen B., Walimbe S., Coutts C., Beatley T. Biophilic cities and health. *Cities Health*. 2023. 7(2). P.175–188. <https://doi.org/10.1080/23748834.2023.2176200>
5. Van Renterghem T., Botteldooren D. Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. *Building and Environment*. 2009. 44. P. 1081– 1087. 10.1016/j.buildenv.2008.07.013
6. Tadeu A., Carrilho J., Cortês A., Ferreira F., Almeida J. Acoustic absorption, scattering, and diffusion provided by green roof systems. *Building and Environment*. 2024. 262.P. 111778. 10.1016/j.buildenv.2024.111778
7. Holanda M., Soares C., Souza W., Oli-veira L. Green roofs: An alternative for the reducti-on of surface runoff in the city of Recife. *PE. Azojete*. 2021. 17(4). P. 561–568. URL: <https://azojete.com.ng/index.php/azojete/artic-le/view/541>
8. Perivoliotis D., Arvanitis I., Tzavali A. et al. Sustainab-le urban environment through green roofs: A literature review with case studies. *Sustainability*. 2023. 15(22). P. 142–148. <https://doi.org/10.3390/su152215976>

9. Основні засади впровадження моделі «зеленої» економіки в Україні : навч. посіб. / Т.П. Галушкіна, Л.А. Мусіна, В.Г. Потапенко та ін. ; за наук. ред. Т.П. Галушкіної. – К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 154 с.
10. Максименко Н. В., Гололобова О. О., Щербань, В. І., Погоріла М. В. Впровадження стійких рослинних компонентів в зелену інфраструктуру в контексті природоорієнтованих рішень. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. 35. С. 58-71.
11. Колесніченко О. В., Яценко Я. В. Досвід, проблеми та перспективи розвитку садів на штучних основах у міському середовищі Києва. *Scientific Bulletin of UNFU*. 35(3).2025. С. 25-32. <https://doi.org/10.36930/40350303>
12. Чвириова О. Принципи організації ландшафтних систем відкритих громадських просторів міст. *Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування*. 2025. (71). С. 385–396. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.71.385-396>
13. Косик О., Ксенія. Формування комфортного міського середовища засобами ландшафтного дизайну. Теорія і практика дизайну. 2021. 23.С. 134–140. <https://doi.org/10.18372/2415-8151.23.16279>
14. Шумбар К.В., Щербак А.І., Василенко Л.О. Роль зелених конструкцій у зменшенні шумового забруднення міст. *Міжн. наук.-практ. конф. за участю молодих науковців «Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2024» 24 жовтня 2024*, Харків. С. 167-170.
15. Дерев'яно Н.П., Кобець О.В., Мельнікова І.О. Рекомендації щодо озеленення прибудинкових територій багатоповерхівок для кліматичних умов міста Запоріжжя: практичний посібник / ГО «Екосенс». Запоріжжя, 2023. 43 с.
16. Каталог природоорієнтованих рішень / авт. кол.: М. Рябика, О. Гусакова, А. Зозуля, А. Бушовська та ін. Львів: УКМ, 2021. 116 с.
17. Дьомін М.М., Олійник О.П. Аналіз мережі громадських просторів Києва на основі конфігураційних моделей. *Наук.-тех. Збірник: Містобудування і територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2022, вип. 79. С. 148–163.
18. Міський парк стає новим місцем життя та активності громади. Громадська організація «Чиста планета». [Електронний ресурс] URL: <http://welfare.green/miskijj-park-staeh-novim-miscem-zhittya-ta-aktivnosti-gromadi/> (дата звернення 25.09.2025)
19. Habrel M. Озеленені території міст і оточення. пошук шляхів оптимізації екологічних відносин у концепції «великого Львова». *Містобудування та територіальне планування*, (72). 2020, С. 41–61. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.72.41-61>
20. Габрель М., Хром'як Й., Габрель, М., Форкуца Л. Процеси і явища у приміській зоні Львова як великого «тилового» міста. стан, оцінка та оптимізація містобудівних рішень у контексті формування агломерацій. *Містобудування та територіальне планування*, (88), 2025. 15–38.
21. Бондар А. В., Максименко, М. А. Перспективи розвитку водно-зелених територій міста Вінниці. ВНТУ, 2025. С. 1-5.
22. Осаулко Д. Є., Бондар А. В. Проблематика створення ефективної планувальної організації воднозелених територій міста Вінниці. *Енергоефективність в галузях економіки України-2023 : матеріали міжнар. наук.-техн. конф.*, м. Вінниця, 21-23 листопада 2023 р. Вінниця, 2023. С. 176-179.
23. Бурченко С. В. Можливості розширення зеленої зони міста Харків з використанням об'єктів зеленої інфраструктури та природо-орієнтованих рішень. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XVI Всеукраїнських наукових Таліївських читань: Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна*, 2020. С. 21-22.
24. Максименко Н. В., Бурченко С. В. Оцінка можливості реалізації концепції зеленої інфраструктури для Харківської області. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доп. 9-ї міжнар. наук.-тех. конф.*: Баку, Харків, Жиліна: ВА ЗС АР, НТУ «ХП», ДП «ХНДІ ТМ», УмЖ, 2019. С. 82.
25. Пантюхіна О. Ю. Актуальні завдання та прийоми реабілітації міських прибережних озелених територій. *Досвід та перспективи розвитку міст України*, (31). 2016. С. 218-228.

Дата першого надходження рукопису до видання: 06.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ

УДК 502.17(477+061.1ЄС)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.33>

СУЧАСНИЙ СТАН ЗАПОВІДНОЇ СПРАВИ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

Гордій Н.М.

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
вул. Огієнка, 61, 32300, м. Кам'янець-Подільський
nataliagordiy3103@gmail.com

Заповідна справа є ключовим елементом збереження біорізноманіття та природних екосистем. В умовах глобальних екологічних викликів Україна та країни ЄС прагнуть забезпечити ефективне функціонування природоохоронних територій. Заповідна справа є в усіх основних складових природоохоронної діяльності, що має на меті збереження біорізноманіття, захист рідкісних та зникаючих рослин і тварин, а також збереження природних ландшафтів для майбутніх поколінь. Ця проблема стає все актуальнішою в умовах глобальних екологічних змін, таких як кліматичні зміни, зниження рівня біорізноманітності та зростаючий антропогенний тиск на природні екосистеми. В Україні та країнах Європейського Союзу питання заповідної справи мали велике значення, оскільки вони мають спільні виклики, але водночас кожна країна має свої унікальні підходи до цієї сфери. У статті досліджено сучасний стан заповідної справи в Україні та країнах Європейського Союзу з урахуванням міжнародних підходів до збереження природних комплексів і біорізноманіття. Підкреслено, що природно-заповідний фонд України охоплює близько 7% території держави, тоді як у більшості країн ЄС цей показник становить понад 18–20%. Охарактеризовано основні категорії природоохоронних територій України, зокрема біосферні та природні заповідники, національні парки, заказники й пам'ятки природи, а також визначено ключові проблеми їхнього функціонування: недостатнє фінансування, недосконале управління, антропогенний тиск та обмежений рівень залучення місцевих громад. Розкрито досвід Європейського Союзу, де провідним інструментом охорони природи виступає мережа Natura 2000, створена відповідно до Директив про птахів та оселища. Вона охоплює понад 27 тис. об'єктів та поєднує охорону унікальних природних територій із можливістю здійснення традиційного господарювання, що не шкодить довкіллю. Показано, що важливою особливістю є широке залучення місцевих громад, розвиток екологічної освіти та екотуризму, які забезпечують баланс між охороною природи та економічними інтересами. Здійснено порівняльний аналіз підходів України та ЄС, виявлено спільні риси й відмінності. Обгрунтовано, що для успішної інтеграції у європейський екологічний простір Україні необхідно розширювати площу заповідних територій, зміцнювати науковий супровід управління, забезпечувати стабільне фінансування та активно розвивати просвітницькі програми. Таким чином, адаптація української заповідної справи до європейських вимог є стратегічним напрямом, що сприятиме збереженню природної спадщини, підвищенню екологічної безпеки та поглибленню інтеграції України до європейських структур сталого розвитку. *Ключові слова:* заповідна справа, охорона природи, заповідність, біорізноманіття, євроінтеграція, природно-заповідний фонд, Natura 2000, екологічна політика.

Current status of the conservation in Ukraine and European Union countries. Hordii N.

Conservation is a key element in preserving biodiversity and natural ecosystems. In the face of global environmental challenges, Ukraine and EU countries strive to ensure the effective functioning of protected areas. Conservation is present in all major components of environmental protection activities, which aim to preserve biodiversity, protect rare and endangered plants and animals, and preserve natural landscapes for future generations. This problem is becoming increasingly relevant in the context of global environmental changes, such as climate change, biodiversity loss, and increasing anthropogenic pressure on natural ecosystems. In Ukraine and the European Union countries, conservation issues were of great importance, as they have common challenges, but at the same time, each country has its own unique approaches to this area. The article examines the current state of nature reserves in Ukraine and the countries of the European Union, taking into account international approaches to the preservation of natural complexes and biodiversity. It is emphasized that the nature reserve fund of Ukraine covers about 7% of the country's territory, while in most EU countries this figure is over 18–20%. The main categories of protected areas in Ukraine are characterized, including biosphere and nature reserves, national parks, reserves, and natural monuments, and the key problems of their functioning are identified: insufficient funding, imperfect management, anthropogenic pressure, and limited level of involvement of local communities. The experience of the European Union is revealed, where the leading instrument for nature protection is the Natura 2000 network, created in accordance with the Birds and Habitats Directives. It covers over 27 thousand objects and combines the protection of unique natural areas with the possibility of carrying out traditional management that does not harm the environment. It is shown that an important feature is the broad involvement of local communities, the development of environmental education and ecotourism, which ensure a balance between nature protection and economic interests. A comparative analysis of the approaches of Ukraine and the EU was carried out, common features and differences were identified. It was substantiated that for successful integration into the European ecological space, Ukraine needs to expand the area of protected areas, strengthen scientific support for management, ensure stable financing, and actively develop educational programs. Thus, the adaptation of Ukrainian nature reserves to European requirements is a strategic direction that will contribute to the preservation of natural heritage, increased environmental safety, and deeper integration of Ukraine into European structures of sustainable development. *Key words:* conservation, nature protection, nature reserve, biodiversity, European integration, nature reserve fund, Natura 2000, environmental policy.

Постановка проблеми. Заповідна справа є ключовим напрямом природоохоронної діяльності, що забезпечує збереження біорізноманіття, природних екосистем та генетичних ресурсів. В умовах глобальних екологічних викликів, таких як зміна клімату, втрата видів та деградація ландшафтів, зростає потреба у розширенні мережі заповідних територій та підвищенні їхньої ефективності. Заповідна справа є головною складовою екологічної політики кожної країни, яка дбає про збереження довкілля для майбутніх поколінь.

Серед екологічних проблем, які останнім часом привертають все більшу увагу громадськості, належать організація роботи із збереження та сталого використання природоохоронних територій, приведення екологічного законодавства до європейських стандартів. І це не випадково, адже заповідна справа зараз переживає глибоку кризу, яка створює загрози не тільки для погіршення стану збереження унікальних природних цінностей, але й для знищення багатьох природних екосистем та рідкісних видів рослин і тварин.

В Україні система природоохоронних територій є однією з наймолодших у Європі, що зумовлено історичними, економічними та політичними факторами. Утім, повномасштабна війна суттєво погіршила стан заповідної справи, спричинивши руйнування природних територій, знищення біорізноманіття та ускладнення управління заповідниками. Натомість у країнах Європейського Союзу заповідна справа базується на багаторічних традиціях і підтримується уніфікованою екологічною політикою. ЄС активно впроваджує ініціативи, спрямовані на охорону природи [1].

Вивчення цього питання є особливо актуальним для формування стратегій відновлення природних територій України після завершення війни та її інтеграції до європейського екологічного простору.

Метою статті є порівняння підходів до заповідної справи в Україні та країнах ЄС; аналіз перешкод і проблем, що заважають Україні досягти європейського рівня природоохоронної діяльності, а також виявлення можливостей для інтеграції кращих практик ЄС у систему заповідної справи України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з роботами Європейської комісії, ключовими факторами успіху є інтеграція природоохоронної діяльності у всі сектори економіки. В Україні, за даними Міністерства захисту довкілля, розвиток заповідної справи залишається складним через недостатнє фінансування та недосконале законодавство [4]. У ЄС діє мережа Natura 2000, яка охоплює понад 27% суші. Водночас в Україні заповідні території становлять близько 7% площі країни, що значно нижче за середньоевропейський показник [7].

Для аналізу було використано порівняльний підхід, що включає: аналіз законодавчої бази України та ЄС; оцінку площі заповідних територій; дослі-

дження стану фінансування заповідників; аналіз даних про біорізноманіття та ефективність охорони. Джерелами даних були офіційні звіти, наукові публікації та статистичні дані за період 2015–2023 рр. [2, 4, 6, 8].

Виклад основного матеріалу. Незворотність суспільних процесів, становлення та розвиток природно-заповідного фонду в Україні останнім часом зазнає значних трансформацій. Це пояснюється, насамперед, змінами, що відбуваються в економіці більшості країн світу під впливом глобалізації, об'єднання європейських країн та створення між ними ринкового простору. На сьогодні вже стало зрозуміло практично для всіх теоретиків і практиків, що початок ХХІ століття поставив цілу низку проблем перед людством щодо формування і розвитку заповідних територій як умови збереження біорізноманіття і ландшафтів.

Заповідна справа в Україні. В Україні заповідна справа має довгу історію, проте значного розвитку вона набула після проголошення незалежності у 1991 році. До цього періоду система охорони природних територій в Україні була більш централізованою та меншою гнучкою, проте після набуття незалежності було започатковано низку реформ для створення сучасної структури заповідних територій. На сьогодні в Україні налічується близько 7% територій, які перебувають під охороною, включаючи державні природні заповідники, національні природні парки, природні заказники, заказники та інші охоронювані території [5].

Система природно-заповідного фонду (ПЗФ) країни є різноманітною та включає понад 10 видів охоронюваних територій. Протягом 2023 року в Україні створили 119 нових територій природно-заповідного фонду в 16 областях та Києві. Загальна площа нових об'єктів ПЗФ становить 13646 га. Також розширили межі 12 територій та об'єктів у різних областях. Статус 6 об'єктів скасували [10].

Так, ще у травні 2020 року Європейська Комісія презентувала, можливо, найамбітніший природоохоронний документ в історії Європи – «Стратегію біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя». Стратегія містить конкретні зобов'язання та дії, які мають бути виконані на території ЄС до 2030 року. Серед цілей були: 30% суходолу та 30% морських акваторій повинні стати заповідними територіями; 10% сільсько-господарських угідь мають бути виведені з обробітки і відновлені до природних екосистем; використання пестицидів має скоротитися на 50%; 25 тис. км річок потрібно відновити до стану вільноплинних [8].

Звичайно, зараз у важкий для країни і населення час, Україна не може виконати норму у 30%, що міститься у Стратегії біорізноманіття, і наші європейські партнери це розуміють. Натомість ми маємо інші зобов'язання в рамках Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, підписаної у 2014 році.

Угода про асоціацію стала основою для Державної стратегії сталого розвитку [9], в якій прописано, що до 2030 року Україна має заповідати 15% від загальної площі країни. Сьогодні наша країна наблизилась до цілі менш ніж на половину.

Проте, завдяки значним успіхам у створенні заповідних територій, існує низка проблем, таких як недостатнє фінансування природоохоронних заходів, що демонструє ефективний моніторинг та управління охоронюваними територіями, а також високий рівень антропогенного навантаження. Однією з важливих ініціатив є створення екологічних коридорів, які дозволять з'єднати різні природні території, забезпечуючи збереження біорізноманітності та природних процесів. Українська система охорони природних територій активно співпрацює з міжнародними екологічними організаціями, зокрема, за допомогою різноманітних фінансових та технічних проектів.

Однак, з 24 лютого 2022 року приблизно 812 об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) площею майже 1 млн га опинилися в зоні активних бойових дій або в окупації [2, 4]. Так, Нижньодніпровський національний природний парк, Чорноморський біосферний заповідник, Кінбурнська коса, заповідник «Асканія-Нова» до війни при згадці кожного з них ми уявляли мальовничі пейзажі, унікальний рослинний та тваринний світ, який перебував під захистом. Але сьогодні ці заповідні землі Миколаївщини та Херсонщини потерпають від військової агресії. З кожним днем кількість збитків, які завдає екології війна, постійно зростає, і навіть їх повністю оцінити дуже важко. Адже воєнні дії тривають і проводити моніторинг на місцях неможливо. Крім того, більша частина цих територій перебуває під окупацією. Але вже зараз зрозуміло, що відновлення екосистем буде тривати кілька десятиліть. А деякі наслідки нанесеної шкоди можуть бути непоправними.

Частина територій була звільнена, але втрати залишилися. Наприклад, лише в межах Чорнобильського заповідника було знищено близько 24 тис. га лісів. Національний парк Святі Гори, що на Донеччині, знищений на 80%. Постраждали від пожеж та обстрілів національні природні парки Білобережжя Святослава, де згоріло більше 6 тисяч гектарів територій, Нижньодніпровський, який після теракту на Каховській ГЕС повністю опинився під водою, та багато інших [2].

Природоохоронний статус не зник, але кількість недоторкованої природи під охороною значно зменшилась. При цьому, не лише воєнні дії призводять до знищення природи, значна частина випадків пошкодження природних територій припадає на господарську діяльність такі, як забруднення водою агрохімікатами, розорювання полів, незаконні рубки тощо.

Заповідна справа в країнах Європейського Союзу. Європейський Союз має одну з найрозвинутіших систем охорони природи в світі. Підхід до

заповідної справи в країнах ЄС відзначається високим рівнем інтеграції національних політик у загальноєвропейську стратегію охорони природи.

Екологічна мережа «Natura 2000» – це система природоохоронних територій, яка створюється на території Європейського Союзу. Основними законодавчими актами, які передбачають її створення, є: Директива Ради 92/43/ЄЕС від 21 травня 1992 року про збереження природних оселищ та дикої фауни і флори; Директива Європейського Парламенту і Ради 2009/147/ЄС від 30 листопада 2009 року про збереження диких птахів [1].

Мережа Natura 2000 – найбільша в світі мережа природоохоронних територій, яка охоплює понад 18% території ЄС. Інституційна структура охорони природи в країнах ЄС визначає значну роль національних урядів, регіональних адміністрацій та міжнародних організацій.

Особливо важливою є стратегія «Зеленої угоди» ЄС, яка передбачає до 2030 року зберегти 30% земель і водних територій Європи під охороною, в тому числі за рахунок розширення мережі Natura 2000. Крім того, ЄС активно підтримує проект з екологічних коридорів, що об'єднують охоронювані території між країнами, таким чином забезпечуючи стабільне збереження біорізноманітності та природних ландшафтів. Завдяки спільним зусиллям країн-членів ЄС досягає великих успіхів у збереженні важливих екосистем, зокрема лісів, боліт, водно-болотних угідь та морських екосистем. Проте є і проблеми: у деяких регіонах відсутнє достатнє фінансування, є проблема порушення довкілля, а також порушення природоохоронних норм.

Попри наявність цілої заповідної справи в Україні та країнах ЄС, є суттєві відмінності у підходах та реалізації природоохоронних політик. Основні відмінності такі:

1. **Законодавча база.** У країнах ЄС розвинута система міжнародних угод та директив, що забезпечують інтеграцію природоохоронних заходів на всіх рівнях Союзу. В Україні ж система природоохорони є менш стабільною через прояв єдиної стратегії та незавершеність законодавчих реформ. У країнах ЄС впроваджена уніфікована система управління заповідними територіями, яка базується на Директиві про птахів (79/409/ЄЕС) та Директиві про середовища існування (92/43/ЄЕС) [7]. В Україні законодавство не завжди відповідає міжнародним стандартам.

2. **Фінансування заповідної справи** є ключовим чинником для ефективної охорони природи. У ЄС фінансування забезпечується через програми LIFE, Horizon Europe та національні бюджети [6]. В Україні кошти на природоохоронну діяльність є обмеженими, що негативно впливає на управління заповідниками. В Україні проблеми з фінансуванням потребують комплексних змін, включаючи вдосконалення законодавства, залучення міжнародних інвестицій та створення нових фінансових інструментів.

Ситуація ЄС країни є більш стабільною за допомогою потужних європейських програм та розвинутих механізмів фінансування, але й тут є певні виклики, зокрема в питаннях рівномірного розподілу коштів та забезпечення сталого фінансування природоохоронних проектів. Спільні зусилля на національному та міжнародному рівнях дозволять значно підвищити фінансування заповідної справи та зберегти природу.

3. *Площа та ефективність.* Мережа Natura 2000 демонструє високий рівень ефективності завдяки інтеграції з місцевими громадами. В Україні частина заповідників перебуває у стані деградації через недостатній контроль.

Отже, в Україні недостатньо розвинене законодавство щодо інтеграції природоохоронних територій у економіку регіонів, а також низький рівень фінансування унеможливує проведення якісного моніторингу екосистем. Відсутність належної екологічної освіти серед місцевого населення гальмує інтеграцію природоохоронних заходів в Україні. Для якісного заповідання необхідно: гармонізувати українське законодавство з директивами ЄС; збільшити частку фінансування з державного бюджету та залучати міжнародні інвестиції; розвивати екологічну освіту для населення; обов'язково запровадити цифровий моніторинг стану заповідних територій.

Головні висновки. Перспективи резервування цінних природних територій та об'єктів в Україні, успішність розбудови і ефективного функціонування їх мережі, безперечно пов'язані із врахуванням досвіду, який існує в закордонних країнах, особливо, враховуючи прагнення України до інтеграції у євро-

пейські структури. Однак, важливим буде і інший закордонний досвід, не пов'язаний напряму з країнами Європи, а краще сказати – досвід міжнародний.

Загалом, в усьому світі збереження природоохоронних територій є ключовим інструментом збереження ландшафтного та біологічного різноманіття. Світова система природних територій нині охороняє близько 105 тис. об'єктів, які займають приблизно 20 млн км², що становить близько 12,2% усієї поверхні планети. Більшість сучасних природних територій розташовані на суходолі, тоді як морські природоохоронні території займають приблизно 2 млн км², що становить лише близько 0,5% від площі світового океану [3]. Більше 4,5 тис. природних територій створено у відповідності до різних міжнародних договорів та конвенцій, включаючи об'єкти світової спадщини та заповідники за програмою ЮНЕСКО «Людина і Біосфера».

На думку екологів, Україна надто повільно рухається до виконання умов Угоди про асоціацію з ЄС, згідно з якою ми маємо перетворити на природо-заповідні території 15% площі України до 2030 року. Проте робити це можна навіть під час війни, а після Перемоги рішення допоможе відновитись біорізноманіттю, що нищиться бойовими діями.

Заповідна справа в Україні потребує суттєвого реформування для досягнення європейських стандартів. Досвід ЄС демонструє, що успіх можливий за умови ефективного управління, фінансування та активної участі громадськості. Гармонізація політик та збільшення заповідного фонду є необхідними кроками для збереження унікального біорізноманіття України.

Література

1. Гринчишин Н.М. Заповідна справа : навч. посібник. Львів : ЛДУБЖД, 2024. 145 с.
2. Департамент природно-заповідного фонду та біорізноманіття. URL: <https://mepr.gov.ua/pro-nas/struktura/departament-pryrodo-zapovidnogo-fondu-ta-bioriznomanittya/>
3. Закон України «Про природно-заповідний фонд України» від 16.06.1992 № 2456-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text>
4. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Офіційний сайт. URL: <https://mepr.gov.ua>
5. Природні парки. URL: <https://www.nationalparks.in.ua/>
6. Словник євроінтеграції: довідник. URL: <https://mepr.gov.ua/slovyk-yevrointegratsiyi-dovkillya/>
7. Смарагдова мережа та мережа НАТУРА 2000 – що це таке і навіщо потрібно Україні. URL: <https://wwf.panda.org/es/?264491/NATURA2000>
8. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: повернення природи у наше життя. URL: <https://uncg.org.ua/strategiia-bioriznomanittia-ies-do-2030-roku-povernennia-pryrody-v-nashe-zhyttia/>
9. Указ Президента України Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>
10. Українська природоохоронна група (UNCG). URL: <https://uncg.org.ua/>

Дата першого надходження рукопису до видання: 28.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФЛОРИ КАР'ЄРІВ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ПОДІЛЬСЬКІ ТОВТРИ»

Пакуляк А.Ю., Григорчук І.Д., Любінська Л.Г.

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
вул. Огієнка, 61, 32300, м. Кам'янець-Подільський
andypower7723@gmail.co, hryhorchuk@kpnpu.edu.ua, kvitkolub@gmail.com

Наведено результати комплексного таксономічного та еколого-біологічного аналізу флори кар'єрних схилів і вапнякових відслонень Національного природного парку «Подільські Товтри». Проведено класифікацію таксонів за родинами, родами та життєвими формами, визначено їхні екологічні спектри відповідно до вологолюбності та трофності субстратів. За результатами аналізу встановлено, що флора кар'єру охоплює представників 17 родин, серед яких домінують Fabaceae (9 видів), Lamiaceae (5), Asteraceae (5), Poaceae (5), Rosaceae (4) та Apiaceae (5), що свідчить про адаптаційний потенціал цих груп у процесах первинної сукцесії. Життєво-морфологічний аналіз показав домінування гемікриптофітів (62%) і значну частку хамефітів (18%). Це свідчить про переважання багаторічних трав'янистих видів із високою пристосованістю до коливань температури та вологості. Геофіти та терофіти були виявлені серед досліджуваних видів рослин в меншій кількості. Аналізуючи екологічну структуру флори, виявлено переважання ксеромезофітів (48%) та ксерофітів (32%). Також значну частку складали кальцепетрофіти. Виявлена таксономічна та екологічна структура флори кар'єру відображає типове для Центрального Поділля поєднання лучно-степових та петрофітних елементів. Види, присутні в кар'єрах, демонструють низку адаптивних стратегій, включаючи глибоке вкорінення, високу продуктивність насіння та швидкі життєві цикли, що дозволяє виживати в нестабільних субстратах. Підкреслено роль представників родини Fabaceae як азотофікаторів і піонерних видів, що створюють умови для наступних етапів фітоценогенезу. Отримані результати свідчать про поступову стабілізацію рослинного покриву в умовах кар'єрних ландшафтів і дають змогу оцінити сукцесійні процеси як природну форму рекультивації. У роботі запропоновано практичні рекомендації щодо використання місцевих стійких видів рослин при біологічній рекультивації порушених ділянок з урахуванням їхніх еколого-біологічних особливостей, що може слугувати науковою основою для оптимізації заходів із відновлення біорізноманіття в межах НПП «Подільські Товтри» та подібних природно-техногенних екосистем. *Ключові слова:* національний природний парк «Подільські Товтри», кар'єри, таксономічна структура, рекультивація.

Ecological and biological features of the flora of the quarries of the National Nature Park “Podilski Tovtry”. Pakulyak A., Hryhorchuk I., Lyubinska L.

A comprehensive taxonomic and ecological-biological analysis of the flora of quarry awls and limestone outcrops of the National Nature Park «Podilski Tovtry» has been presented. Taxa have been classified by families, genera and life forms, and their ecological spectra have been determined according to the moisture-loving and trophic nature of the substrates. The analysis results show that the quarry flora includes representatives of 17 families, among which Fabaceae (9 species), Lamiaceae (5), Asteraceae (5), Poaceae (5), Rosaceae (4) and Apiaceae (5) dominate, which affects the adaptive potential of this group in the processes of primary succession. Vital-morphological analysis showed the dominance of hemicryptophytes (62%) and a significant number of chamaephytes (18%). This indicated the predominance of perennial herbaceous species with high adaptability to temperature and humidity fluctuations. Geophytes and therophytes were found among the studied plant species in a smaller part. Analyzing the ecological structure of the flora, the predominance of xeromesophytes (48%) and xerophytes (32%) was revealed. Calcepetrophytes also made up a significant part. The revealed taxonomic and ecological structure of the quarry flora demonstrates the types of combination of meadow-steppe and petrophyte elements for Central Podillia. The species present in the quarries demonstrate a number of adaptive strategies, including deep rooting, high productivity and fast life cycles, allowing them to survive in unstable substrates. The role of representatives of the Fabaceae family as nitrogen fixers and pioneer species that create conditions for the next stages of phytocenogenesis is emphasized. The results obtained indicate the gradual stabilization of the plant cover in quarry landscapes and provide an opportunity to evaluate successional processes as a natural form of reclamation. The paper offers practical recommendations on the use of local resistant plant species in biological reclamation of damaged areas, taking into account their ecological and biological features, which can serve as a scientific basis for optimizing measures to restore biodiversity within the National Nature Park «Podilski Tovtry» and similar natural and man-made ecosystems. *Key words:* National Nature Park «Podilski Tovtry», quarries, taxonomic structure, reclamation.

Постановка проблеми. Національний природний парк (НПП) «Подільські Товтри» є найбільшим природозаповідним об'єктом в Україні, відомий своїми унікальними геологічними утвореннями та багатим біорізноманіттям [9]. Однак щільність заселення, активне використання біологічних ресурсів, в тому числі видобуток корисних копалин з утворенням кар'єрів у межах парку, призводять до зміни

його ландшафтів [3]. Своєю чергою, втрата деградованими ландшафтами екологічних, естетичних та рекреаційних функцій, складає серйозну загрозу для збереження біорізноманіття. Відновлення деградованих земель та ландшафтів є тривалим процесом, що, у більшості випадків, відбувається шляхом самозаростання. Дослідження спонтанного заростання таких ділянок дає змогу оцінити здатність флори до

самовідновлення й визначити групи видів, найстійкіших до техногенних умов середовища. В той же час детальне вивчення складу та структури флори, дозволяє контролювати процеси природного заростання та визначати оптимальний видовий склад для оптимізації стратегії рекультиваци та прискорення відновлення порушених територій [5].

Актуальність дослідження. Флора кар'єрів Поділля становить унікальне поєднання природних, синантропних і реліктових елементів, що формують специфічні фітоценози на карбонатних субстратах. Вивчення її таксономічного та екологічного складу дозволяє визначити адаптаційний потенціал видів до екстремальних умов і сформувати наукові основи рекультиваци деградованих екосистем. Такі дослідження є актуальними у контексті реалізації Стратегії збереження біорізноманіття України до 2030 року.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження узгоджується з напрямками наукових робіт НПП «Подільські Товтри» та завданнями державних природоохоронних програм України, що передбачають моніторинг стану флори техногенних ландшафтів і розроблення методів їх рекультиваци. Отримані результати можуть бути використані в роботі природоохоронних установ, при плануванні екомережі Хмельницької області та у практиці відновлення гірничопромислових територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження флори та фітоценотичної структури кар'єрів, їх рекультиваци та відновлення представлені у різних дослідженнях [1, 4, 6, 7, 10]. Так, Л.Г. Любінська з колегами [9] представили комплексний аналіз сучасного стану флори НПП «Подільські Товтри», включаючи перелік зафіксованих видів, оцінку інвазійного навантаження та просторову характеристику видового складу. Дослідження рослинності кар'єрів різного генезису в Європі та Україні засвідчують наявність спільних закономірностей сукцесійних процесів і чинників, що визначають формування стабільних фітоценозів на техногенних субстратах. Як зазначено у дослідженнях [8, 11], характер початкової колонізації й напрям подальшої сукцесії значною мірою залежать від едафічних умов, віку кар'єра та літологічного складу порід. Зазначено, що у вапнякових кар'єрах часто спостерігаються спонтанні сукцесії, які здатні відтворювати петрофітні угруповання навіть без активного втручання людини [8, 11].

І.В. Хом'як [6], вивчаючи синтаксономію відновлюваної рослинності кар'єрів Центрального Полісся, відмітив про переважання злакової стадії відновлення рослинності за значних або помірних антропогенних впливів, а поступова зміна рослинних угруповань у різних екологічних умовах на територіях, порушених гірничим виробництвом, дає змогу відстежити та змодельовати процес відновлення природної рослинності [6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність загальних флористичних списків, недостатньо досліджено еколого-біологічну структуру рослинності саме кар'єрних схилів – тобто співвідношення життєвих форм, екологічних груп, адаптацій до техногенних субстратів. Також бракує систематизованих даних щодо ролі видів-піонерів у процесах самозаростання і стабілізації ґрунтового покриву.

Новизна. Уперше для території НПП «Подільські Товтри» проведено узагальнений таксономічний та еколого-біологічний аналіз флори кар'єрів. Виявлено домінування родин *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Asteraceae* та *Poaceae*; встановлено переважання ксеромезофітів і кальцепетрофітів, здатних до адаптації на вапнякових та кам'янистих субстратах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження демонструє, як еколого-біологічний підхід до аналізу флори може бути використаний для розроблення принципів біологічної рекультиваци техногенних територій. Методика визначення таксономічної та екологічної структури може застосовуватися в інших регіонах України для порівняльних оцінок флори кар'єрів і відвалів.

Виклад основного матеріалу. Обстеження проводили у 2024–2025 рр. у межах Пудловського кар'єру, що знаходиться на території НПП «Подільські Товтри» Використовували маршрутний метод, геоботанічний опис здійснювали за методикою Браун-Бланке.

В результаті наших досліджень було виявлено, що флора кар'єру охоплює представників 17 родин, серед яких домінують *Fabaceae* (9 видів), *Lamiaceae* (5), *Asteraceae* (5), *Poaceae* (5), *Rosaceae* (4) та *Apiaceae* (5).

Загалом провідні родини складають понад 45% видового складу: *Fabaceae* (18,4%), *Lamiaceae* (10,2%), *Asteraceae* (10,2%), *Poaceae* (8,2%). Домінуючими родами є *Teucrium* (3 види), *Salvia* (3 види), *Medicago* (2 види), *Thymus* (2 види), *Poa* (2 види), *Euphorbia* (2 види).

Життєво-морфологічний аналіз показує домінування гемікриптофітів (62%) і значну частку хамефітів (18%). Це свідчить про переважання багаторічних трав'янистих видів із високою пристосованістю до коливань температури та вологості. Геофіти та терофіти також наявні серед досліджуваних видів рослин, але в меншій кількості.

Аналізуючи екологічну структуру флори, виявлено переважання ксеромезофітів (48%) та ксерофітів (32%). Мезофільні види представлені меншою мірою (15%) і зазвичай локалізуються на більш вологих або частково затінених ділянках (наприклад: *Geum urbanum*, *Urtica dioica*) (рис. 1).

Особливу роль відіграють кальцепетрофіти – види, приурочені до вапнякових та карбонатних субстратів (*Asperula cynanchica*, *Onobrychis*

Таксономічна структура флори Пудловецького кар'єру

№	Родина	Кількість родів	Кількість видів	Представники
1	<i>Fabaceae</i>	7	9	<i>Medicago falcata</i> , <i>M. romanica</i> , <i>Onobrychis arenaria</i> , <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Securigera varia</i> , <i>Anthyllis polyphylla</i> , <i>Chamaecytisus ruthenicus</i> , <i>C. austriacus</i> , <i>Trifolium montanum</i>
2	<i>Lamiaceae</i>	4	5	<i>Teucrium chamaedrys</i> , <i>Clinopodium vulgare</i> , <i>Salvia nemorosa</i> , <i>S. pratensis</i> , <i>S. verticillata</i>
3	<i>Asteraceae</i>	5	5	<i>Aster amellus</i> , <i>Hieracium umbellatum</i> , <i>Inula ensifolia</i> , <i>Scabiosa ochroleuca</i> , <i>Berteroa incana</i>
4	<i>Poaceae</i>	3	4	<i>Poa angustifolia</i> , <i>P. compressa</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Bothriochloa ischaemum</i> , <i>Elytrigia repens</i> , <i>E. intermedia</i>
5	<i>Apiaceae</i>	4	5	<i>Pimpinella saxifraga</i> , <i>Seseli libanotis</i> , <i>Peucedanum cervaria</i> , <i>Falcaria vulgaris</i> , <i>Bupleurum falcatum</i>
6	<i>Euphorbiaceae</i>	2	2	<i>Euphorbia cyparissias</i> , <i>E. sequieriana</i>
7	<i>Caryophyllaceae</i>	1	1	<i>Berteroa incana</i>
8	<i>Campanulaceae</i>	1	1	<i>Campanula sibirica</i>
9	<i>Rosaceae</i>	3	4	<i>Fragaria viridis</i> , <i>Agrimonia eupatoria</i> , <i>Geum urbanum</i> , <i>Potentilla arenaria</i>
10	<i>Ranunculaceae</i>	1	2	<i>Anemone sylvestris</i> , <i>Thalictrum minus</i>
11	<i>Plantaginaceae</i>	1	2	<i>Veronica chamaedrys</i> , <i>V. spicata</i>
12	<i>Gentianaceae</i> / <i>Asclepiadaceae</i>	1	2	<i>Vincetoxicum hirundinaria</i>
13	<i>Thymelaeaceae</i>	1	2	<i>Thymus marschallianus</i> , <i>T. podolicus</i>
14	<i>Melanthiaceae</i> / <i>Asparagaceae</i>	1	1	<i>Anthericum ramosum</i>
15	<i>Urticaceae</i>	1	1	<i>Urtica dioica</i>
16	<i>Orobanchaceae</i>	1	1	<i>Melampyrum cristatum</i>
17	<i>Onagraceae</i>	1	1	<i>Chamerion dodonaei</i>

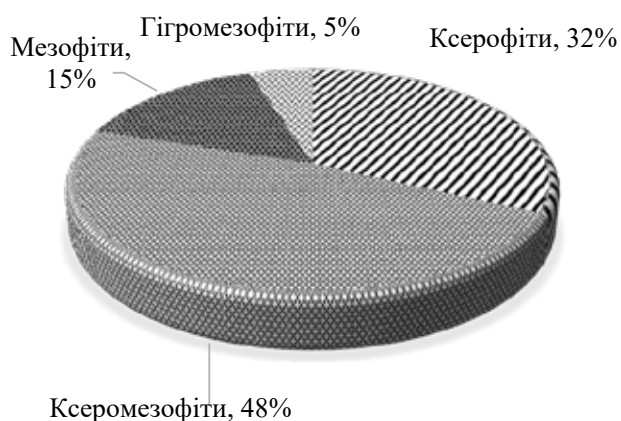


Рис. 1. Екологічна структура флори Пудловецького кар'єру

arenaria, *Anthyllis polyphylla*, *Echium vulgare*, *Salvia verticillata*), які складають 20–25%.

Виявлена таксономічна та екологічна структура флори кар'єру відображає типове для Центрального

Поділля поєднання лучно-степових та петрофітних елементів. Види, присутні в кар'єрах, демонструють низку адаптивних стратегій, включаючи глибоке вкорінення, високу продуктивність насіння та швидкі життєві цикли, що дозволяє виживати в нестабільних субстратах [2].

Домінування *Fabaceae* пояснюється їхньою екологічною роллю на бідних ґрунтах (азотофіксація, швидка колонізація), що важливо при суходільній рекультиватії деградованих схилів. Вони відіграють провідну роль у процесах ґрунтоутворення й азотфіксації, формуючи первинний рослинний покрив. Представники *Lamiaceae* утворюють стійкі ксерофітні угруповання, які закріплюють ґрунт і зменшують ерозію. Наявність ксерофітів підкреслює здатність флори кар'єру справлятися з посухою, бідними на поживні речовини ґрунтами та механічними порушеннями.

Головні висновки.

— Флора кар'єрів НПП «Подільські Товтри» характеризується переважанням видів родин *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*, що свідчить про її лучно-степову та петрофітну природу.

– Провідними екологічними групами є ксеромезофіти та кальцепетрофіти, адаптовані до сухих вапнякових ґрунтів.

– Домінування гемікриптофітів підтверджує пристосованість рослин до екстремальних умов середовища.

– Отримані результати можуть бути використані для створення природних моделей біологічної рекультивациі кар'єрів.

Перспективи використання результатів дослідження. Рекомендовано подальше вивчення динаміки самозаростання кар'єрів та фітоіндикаційних властивостей ключових видів для розроблення комплексних програм відновлення деградованих земель Поділля. Доцільним є створення локальних полігонів для апробації моделей біорекультивациі з використанням аборигенних видів-піонерів.

Література

1. Білик Р. Г., Дідух Я. П. Стадії та напрямки розвитку рослинності відвалів Товтрового кряжу. *Український ботанічний журнал*. 1999. Т. 56, № 2. С. 144–149.
2. Дідух Я. П. Основи біоіндикації. Київ: Наукова думка, 2012. 342 с.
3. Любінська Л. Г. Динаміка і антропогенна трансформація рослинності НПП «Подільські Товтри». *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2013. Вип. 3 (56). С. 23–27.
4. Любінська Л. Г., Юглічек Л. С. Флора Хмельниччини: навчальний посібник. Хмельницький: Поліграфіст, 2017.
5. Оліферчук В. П., Шукель І. В., Кузярін О. Т. Еколого-біологічна структура флори дегазованих земель сірчаних кар'єрів. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 65–75.
6. Хом'як І. В. Синтаксономія відновлюваної рослинності кар'єрів Центрального Полісся. *Український ботанічний журнал*. 2022. Т. 79, № 3. С. 143–153.
7. Boscutti F., Vianello A., Bozzato F., Casolo V. Vegetation structure, species life-span and exotic status elucidate plant succession in a limestone quarry reclamation. *Restoration Ecology*. 2016. Vol. 24, No. 5. P. 642–651.
8. Novák J., Prach K., Pyšek P., Smilauer P. Proximity of valuable habitats affects succession patterns in abandoned quarries. *Ecological Engineering*. 2006. Vol. 26, No. 2. P. 113–122.
9. Lyubinska L. G., Mudrak O. V., Andrusiak D. V., Mudrak H. V., Dushanova T. V. The current state of flora in the National Nature Park "Podilski Tovtry" (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11, No. 1. P. 218–233.
10. Protopopova V. V., Shevera M. V., Orlov O. O., Panchenko S. M. The transformer species of the Ukrainian Polissya. *Biodiversity Research and Conservation*. 2015. No. 39. P. 7–18.
11. Tropek R., Kadlec T., Karesova P., Spitzer L., Kocarek P., Malenovsky I., Banar P., Tuf I. H., Konvicka M. Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology*. 2010. Vol. 47, No. 1. P. 139–147.

Дата першого надходження рукопису до видання: 28.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 581.522.4:712.253(477.86–25)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.35>

БІОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ДЕРЕВНО-ЧАГАРНИКОВИХ НАСАДЖЕНЬ СКВЕРУ ВАЛОВИЙ В ІВАНО-ФРАНКІВСЬКУ: СТРУКТУРА, ЖИТТЄВИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РЕКОНСТРУКЦІЇ

Бойчук В.Б., Різничук Н.І.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, 77008, м. Івано-Франківськ
vasyl.boichuk@cnu.edu.ua, nadiia.riznychuk@cnu.edu.ua

У статті представлено результати комплексної біоекологічної оцінки деревно-чагарникових насаджень скверу Валовий, розташованого в центральній частині м. Івано-Франківська. Дослідження проведено восени 2025 року з метою виявлення сучасного стану зелених насаджень у контексті зростаючого антропогенного навантаження та зміни кліматичних умов. Основною метою роботи було визначення видового складу, віково-морфологічної структури, фітосанітарного стану і екологічних функцій насаджень, а також розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо реконструкції території скверу з урахуванням принципів сталої урбанальної зеленої інфраструктури.

У дослідженні застосовано методи геоботанічного опису, таксаційного аналізу, морфометрії, оцінки декоративності та візуальної фітосанітарної діагностики. Встановлено, що флористичне різноманіття скверу налічує понад 30 видів деревних і чагарникових форм, серед яких домінують *Tilia cordata*, *Acer saccharum*, *Populus nigra*, *Betula pendula* та *Spiraea chamaedryfolia*. Вікова структура насаджень характеризується переважанням зрілих дерев (15–40 років) – близько 58 %, що свідчить про зниження природного поновлення та необхідність проведення вибіркового оновлення. Значна частина насаджень має ознаки фітосанітарного ризику: виявлено 12 екземплярів із грибковими ураженнями кори й стовбура, 15 дерев із сухими гілками понад 30 % крони, а також 6 дерев із критичним нахилом понад 15°, що становить потенційну загрозу безпеці відвідувачів.

Запропоновано низку заходів з підвищення екологічної та естетичної цінності території: санітарне омолодження, заміна аварійних дерев, висадження адаптованих місцевих і кліматостійких видів, формування підліску з декоративних чагарників, створення автоматизованої системи зрошення, а також розробка цифрової інвентаризації з використанням геопозиціонування. Особлива увага приділена необхідності впровадження освітньо-громадських ініціатив, спрямованих на підвищення екологічної свідомості мешканців. Стратегічною метою дослідження є підвищення функціональної стійкості скверу, збереження біорізноманіття, покращення мікрокліматичних умов і гармонійна інтеграція зеленої зони у міську екологічну мережу. **Ключові слова:** сквер Валовий, деревно-чагарникові насадження, фітосанітарний стан, морфометрія, рекреаційні зелені зони, біоекологічна оцінка, сталий розвиток, біорізноманіття, зміни клімату, деревні рослини, життєва форма, систематичний аналіз.

Bioecological assessment of the tree and shrub plantings in Valovyi Square in Ivano-Frankivsk: structure, condition, and prospects for reconstruction. Boichuk V., Riznychuk N.

The article presents the results of a comprehensive bioecological assessment of the tree and shrub plantings in Valovyi Square, located in the central part of Ivano-Frankivsk. The research, conducted in autumn 2025, aimed to evaluate the current state of the green spaces under increasing anthropogenic pressure and changing climatic conditions. The main objectives were to determine the species composition, age–morphological structure, phytosanitary condition, and ecological functions of the plantings, as well as to develop scientifically grounded recommendations for the square's reconstruction in accordance with the principles of sustainable urban green infrastructure.

The study employed methods of geobotanical description, taxation analysis, morphometry, assessment of decorative qualities, and visual phytosanitary diagnostics. The floristic diversity of the area includes more than 30 species of trees and shrubs, with *Tilia cordata*, *Acer saccharum*, *Populus nigra*, *Betula pendula*, and *Spiraea chamaedryfolia* being dominant. The age structure is characterized by the predominance of mature trees (15–40 years), accounting for about 58 %, indicating low natural regeneration and the need for selective renewal. A considerable proportion of plantings show signs of phytosanitary risk: 12 specimens exhibit fungal lesions of bark and trunk, 15 trees have more than 30 % dry branches, and 6 show a critical tilt exceeding 15°, posing a potential hazard to visitors.

Proposed measures include sanitary rejuvenation, removal of hazardous trees, introduction of locally adapted and climate-resilient species, formation of decorative shrub undergrowth, establishment of an automated irrigation system, and development of a digital inventory with geolocation. Special attention is paid to educational and community initiatives aimed at increasing public environmental awareness. The strategic goal is to enhance the functional stability of the square, preserve biodiversity, improve microclimatic conditions, and ensure its harmonious integration into the city's ecological network. **Key words:** Valovyi Square, urban woody vegetation, phytosanitary condition, morphometrics, recreational green areas, bioecological assessment, sustainable development, biodiversity, climate change, woody plants, life form, systematic analysis.

Постановка проблеми. У контексті зростаючої урбанізації та кліматичних змін міські зелені зони виконують критичні екосистемні функції (регулювання мікроклімату, очищення повітря, підтримка біорізноманіття, рекреаційні сервіси). Історичні й центральні сквери міст мають особливу цінність як носії культурного і природного капіталу, але часто страждають від антропогенного навантаження, старіння насаджень та недостатнього догляду. Сквер Валовий – приклад урбаністичного зеленого об'єкту, що потребує системної оцінки для визначення напрямів реконструкції та управління з урахуванням сталого розвитку. Відсутність детальної біоекологічної інвентаризації перешкоджає ефективному плануванню й обґрунтованому прийняттю рішень на муніципальному рівні.

Актуальність дослідження. Актуальність обумовлена необхідністю підвищення екологічної стійкості міської зеленої інфраструктури та збереження біорізноманіття в умовах змін клімату. Локальні дослідження стану окремих зелених островців у центрі міст дозволяють розробити практично орієнтовані заходи, які можуть бути масштабовані на рівень міста. Для Івано-Франківська, де загальний рівень зеленого покриття є нижчим за рекомендовані показники, реконструкція центральних скверів має першочергове значення для покращення якості життя мешканців.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Питання урбоозеленення, інтеграції зеленої інфраструктури та методів інвентаризації рослинності розглядалися у працях українських та міжнародних дослідників [3, 6, 8]. Наша робота доповнює ці дослідження прикладним аналізом конкретного об'єкта – скверу Валовий, використовуючи поєднання класичних польових методів і сучасних підходів до біоекологічної оцінки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками спостерігається підвищений науковий інтерес до вивчення стану міських зелених насаджень, зокрема історичних скверів та парків, які виконують важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги міського середовища. У роботах українських дослідників наголошується на потребі інтеграції біоекологічного, просторово-планувального та соціоекономічного підходів до управління міськими зеленими територіями [5, 6].

Значну увагу приділено оцінюванню екосистемних послуг зелених насаджень, які забезпечують кліматорегулюючу, санітарно-захисну та рекреаційну функції [4, 7]. У контексті урбоекології актуальними є дослідження, присвячені оцінці стійкості міських деревних насаджень до кліматичних змін і техногенного навантаження [3, 8]. Водночас ряд авторів відзначає недостатність моніторингових спостережень та цифрових баз даних щодо стану окремих скверів і парків у містах України [1].

Проблематика інвентаризації та морфометричної оцінки деревних насаджень у міських умовах розглядається у працях з дендрології та урбаністичної екології, де наголошується на необхідності поєднання класичних методів таксації з сучасними геоінформаційними технологіями [2]. Особливу увагу дослідники звертають на розроблення рекомендацій щодо реконструкції старовікових зелених насаджень і формування збалансованої вікової структури [4].

Незважаючи на наявність цих напрацювань, питання системного аналізу фітосанітарного стану та оцінки екосистемних функцій історичних скверів залишаються недостатньо розробленими. Саме це зумовлює актуальність проведеного дослідження, спрямованого на вивчення сучасного стану, структури й екологічної ролі насаджень скверу Валовий у контексті урбаністичної екології Івано-Франківська.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проблематика дослідження стану міських зелених насаджень в умовах історичних середмість залишається недостатньо розробленою, зокрема у частині оцінювання екологічних функцій та санітарного потенціалу старовікових дерев. В існуючих роботах переважає описовий підхід, що не враховує комплексну взаємодію між біотичними, ґрунтовими та антропогенними чинниками. Невирішеними залишаються питання формування системи моніторингу, прогнозування динаміки стану насаджень і розроблення моделей оптимізації управління міськими скверами як елементами зеленої інфраструктури.

Новизна. Наукова новизна полягає у всебічному аналізі структури, стану та функціонального потенціалу зелених насаджень історичного скверу в умовах сучасного міського середовища. Уперше проведено інтегровану оцінку деревного фонду із врахуванням морфометричних параметрів, вікової диференціації та показників фітосанітарного стану, що дозволяє визначити напрямки стабілізації та підвищення екосистемних послуг урбанізованих ландшафтів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження виконано восени 2025 р. Сквер на вулиці Валовій – розташований у центральній частині міста, на східних валах старовинної Станіславівської фортеці. Нинішнього вигляду сквер набрав у 2001 році. Площа – 1,062 га (рис. 1).

Польова частина дослідження охоплювала повну інвентаризацію деревних і чагарникових елементів зелених насаджень скверу Валовий. Основною метою було визначення сучасного стану деревно-чагарникових формацій, їхнього видового складу, вікової та морфометричної структури, а також оцінка впливу антропогенних чинників на стан насаджень. Для виконання роботи застосовано комплекс сучасних методів польової та аналітичної екологічної діагностики. На першому етапі здійснювався геоботанічний опис, який передбачав фіксацію видо-



Рис. 1. Сквер на вулиці Валовій (м. Івано-Франківськ)

вого складу, кількісної щільності дерев і чагарників, просторового розміщення рослин та їхнього фітосоціологічного контексту. Кожне дерево було окремо ідентифіковане та включене до бази інвентаризації. Подальший етап складався з таксації деревних екземплярів, у межах якої проводилася реєстрація кожного дерева із зазначенням ботанічного виду, висоти, діаметра стовбура на висоті 1,3 м (DBH), а також загального морфологічного вигляду та ступеня розвитку крони. Морфометричні вимірювання здійснювалися стандартними польовими інструментами: висота визначалася висотоміром SUUNTO PM-5/1520, діаметр стовбура – штангенциркулем. Оцінка фізіологічного стану насаджень проводилася шляхом візуальної фітосанітарної діагностики, під час якої фіксувалися ознаки грибкових уражень, наявність дупел, сухих гілок, механічних пошкоджень та відхилення стовбурів від вертикалі. Результати обстеження наносилися на картографічну схему скверу, де відображено розташування деревних і чагарникових одиниць, а також ділянки з підвищеним ступенем деградації або ущільнення ґрунту.

Додатково виконано якісний аналіз антропогенних факторів, що впливають на стан зелених насаджень, зокрема оцінено ступінь ущільнення ґрунту, пошкодження кореневих зон та сліди будівельних чи комунікаційних робіт.

Опрацювання отриманих даних здійснювалося із використанням табличних обчислень та статистичного аналізу. Для класифікації дерев за віковими групами застосовано загальноприйнятую таксономічну схему: молоді екземпляри (до 15 років), зрілі (від 15 до 40 років) та старі (понад 40 років). Такий підхід дозволив забезпечити репрезентативність вибірки

та отримати об'єктивну характеристику структури насаджень, їхнього фітосанітарного стану й просторової організації.

Виклад основного матеріалу. У сквері виявлено понад 1400 екземплярів дерев і кущів, що належать до понад 40 видів. Найбільш чисельно представлений вид: липа дрібнолиста (*Tilia cordata* Mill.) – понад 130 екземплярів, що становить близько 30 % усіх деревних насаджень. Інші поширені види: робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.), дуб звичайний (*Quercus robur* L.), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.) та пенсильванський (*F. pennsylvanica* Marshall), клени: гостролистий (*Acer platanoides* L.), цукровий (*A. saccharum* Marsh.), японський (*A. palmatum* Thunb.), гірकोкаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L.), ялина колюча (*Picea pungens* Engelm), у т.ч. форма голуба, береза повисла (*Betula pendula* Roth), сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), гібіскус сирійський (*Hibiscus syriacus* L.), барбарис звичайний (*Berberis vulgaris* L.), форзиція (*Forsythia* Vahl) (табл. 1).

Інші зафіксовані види: глід (*Crataegus* Tourn. ex L.), алича (*Prunus cerasifera* Ehrh.), сакура (*Prunus serrulata* L.), груша звичайна (*Pyrus communis* L.), тополя чорна (*Populus nigra* L.), тис ягідний (*Taxus baccata* L.), самшит вічнозелений (*Buxus sempervirens* L.), спірея трилопатева та японська (*Spiraea trilobata* L., *S. japonica* L.), бузок звичайний (*Syringa vulgaris* L.), гледичія колюча (*Gleditsia triacanthos* L.), ялівець звичайний (*Juniperus communis* L.), ялина європейська (*Picea abies* (L.) H. Karst.), туя західна (*Thuja occidentalis* L.), магнолія (*Magnolia* L.), троянда (*Rosa* L.).

У межах дослідженої території скверу Валовій виявлено понад тридцять видів деревних та чагар-

Таблиця 1

**Видовий склад найпоширеніших деревно-чагарникових рослин скверу Валовий
(м. Івано-Франківськ)**

№ п/п	Назва виду	Кількість, шт.	Частка від загальної кількості, %
1.	Липа дрібнолиста <i>Tilia cordata</i> Mill.	135	30
2.	Робінія звичайна <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	60	13
3.	Дуб звичайний <i>Quercus robur</i> L.	35	8
4.	Ясен звичайний <i>Fraxinus excelsior</i> L. та пенсильванський <i>F. pennsylvanica</i> Marshall	30	7
5.	Клен гостролистий <i>Acer platanoides</i> L. Клен цукровий <i>A. saccharum</i> Marsh. Клен японський <i>A. palmatum</i> Thunb.	20	5
6.	Гіркокаштан звичайний <i>Aesculus hippocastanum</i> L.	10	2
7.	Ялина колюча (в т.ч. форма голуба) <i>Picea pungens</i> Engelm f. <i>glauca</i>	20	4
8.	Береза повисла <i>Betula pendula</i> Roth	5	1
9.	Сосна звичайна <i>Pinus sylvestris</i> L.	10	2
10.	Гібіскус сирійський <i>Hibiscus syriacus</i> L.	10	2
11.	Барбарис звичайний <i>Berberis vulgaris</i> L.	15	3
12.	Форзиція <i>Forsythia</i> Vahl.	20	4

никових форм, що свідчить про значне біорізноманіття та історичну багатшаровість насаджень. Найчисельнішим видом є *Tilia cordata* Mill. (липа дрібнолиста) – 28 екземплярів із середньою висотою близько 30 метрів і середнім діаметром стовбура 0,42 метра (рис. 2). Значну роль у формуванні деревного ярусу відіграє *Populus nigra* L. (тополя чорна) – хоча кількість її екземплярів обмежена (2 дерева), вони характеризуються найбільшими морфометричними показниками (висота до 45 метрів, діаметр понад 1 метр), що свідчить про зрілий або навіть старий вік дерев. У підліску та декоративних елементах переважають чагарникові форми – *Forsythia* Vahl (форзиція) та *Berberis vulgaris* L. (барбарис звичайний), які виконують важливу естетичну та ґрунтозахисну функцію. Загалом деревно-чагарникові насадження формують багаторядну структуру з переважанням аборигенних і добре акліматизованих видів.

Аналіз вікової структури показав, що близько 22 % дерев належать до молоді групи віком до 15 років, 58 % – до зрілої групи віком від 15 до 40 років, тоді як 20 % екземплярів перевищують

40-річний вік. Такий розподіл свідчить про відносну стабільність екосистеми та наявність збалансованого онтогенетичного складу, проте водночас вказує на потребу поступового омолодження насаджень. Значна кількість старих дерев потребує санітарного огляду через підвищену ймовірність структурних дефектів і зниження життєздатності. Фітосанітарний огляд виявив низку проблем, що мають системний характер. Зокрема, у 12 дерев зафіксовано грибкові ураження різного ступеня (трухлявість, дупла), у 9 – механічні пошкодження, спричинені зовнішнім втручанням (цвяхи, дроти, будівельні роботи). У 15 екземплярів спостерігається наявність сухих гілок, які займають понад 30 % об'єму крони, а ще 6 дерев мають критичний нахил, що створює ризик падіння. Основними причинами погіршення стану насаджень є відсутність системної санітарної обрізки, надмірне ущільнення ґрунту внаслідок пішохідного навантаження, а також пошкодження кореневої системи під час будівельних і паркувальних робіт. Морфометричні показники основних видів свідчать про добре розвинену структуру насаджень, однак окремі дерева,

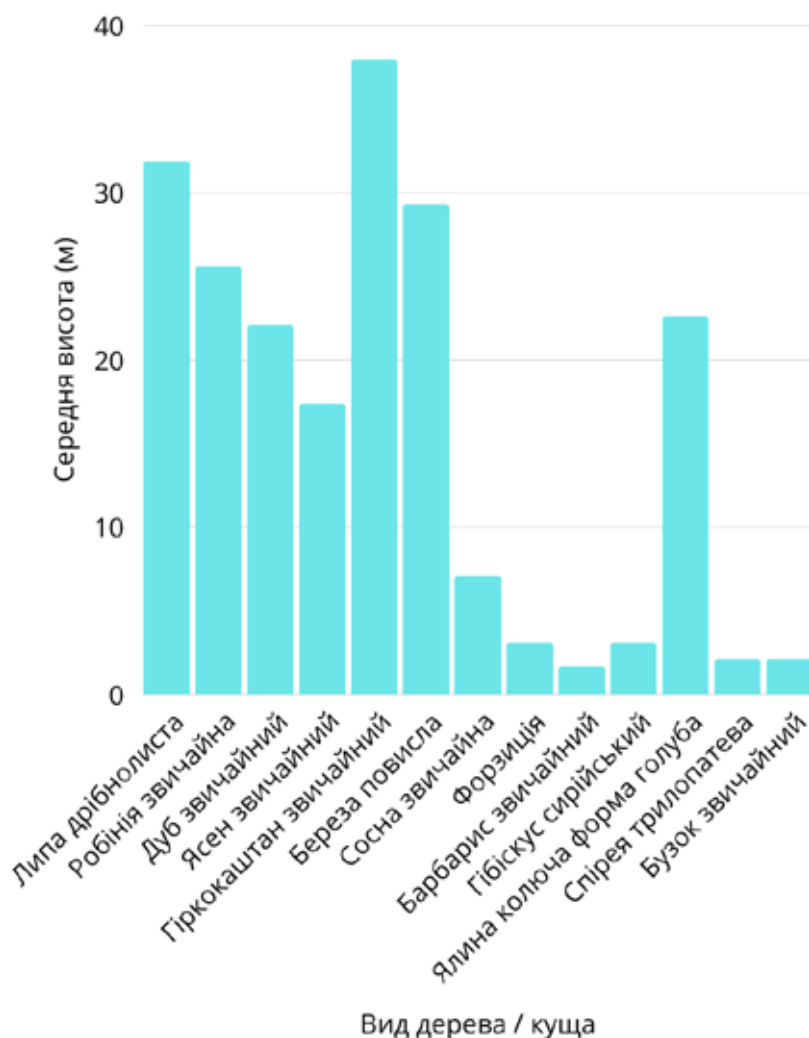


Рис. 2. Висотна структура деревно-чагарникових насаджень скверу Валовий (Івано-Франківськ)

зокрема тополі з великим діаметром стовбура, перебувають у критичному стані через природне старіння та підвищену ламкість. У цілому насадження виконують важливі екологічні функції – сприяють локальній регуляції мікроклімату, знижуючи температуру повітря влітку на 2–4 °С, зменшують рівень шумового навантаження, поглинають пилові частинки та газоподібні забруднювачі. Крім того, зелена зона має високу рекреаційну цінність і є середовищем проживання для численних видів птахів та комах, підтримуючи міське біорізноманіття. Отримані результати свідчать, що сквер Валовий зберігає високий потенціал для подальшого розвитку та посилення своїх екосистемних функцій. Водночас виявлені ознаки фізіологічного старіння окремих дерев, дефіцит агротехнічного догляду та антропогенний тиск зумовлюють потребу у впровадженні системного моніторингу, санаційних заходів і поступового оновлення зелених насаджень. Це дасть змогу забезпечити довготривалу екологічну стабільність скверу, зберегти

його історичну та рекреаційну цінність, а також інтегрувати територію в єдину міську мережу зелених зон Івано-Франківська.

Головні висновки. Сквер Валовий є важливим елементом зеленої інфраструктури центральної частини Івано-Франківська, з вираженими екологічними та соціальними функціями. Переважна частина насаджень належить до зрілої вікової групи; частина дерев має фітосанітарні проблеми, що створює ризики для безпеки та екосистемної стійкості. Необхідні комплексні заходи: негайні санітарні втручання, середньострокове омолодження і довгострокове стратегічне планування з цифровою інвентаризацією та залученням громади. Реалізація запропонованих рекомендацій дозволить зберегти екологічну цінність скверу, підвищити його функціональну стійкість та адаптацію до майбутніх кліматичних викликів.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективи використання отриманих результатів дослідження полягають у подальшому комплексному вивченні природних компонентів

зеленої зони з метою її ефективного збереження та розвитку. Зокрема, детальні дендрохронологічні дослідження дозволять визначити точний вік дерев, встановити їхні індивідуальні та популяційні темпи росту, а також оцінити вплив антропогенних і кліматичних факторів на динаміку розвитку насаджень. Поглиблений лабораторний аналіз ґрунтів, спрямований на вивчення вологості, стійкості до ущільнення та рівня забезпеченості поживними речовинами, стане основою для оптимізації агротехнічних заходів, добору відповідних видів рослин і підвищення стій-

кості насаджень до стресових умов. Окремий напрям передбачає моніторинг екосистемних послуг, які забезпечує зелена зона, із кількісною оцінкою показників поглинання вуглекислого газу, зниження рівня шумового забруднення та затримання пилових частинок у повітрі. Порівняння цих параметрів до та після проведення реконструкційних робіт дозволить об'єктивно оцінити ефективність реалізованих природоохоронних і ландшафтно-архітектурних рішень, а також сформулювати науково обґрунтовані рекомендації для подальшого розвитку міських зелених територій.

Література

1. Гудзенко О. М. Урбанізація та зелені зони: приклади міст України. *Екологічна географія*. 2022. № 3. С. 45–52.
2. Лисенко А. Екологічна стійкість міського середовища в умовах кліматичних змін. *Екологія та урбаністика*. 2021. № 2. С. 34–40.
3. European Environment Agency. *Green Infrastructure and Climate Adaptation*. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2020.
4. Європейський банк реконструкції та розвитку. *Концепція «Зелене місто»: Україна*. 2021.
5. ІФНТУНГ. Кафедра екології. Звіт з моніторингу стану зелених насаджень Івано-Франківська. 2023.
6. OpenStreetMap contributors. OpenStreetMap. URL: www.openstreetmap.org
7. Google Earth Pro (2024). Супутникові знімки Івано-Франківська.
8. Івано-Франківська міська рада. Відкриті дані. URL: <https://data.if-rada.gov.ua>

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РЕКРЕАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЖИТОМИРЩИНИ ЗА УМОВ ПРИРОДНИХ ЗАГРОЗ

Герасимчук О.Л., Шевчук Л.М., Васильєва Л.А., Іськов С.С., Криворучко А.О.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

kgt_gol@ztu.edu.ua, knz_shlm@ztu.edu.ua, knz_vla@ztu.edu.ua,

serga.iskov@ztu.edu.ua, km_kao@ztu.edu.ua

У статті представлено результати ландшафтно-екологічної оцінки рекреаційного потенціалу Житомирської області з урахуванням впливу природних загроз, таких як лісові пожежі, паводки, зсувні процеси, посухи та деградація ґрунтів. Визначено актуальність комплексного підходу, який поєднує аналіз природних, соціально-економічних та екологічних чинників для забезпечення сталого використання територій. На основі теоретичного аналізу наукових джерел та картографічних і геоінформаційних даних проведено оцінку природних ресурсів, типу ландшафтів, гідрографічної мережі, лісистості, рівня антропогенного навантаження та частоти проявів надзвичайних природних ситуацій. Для інтеграції рекреаційного потенціалу і природних ризиків застосовано показник $I_{\text{РПБ}}$, що дозволяє оцінити придатність територій для рекреаційного освоєння з урахуванням безпеки. Проведено зонування територій за рівнем рекреаційної стійкості та природної небезпеки, що дозволило виділити райони з високим, середнім та низьким рівнем придатності для рекреаційної діяльності. Встановлено, що північні громади характеризуються високим рекреаційним потенціалом, але підвищеною вразливістю до природних загроз, тоді як південні райони мають нижчий потенціал, проте більш стабільні природні умови.

Висновки. Отримані результати дозволяють забезпечити диференційований підхід до планування рекреаційної діяльності та розвитку інфраструктури, спрямованої на збалансоване використання природних ресурсів, а також розробку стратегій управління природними ризиками на регіональному рівні. Практичне значення роботи полягає у створенні методичного інструментарію для оцінки рекреаційної привабливості територій з урахуванням екологічних обмежень, що може бути використано органами місцевого самоврядування, планувальниками і науковцями для забезпечення сталого розвитку рекреаційного освоєння Житомирщини. *Ключові слова:* ландшафтно-екологічна оцінка, рекреаційні ресурси, природні ризики, надзвичайні ситуації, сталий розвиток, Житомирщина.

Landscape and ecological assessment of the recreational potential of Zhytomyr region under the conditions of natural threats.
Herasyimchuk O., Shevchuk L., Vasilieva L., Iskov S., Kryvoruchko A.

The article presents the results of a landscape and ecological assessment of the recreational potential of the Zhytomyr region, taking into account the impact of natural hazards such as forest fires, floods, landslides, droughts, and soil degradation. The relevance of a comprehensive approach that combines the analysis of natural, socio-economic, and environmental factors to ensure sustainable land use is determined. Based on a theoretical analysis of scientific sources and cartographic and geoinformation data, an assessment of natural resources, landscape types, hydrographic network, forest cover, level of anthropogenic load, and frequency of natural emergencies was carried out. To integrate recreational potential and natural risks, the I_{RPB} indicator was used to assess the suitability of territories for recreational development, taking into account safety. The territories were zoned according to their level of recreational sustainability and natural hazards, which made it possible to identify areas with high, medium, and low suitability for recreational activities. It was found that northern communities are characterized by high recreational potential but increased vulnerability to natural hazards, while southern areas have lower potential but more stable natural conditions.

Conclusions. The results obtained allow for a differentiated approach to planning recreational activities and developing infrastructure aimed at the balanced use of natural resources, as well as the development of natural risk management strategies at the regional level. The practical significance of the work lies in the creation of methodological tools for assessing the recreational attractiveness of territories, taking into account environmental constraints, which can be used by local authorities, planners, and scientists to ensure the sustainable development of recreational development in the Zhytomyr region. *Key words:* landscape and environmental assessment, recreational resources, natural risks, emergencies, sustainable development, Zhytomyr region.

Постановка проблеми. Актуальні тенденції розвитку рекреаційної сфери засвідчують зростання ролі комплексного аналізу природних, соціально-економічних та екологічних чинників у забезпеченні сталого використання територій. В умовах зростання частоти природних надзвичайних ситуацій, спричинених кліматичними змінами та антропогенним впливом, особливого значення набуває ландшафтно-екологічний підхід до оцінки територій. Такий підхід дає змогу визначити не лише рекреаційно-туристичну

привабливість місцевості, але й рівень її екологічної стійкості та вразливості до природних ризиків.

Актуальність дослідження. Житомирська область вирізняється значним ландшафтним різноманіттям, наявністю унікальних природних об'єктів, заповідних територій і рекреаційних ресурсів, що створюють передумови для розвитку різних форм туризму. Водночас регіон зазнає впливу низки природних загроз – лісових пожеж, паводків, зсувних процесів, посух, що можуть обмежувати або змінювати умови

туристичного використання території. Тому постає потреба у ландшафтно-екологічній оцінці територій, яка враховує як ресурсний потенціал, так і ризики надзвичайних ситуацій природного характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивчення питань сталого природокористування у рекреаційній сфері відзначаються міждисциплінарним підходом. Теоретичні засади оцінювання та розвитку рекреаційних ресурсів, а також питання планування й формування територіально-рекреаційних систем найбільш ґрунтовно опрацьовані у сучасних наукових студіях. Обґрунтування методологічних засад класифікації територій за показниками рекреаційного природокористування для збалансування його економічних, соціальних та екологічних функцій здійснили науковці [1]. Автор [2] зосередив свою увагу на дослідженні теоретико-методологічних підвалин геомаркетингового підходу до створення стратегії відновлення та розбудови туристичного простору. Автори [3, 4, 5] присвятили свої наукові пошуки питанням відновлення та розвитку туристично-рекреаційних комплексів в громадах і регіонах України в умовах післявоєнної реконструкції та можливості використання цифрових технологій. Небезпеки виникнення та поширення пожеж, а також їх залежність від погодних умов досліджені в працях авторів [6, 7], тоді як модель вогнестійкості соснових лісів наведена в дослідженні [8]. Автори [9] дослідили надзвичайні ситуації, пов'язані з повеннями в Україні, їх причини та наслідки. Проте комплексна ландшафтно-екологічна оцінка рекреаційного потенціалу Житомирщини з урахуванням впливу природних загроз потребує подальшого опрацювання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність досліджень рекреаційного потенціалу територій України, комплексна оцінка ландшафтів Житомирщини з урахуванням природних загроз залишається недостатньо розробленою. Недостатньо вивчено стійкість природних комплексів до ерозійних процесів, підтоплення та кліматичних змін. Тому актуальним є удосконалення методики ландшафтно-екологічної оцінки з урахуванням ризиків природного походження.

Наукова новизна. Удосконалено підхід до ландшафтно-екологічної оцінки рекреаційного потенціалу Житомирщини з урахуванням природних загроз. Методика інтегрує картографічні дані, моделювання ризиків та оцінку рекреаційних ресурсів, що дозволяє точніше визначати пріоритетні території для сталого розвитку рекреаційної діяльності.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Метою статті є ландшафтно-екологічна оцінка рекреаційного потенціалу Житомирщини в умовах дії природних загроз та визначення ефективних підходів до збалансованого використання рекреаційних ландшафтів з урахуванням екологічних обмежень і факторів ризику.

Методологія дослідження включала теоретичний аналіз наукових джерел, картографічних і геоінформаційних даних, а також чинних нормативно-правових документів у сфері природокористування та рекреації.

Викладення основного матеріалу. Житомирська область розташована в північно-західній частині України, у межах двох природних зон – Полісся та Лісостепу [11]. Така географічна позиція зумовлює високу природну контрастність території, різноманіття ландшафтних комплексів і значний потенціал для розвитку природоорієнтованих видів туризму.

Рельєф області переважно рівнинний, з незначними коливаннями абсолютних висот – від 120 до 280 м. Основу морфоструктури становлять вододільно-хвилясті та моренно-зандрові рівнини, сформовані внаслідок діяльності льодовика та давніх флювіогляціальних процесів. У південній частині області рельєф ускладнюється виходами кристалічних порід Українського щита [11].

Гідрографічна мережа представлена річками басейнів Дніпра, Прип'яті та Десни. Найбільші річки – Тетерів, Случ, Уборть, Ірша, Гнилоп'ять – мають значний рекреаційний потенціал і використовуються для водного туризму, рибальства та відпочинку [11].

Лісові екосистеми займають понад 30 % площі області, що значно перевищує середній показник по Україні. Переважають соснові, дубово-соснові та мішані ліси. У південній частині області поширені більш трансформовані агроландшафти з інтенсивним землекористуванням [12].

На території області функціонує понад 200 об'єктів природно-заповідного фонду різних категорій. Ці території поєднують унікальні природні комплекси з високим рівнем біорізноманіття та виступають осередками розвитку екологічного й науково-пізнавального туризму [13].

Таким чином, природно-ландшафтна структура Житомирщини формує сприятливі умови для розвитку різних напрямів туризму – екологічного, рекреаційного, історико-культурного, активного. Водночас природна різноманітність території зумовлює й нерівномірність її екологічної стійкості, що потребує подальшої ландшафтно-екологічної оцінки для визначення зон потенційного ризику та сталого використання туристичних ресурсів.

Ландшафтно-екологічна типізація територій є важливим інструментом для визначення просторових закономірностей поширення потенційних природних загроз і прогнозування надзвичайних ситуацій. Для території Житомирської області такий підхід дає змогу комплексно оцінити взаємозв'язок між природними умовами, рівнем антропогенного навантаження та екологічною стійкістю ландшафтів.

Для оцінки рекреаційної придатності територій враховано такі показники: природна стійкість ландшафтів, екологічний стан водних об'єктів,

лісистість, рівень антропогенного навантаження та наявність природних загроз. За результатами аналізу найвищий рівень рекреаційної привабливості мають північно-західні громади області – Овруцька, Ємільчинська, Олевська, де збереглися великі масиви хвойних лісів і численні водойми. Водночас ці території є потенційно небезпечними через ризики лісових пожеж у посушливі періоди, заболочення та вітровальної ерозії. У центральних і південних громадах (Житомирська, Бердичівська, Ружинська) серед природних загроз домінують зливові підтоплення, деградація ґрунтів і виснаження водних ресурсів, що обмежує можливість їх інтенсивного рекреаційного використання [14].

З урахуванням природних ризиків проведено зонування території за рівнем рекреаційної стійкості:

– Висока стійкість – лісові та річкові ландшафти північної частини області, придатні для розвитку екологічного, пішохідного, водного туризму.

– Середня стійкість – сільськогосподарсько-лісостепові ландшафти центральної частини області, придатні для сільського та зеленого туризму з екологічними обмеженнями.

– Низька стійкість – ерозійно-небезпечні території на півдні, схильні до деградаційних процесів, які потребують природоохоронного режиму.

Отримані результати свідчать, що ефективне використання рекреаційного потенціалу Житомирщини має базуватися на поєднанні ландшафтно-екологічного аналізу з оцінкою природних ризиків, що дозволить збалансувати розвиток туристичної інфраструктури та збереження природного середовища (табл. 1).

Проведена ландшафтно-екологічна оцінка показала, що території північної частини Житомирщини характеризуються найвищим рівнем рекреаційної стійкості завдяки збереженості лісових і водно-бо-

лотних ландшафтів та відносно низькому антропогенному навантаженню. Центральні райони області мають середній рівень придатності для рекреації, тоді як південні території є більш вразливими до ерозійних і гідрометеорологічних процесів.

Методологічно типізація базується на поєднанні геоморфологічного, гідрологічного, кліматичного та ґрунтово-рослинного аналізу з урахуванням частоти прояву небезпечних природних процесів (лісові пожежі, зливові підтоплення, ерозія ґрунтів, вітровали, посухи).

На основі поєднання ландшафтно-географічних характеристик і частоти прояву природних загроз територію Житомирщини поділено на три типи за ступенем небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій (табл. 2).

Проведена ландшафтно-екологічна типізація дозволила виокремити три групи територій за ступенем природної небезпеки. Найбільш уразливими до надзвичайних ситуацій є північні лісово-болотні райони, тоді як південна частина області характеризується відносною стабільністю природних умов. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації природоохоронних і рекреаційних заходів, просторового планування та розроблення стратегій сталого розвитку регіону.

Для комплексної оцінки територій Житомирської області у межах ландшафтно-екологічного підходу було здійснено спробу поєднання двох взаємопов'язаних параметрів – рекреаційного потенціалу (РП) та ступеня природної небезпеки (Н). Такий підхід дозволяє не лише визначити ресурсну привабливість територій, але й оцінити умови їх безпечного використання.

Враховуючи можливість одночасного існування високої ландшафтно-різноманітності та підвищеного

Таблиця 1

Ландшафтно-екологічна оцінка рекреаційного потенціалу територій Житомирщини

Громада / територія	Тип переважаючих ландшафтів	Основні природні ресурси	Природні загрози	Рівень рекреаційної придатності	Рекомендовані види туризму
Овруцька	Лісові, горбисто-вододільні	Ліси, водойми, кряжові підвищення	Лісові пожежі, заболочення	Високий	Екологічний, пішохідний, етнотуризм
Олевська	Лісово-болотні	Ліси, болота, річка Уборть	Підтоплення вітровал	Середній	Водний, зелений туризм
Житомирська	Лісостепові, долинні	Річка Тетерів, гранітні скелі	Зливові підтоплення	Середній	Відпочинковий культурно-пізнавальний
Бердичівська	Сільськогосподарські	Рівнинні ландшафти ставки	Ерозія, посухи	Низький	Сільський, агротуризм
Малинська	Лісові, річкові	Ліси, р. Ірша, кар'єри	Лісові пожежі	Високий	Активний, водний туризм

Примітка: рівні рекреаційної придатності визначено з урахуванням стійкості ландшафтів, екологічного стану та природних ризиків.

Джерело: сформовано автором на основі [11, 12]

Таблиця 2

Ландшафтно-екологічна типізація територій Житомирської області за ступенем природної небезпеки

Тип території	Характерні ландшафти	Основні природні ризики	Приклади громад	Рівень небезпеки
I тип – високонебезпечні	Лісові, болотні, піщані масиви Полісся	Лісові пожежі, вітровали, заболочення	Олевська, Овруцька, Ємільчинська	Високий
II тип – помірно небезпечні	Лісостепові, долинно-річкові	Підтоплення, ерозія, зсуви схилів	Житомирська, Коростишівська, Малинська	Середній
III тип – відносно стабільні	Рівнинні агроландшафти півдня області	Посухи, локальні пилові бурі	Бердичівська, Ружинська	Низький

Таблиця 3

Значення $I_{\text{РПБ}}$	Характеристика території	Рівень придатності
> 1.5	Високий рекреаційний потенціал, низький рівень ризику	Висока
1.0–1.5	Середній потенціал, помірна небезпека	Середня
< 1.0	Низький потенціал або підвищений ризик	Обмежена

рівня природних ризиків (зокрема у північних районах області), доцільним є використання інтегрального показника рекреаційної безпеки територій:

$$I_{\text{РПБ}} = \frac{\text{РП}}{N}$$

де:

$I_{\text{РПБ}}$ – інтегральний показник рекреаційного потенціалу з урахуванням безпеки;

РП – бальна оцінка рекреаційного потенціалу території (природно-ландшафтна різноманітність, біорізноманіття, наявність водних об'єктів, рівень природоохоронної репрезентативності тощо);

N – показник рівня природної небезпеки (частота або ймовірність проявів надзвичайних ситуацій природного характеру – пожеж, паводків, заболочення, зсувів тощо).

Чим вищим є значення $I_{\text{РПБ}}$, тим сприятливішою вважається територія для рекреаційного використання, оскільки поєднує високий потенціал з низьким ризиком.

На основі розрахованих значень інтегрального показника території можуть бути типізовані за рівнем придатності до рекреаційного освоєння (табл. 3).

На основі отриманих результатів інтегрального оцінювання проведено просторову типізацію територій Житомирської області за рівнем придатності до рекреаційного освоєння. Для глибшого аналізу взаємозв'язку між природними перевагами та потенційними загрозами здійснено зіставлення рівнів рекреаційного потенціалу та ступеня природних ризиків. Таке порівняння дозволяє простежити закономірності просторового поєднання природних ресурсів і факторів небезпеки (табл. 4).

Отримані результати свідчать про зворотну залежність між рівнем рекреаційного потенціалу та природною стійкістю територій.

Найвищі показники рекреаційної привабливості фіксуються у північних і центральних громадах області, проте саме вони характеризуються вищим рівнем природних загроз. Південні громади демонструють нижчий потенціал, але водночас вищу стійкість до екологічних ризиків.

Таким чином, просторовий аналіз поєднання природних переваг і ризиків свідчить про необхідність диференційованого підходу до рекреаційного освоєння територій Житомирщини. У районах із високим потенціалом, але підвищеною небезпекою, доцільно розвивати екологічно збалансовані та сезонно регульовані форми рекреаційно-туристичної діяльності, тоді як у більш стабільних південних районах можливе інтенсивніше господарське використання природних ресурсів.

Висновки. Результати проведеного ландшафтно-екологічного аналізу території Житомирської області засвідчили наявність просторової кореляції між рівнем рекреаційного потенціалу та ступенем природної небезпеки. Встановлено, що північні райони області, які характеризуються значною ландшафтною та біотичною різноманітністю, високою часткою природно-заповідних об'єктів і, відповідно, підвищеним рекреаційним потенціалом, водночас є більш уразливими до проявів природних небезпек – зокрема, лісових пожеж, вітровалів і підтоплення. Натомість центральні території виявляють оптимальне співвідношення між рівнем природних ресурсів і стійкістю до деструктивних природних процесів, що зумовлює їхню придатність для сталого рекреаційно-туристичного освоєння.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування ландшафтно-екологічного підходу при територіальному плануванні, розробленні стратегій розвитку рекреації й туризму, а також під час формування системи управління природними ризиками на регіональному рівні.

**Просторове поєднання рекреаційного потенціалу та природних ризиків
на території Житомирської області**

Рівень рекреаційного потенціалу / Рівень природних ризиків	Низький ризик	Середній ризик	Високий ризик	Тип території
Високий РП	Центральна частина області (Житомирська, Коростишівська громади) – збалансовані ландшафти, помірна небезпека.	Північ (Коростенська, Малинська громади) – лісові масиви, багаті на біорізноманіття, але ризик пожеж і підтоплень.	–	Потенційно привабливі, але потребують еколого-безпечного планування
Середній РП	Південний схід (Ружинська, Андрушівська громади) – агроландшафти з помірними ризиками.	–	–	Стабільні зони для помірного рекреаційного використання
Низький РП	Південні райони (Любарська, Чуднівська громади) – обмежені ресурси, стабільні умови.	Північний захід (Овруцька громада) – заболочені землі, високий ризик пожеж і деградації торфовищ.	–	Території з низьким потенціалом, придатні для природоохоронних функцій

Література

1. Львіна М.В., Шпильова Ю.Б. Методологічні засади класифікації територій за показниками рекреаційного природокористування. Укр. геогр. журн. 2021, 3(115). С. 56-64. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.03.054>
2. Мойсей С. Теоретико-методологічні засади геомаркетингового підходу до формування стратегії відновлення та розвитку туристичного простору. Наукові записки Львівського університету бізнесу та права. Серія економічна. Серія юридична. 2025. Випуск 45. С. 508-520
3. Матвієнко А. В. Сучасні стратегії відновлення та розвитку туристично-рекреаційних комплексів в Україні в умовах післявоєнної реконструкції. Економіка та суспільство. 2024. Випуск 68. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-144>.
4. Тимошенко Т.О., Шевчук О.А., Шевчук О.В. Розвиток туризму в громадах і регіонах України в умовах повоєнного відновлення. Економіка та суспільство. 2024. Випуск 63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-124>.
5. Цвілій С., Жилко О., Зайцева В. Використання цифрових технологій в післявоєнному відновленні індустрії туризму. Bulletin of Sumy National Agrarian University. 2023. № 3 (95). С. 21-25. DOI: <https://doi.org/10.32782/bsnau.2023.3.3>.
6. Jain, P., Castellanos-Acuna, D., Coogan, S.C., Abatzoglou, J.T., & Flannigan, M.D. Observed increases in extreme fire weather driven by atmospheric humidity and temperature. Nature Climate Change. 2022. 12(1), 63-70. doi: 10.1038/s41558-021-01224-1.
7. Andreieva Olena, Skydan Oleh, Wójcik Roman, Kędziora Wojciech, Alpatova Oksana. Influence of Weather Conditions on the Spread of Fires in the Forest Fund of Zhytomyr Polesia. Scientific Horizons, 2022. 25(3), p. 68-75. DOI: 10.48077/scihor.25(3).2022.68-75
8. Sydorenko, S., Voron, V., Koval, I., Sydorenko, S., Rumiantsev, M. & Hurzhii, R. Postfire tree mortality and fire resistance patterns in pine forests of Ukraine. Lesnicky Casopis, 2021. 67(1), 21-29. doi: 10.2478/forj-2020-0029
9. Шевчук Л. М., Герасимчук О. Л., Васільєва Л. А. Аналіз та оцінка надзвичайних ситуацій, пов'язаних з повеннями в Україні. Географія та туризм. 2024. Вип. 76. С. 44-52. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2024.76.44-52>
10. Шевчук Л.М., Герасимчук О.Л., Васільєва Л.А. Аналіз географічних особливостей Житомирського Полісся, його природних ресурсів та потенціалу для розвитку туризму. Географія та туризм. Вип. 73., 2023. С. 16-25. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2023.73.18-25>
11. Екологічний паспорт Житомирської області 2025. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/ecopasport%202024.pdf> (дата звернення: 10.10.2025).
12. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2023 році. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyssha-v-ukrayini/> (дата звернення: 10.10.2025).
13. Природно-заповідний фонд Житомирської області. <https://eprdep.zht.gov.ua/Biorecursy.html> (дата звернення: 14.10.2025)
14. Інженерно-геологічні умови Житомирської області. URL: https://geotop.com.ua/injenerno-geologicheskie-usloviya-jitomirskoy-oblasti_ua.php (дата звернення: 14.10.2025)

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ЕКОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ПАРКОВИХ ВОДОЙМ ТА ПРИРОДООРІЄНТОВАНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ПІДТРИМАННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ І ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ В УМОВАХ МІСТА

Коваленко Ю.О., Причепя М.В.

Інститут гідробіології Національної академії наук України
пр. Володимира Івасюка, 12, 04210, м. Київ
kovalenkoyuliia888@gmail.com, prichepa1987@ukr.net

Паркові водойми є осередками міського біорізноманіття та постачальниками екосистемних послуг, які підтримують екологічну стійкість і підвищують якість життя мешканців міста. На прикладі Оріхуватських ставків Голосіївського парку імені М. Рильського (м. Київ) розглянуто роль цих водойм у збереженні видового різноманіття іхтіофауни та орнітофауни, а також визначено основні екосистемні послуги, зокрема внесок окремих видів у регуляцію чисельності безхребетних, підтримання трофічних ланцюгів, поширення макрофітів і стабілізацію гідроекологічного балансу.

Встановлено, що стан паркових водойм визначається впливом комплексу антропогенних чинників, серед яких основними є рекреаційне навантаження, евтрофікація, забруднення стічними водами та поширення інвазійних видів. Найбільш деградованими є водойми з трансформованою прибережною зоною та недостатнім розвитком макрофітної рослинності, де спостерігається зниження видового різноманіття риб і птахів. Види, пов'язані з очеретяними угрупованнями, особливо чутливі до зміни гідроморфологічних умов, оскільки втрачають придатні гніздові біотопи. Натомість водойми з розвиненою прибережною рослинністю зберігають більшу структурну складність біотичних угруповань.

На основі отриманих результатів запропоновано комплекс природоорієнтованих рішень для підтримання біорізноманіття та екосистемних послуг паркових водойм. До рекомендованих заходів належать: відновлення прибережної рослинності, формування буферних смуг, створення штучних середовищ існування для риб і птахів, встановлення біоплатформ для очищення води, а також моніторинг і контроль інвазійних видів. Реалізація таких підходів сприятиме підвищенню екологічної стійкості міських водойм, відновленню їхніх регуляторних і культурних функцій та інтеграції екосистемного підходу в управління міськими зеленими зонами.

Результати дослідження мають практичне значення для оптимізації природоохоронних стратегій, удосконалення екологічного менеджменту малих водойм і формування політики сталого розвитку міських екосистем. *Ключові слова:* паркові водойми, екосистемні послуги, біорізноманіття, урбанізація, іхтіофауна, орнітофауна, природоорієнтовані рішення, антропогенний вплив.

Ecological significance of park ponds and nature-based approaches to maintaining biodiversity and ecosystem services in urban environments. Kovalenko Yu., Prychepa M.

Urban park ponds serve as refuges of urban biodiversity and providers of ecosystem services that support ecological stability and enhance the quality of life for city residents. Using the example of the Orikhuvatka ponds in M. Ryl'skyi Holosiivskyi Park (Kyiv), the study examines the role of these water bodies in preserving the species diversity of ichthyofauna and ornithofauna and identifies their main ecosystem services, including the contribution of individual species to the regulation of invertebrate populations, maintenance of trophic chains, dispersal of macrophytes, and stabilization of the hydroecological balance.

It was found that the condition of park ponds is determined by a complex of anthropogenic factors, primarily recreational pressure, eutrophication, wastewater pollution, and the spread of invasive species. The most degraded ponds are those with transformed riparian zones and poorly developed macrophyte vegetation, where the diversity of fish and bird species is reduced. Species associated with reed beds are particularly sensitive to changes in hydromorphological conditions, as they lose suitable nesting habitats. In contrast, ponds with well-developed littoral vegetation maintain a higher structural complexity of biotic communities.

Based on the findings, a set of nature-based solutions is proposed to sustain the biodiversity and ecosystem services of park ponds. The recommended measures include the restoration of riparian vegetation, establishment of buffer strips, creation of artificial habitats for fish and birds, installation of bio-platforms for water purification, as well as monitoring and control of invasive species. The implementation of these approaches will enhance the ecological resilience of urban ponds, restore their regulatory and cultural functions, and promote the integration of the ecosystem approach into urban green space management.

The results of this study have practical significance for optimizing conservation strategies, improving the ecological management of small water bodies, and informing policies for the sustainable development of urban ecosystems. *Key words:* park reservoirs, ecosystem services, biodiversity, urbanization, ichthyofauna, avifauna, nature-based solutions, anthropogenic impact.

Постановка проблеми. Малі водні об'єкти в межах міст відіграють роль у підтриманні екосистемних послуг, зокрема регулюють мікроклімат, очищують поверхневий стік, акумулюють вологу та формують осередки біорізноманіття [4].

Відсутність екосистемного підходу до управління ними призводить до деградації природних функцій і втрати екологічної стійкості, зокрема біорізноманіття, що погіршує загальний екологічний стан міста.

Актуальність дослідження. Каскад Оріхуватських ставків є одним із найвідвідуваніших водних об'єктів Києва, що виконує рекреаційну, гідрологічну, кліматорегулюючу функції. Зростання антропогенного, зокрема рекреаційного навантаження спричиняє трансформацію біотичних спільнот, зниження різноманіття риб і птахів, евтрофування та поширення інвазійних видів.

Зв'язок із науковими та практичними завданнями. Дослідження узгоджується зі Стратегією збереження біорізноманіття України до 2030 року та ЦСР ООН (ЦСР 11, ЦСР 15). Результати мають практичне значення для моніторингу, управління водними об'єктами та природоохоронного планування на території НПП «Голосіївський».

Аналіз попередніх досліджень. Міжнародний досвід показує, що ефективність інтегрованого підходу до оцінки стану урбанізованих водойм враховує гідроморфологічні, гідробіологічні та орнітологічні показники [1; 3]. В Україні такі дослідження проводилися в системі Опечень [13] і частково на Оріхуватському каскаді [7; 9], але здебільшого без урахування просторових характеристик і трофічних взаємозв'язків.

Невирішені питання. Відсутня комплексна оцінка паркових водойм, що поєднувала б гідроморфологічний аналіз із вивченням структури іхтіо- та орнітофауни як індикаторів екосистемної стійкості. Недостатньо вивчено також вплив рекреаційного навантаження на функціонування таких екосистем.

Новизна. Уперше Оріхуватські ставки розглянуто як єдину урбанізовану екосистему в межах Києва з урахуванням гідроморфологічних параметрів, структури рибного та пташиного населення й рівня рекреаційного тиску. Це дозволило оцінити стан водойм і запропонувати природоорієнтовані заходи для підтримання їхніх екосистемних функцій.

Методологія. Дослідження проводили у 2023-2024 рр. на каскаді Оріхуватських ставків у межах Голосіївського парку імені М. Рильського

(м. Київ). Каскад включає чотири водойми та сполучний струмок праву притоку р. Либідь. Водойми відрізняються ступенем гідроморфологічної трансформації: від природних берегів у верхніх ставках до бетонуваних укріплень у нижніх. Польові дослідження проводилися на 10 станціях (рис. 1) з охопленням різних біотопів.

Іхтіологічні лови проведено на всіх ставках, а також у струмку: молодь риб відбирали сачками (0,5-1 м; вічко 0,3-0,5 см) та здійснювали підводну фотофіксацію; визначення видів здійснювали за [8], номенклатура FishBase [10].

Орнітофауну вивчали маршрутно-точковим методом [11]: 20-60 хв на точку; у гніздовий період (IV-VII) двічі на місяць, у інші сезони – раз на місяць; реєстрували візуально та за голосом. Статус гніздування наведено ЕОАС (1992), класифікація й номенклатура [12].

Гідроморфологічна характеристика. Оріхуватські ставки розташовані в долині річки Оріхуватка правої притоки Либеді. Каскад включає чотири водойми завдовжки 100-180 м, глибиною 1,1-4,0 м і площею дзеркала 0,6-2,3 га. Рівень води підтримується штучно, коефіцієнт водообміну становить $\approx 1,9$, період водообміну близько пів року, що свідчить про помірну проточність [5; 6]. Верхні ставки мають природні береги з локаціями вільхового лісу, нижні укріплені бетоном, що створює градієнт від напівприродних до трансформованих ділянок.

Викладення основного матеріалу. За результатами досліджень встановлено, що у водоймах наявно 10 видів риб, що перевищує показники попередніх досліджень 1983 та 2001-2002 років (табл. 1).

Варто зауважити, що за повідомленням рибалки-аматора В. Стренеди, у водоймах Оріхуватського каскаду ловились також вугор (*Anguilla anguilla*), щипавка звичайна (*Cobitis taenia*) та йорж (*Gymnocephalus cernua*), що вказує про можливо ширший видовий склад іхтіофауни цих ставків.



Рис. 1. Станції досліджень на каскаді Оріхуватських ставків

Таблиця 1

Видовий склад риб Оріхуватських ставків за 1983, 2001-2002 та 2024 роки

Види риб	1983*	2001-2002**	2024***
Гірчак європейський <i>Rhodeus amarus</i>	–	✓	✓
Краснопірка звичайна <i>Scardinius erythrophthalmus</i>	–	–	✓
Плітка звичайна <i>Rutilus rutilus</i>	✓	–	–
Амур білий <i>Ctenopharyngodon idella</i>	✓	–	–
Верховка звичайна <i>Leucaspis delineatus</i>	✓	✓	✓
Верховодка звичайна <i>Alburnus alburnus</i>	–	–	✓
Амурський чебачок <i>Pseudorasbora parva</i>	–	✓	✓
Пічкур звичайний <i>Cobio gobio</i>	✓	–	✓
Гірчак звичайний <i>Rhodeus sericeus</i>	–	✓	–
Карась звичайний <i>Carassius carassius</i>	✓	–	–
Карась китайський <i>Carassius auratus</i>	–	✓	✓
Товстолобик білий <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	✓	–	–
Триголкова колючка <i>Gasterosteus aculeatus</i>	✓	✓	✓
Окунь звичайний <i>Perca fluviatilis</i>	–	✓	✓
Бичок-гонець <i>Babka gymnotrachelus</i>	✓	–	–
Ротань-головешка <i>Perccottus glenii</i>	–	–	✓
Всього видів	8	7	10

* – [9]; ** – [7]; *** – власні дані

Таблиця 2

Види та розподіл риб Оріхуватських ставків

Види риб	Оріхуватські ставки				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Оріхуватський струмок
Краснопірка звичайна <i>Scardinius erythrophthalmus</i>	✓	✓	–	–	–
Верховодка звичайна <i>Alburnus alburnus</i>	✓				
Верховка звичайна <i>Leucaspis delineatus</i>	✓	–	✓	–	–
Ротань-головешка <i>Perccottus glenii</i>	✓	✓	–	–	–
Окунь річковий <i>Perca fluviatilis</i>	✓	–	–	–	–
Гірчак європейський <i>Rhodeus amarus</i>	✓	✓	–	–	–
Пічкур звичайний <i>Gobio gobio</i>	✓	–	–	–	✓
Карась китайський <i>Carassius auratus</i>	✓	✓	✓	–	✓
Колючка триголкова <i>Gasterosteus aculeatus</i>	✓	–	–	–	–
Амурський чебачок <i>Pseudorasbora parva</i>	–	–	–	✓	–

З таблиці видно зменшення частки інтродуцентів і появу нових видів, що може вказувати на часткове природне відновлення іхтіокомплексу й зниження впливу штучного зариблення. Видове різноманіття розподілене нерівномірно через неоднорідність біотопів і різний рівень антропогенного впливу (табл. 2).

У ставках із розвинутою прибережною рослинністю співіснують планктофаги і хижі види. У нижніх, деградованих водоймах домінує *Carassius auratus*, що вказує на евтрофування цього ставу. Крім того тут активно розвивається водяний горіх *Trapa*

natans. Інвазійні види становлять значну частку іхтіофауни у ставках № 3 та № 4 (табл. 3).

Орнітофауна складається з 8 видів водно-болотних птахів. Така кількість видів є типовою для урбанізованих водойм. Найбільше птахів виявлено у ставку № 1, де домінували крижень і лиска (табл. 4). Загалом, розподіл птахів на ставках залежить від біотопів: водойми з розвинутою прибережною рослинністю та складною береговою лінією (ставки № 1 та № 2), які є сприятливішими для птахів, ніж спрощені й замулені водойми нижнього каскаду.

Таблиця 3

**Види риб виявлені у 2024 році в Оріхуватських ставках
які надають екосистемні послуги та дизпослуги**

Вид риб	Екосистемні послуги видів	Дизпослуги інвазійних видів
Краснопірка звичайна <i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Регуляція чисельності безхребетних; розповсюдження насіння макрофітів; підтримка трофічних ланцюгів	×
Верховодка звичайна <i>Alburnus alburnus</i>	Підтримка трофічних ланцюгів	×
Верховка звичайна <i>Leucaspis delineatus</i>	Регуляція чисельності планктонних організмів; підтримка трофічних ланцюгів	×
Окунь річковий <i>Perca fluviatilis</i>	Регуляція чисельності короткоциклових і молоді риб; підтримка трофічних ланцюгів	×
Гірчак європейський <i>Rhodeus amarus</i>	Розповсюдження насіння макрофітів; створення середовища для організмів; підтримка трофічних ланцюгів	×
Пічкур звичайний <i>Gobio gobio</i>	Регуляція чисельності безхребетних; підтримка трофічних ланцюгів	×
Колючка триголкова <i>Gasterosteus aculeatus</i>	Регуляція чисельності комах; підтримка харчових ресурсів для хижаків	За надлишкової кількості здійснює тиск на бентос та ікру інших видів риб
Ротан головешка <i>Perccottus glenii</i>	Регуляція популяцій інших риб	Тиск на риб та амфібій знижуючи їх чисельності на ранніх етапах розвитку
Амурський чебачок <i>Pseudorasbora parva</i>	Споживання водних безхребетних; підтримка трофічних ланцюгів	Конкуренція з рибами за харчові ресурси; тиск на макроліти (Bianco, Pier 2006)
Карась китайський <i>Carassius auratus</i>	Підтримка якості води через споживання рослинності; розповсюдження насіння, забезпечення ланцюгів живлення як водних так і довколаводних тварин	Конкурує з аборигенними видами за ресурси; сприяє замуленню водойми (Vladimir, Mei, Tang ... Zhang 2024)

Таблиця 4

Видовий склад птахів Оріхуватських ставків

Види птахів	Оріхуватські ставки			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Мартин звичайний <i>Larus ridibundus</i>	1	2	1	×
Крячок річковий <i>Sterna hirundo</i>	3	×	×	×
Лиска <i>Fulica atra</i>	4	×	2	2
Курочка водяна <i>Gallinula chloropus</i>	2	2	×	1
Очеретянка велика <i>Acrocephalus arundinaceus</i>	2	1	×	×
Крижень <i>Anas platyrhynchos</i>	8	4	4	×
Чапля сіра <i>Ardea cinerea</i>	×	1	×	×
Бугайчик <i>Ixobrychus minutus</i>	×	1	×	×

Присутність бугайчика й очеретянки великої вказує на збереження природних гідрофітних біотопів, тоді як низька чисельність мартинів і крячків зумовлена рекреаційним тиском. Порівняння з даними 2016-2020 рр. (Коваленко, Причепя, 2021) показує стабільність орнітокомплексу. Види забезпечують

ключові екосистемні функції: регуляцію чисельності безхребетних і риб, контроль комах, дисперсію насіння та підтримання трофічної рівноваги (табл. 5).

Найвище видове багатство (рис. 2) встановлено у ставках № 1-2 (9 і 4 види риб; 7 і 7 видів птахів), тоді як у нижніх водоймах і струмку (1-3 і 0-4 види)

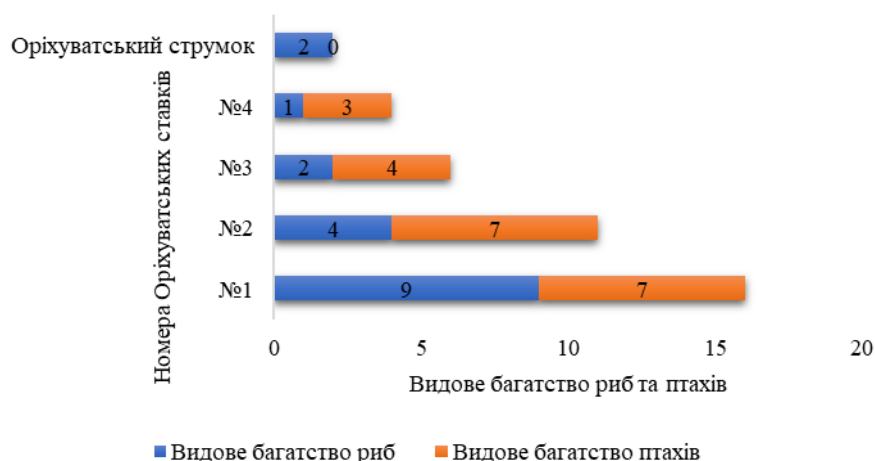


Рис. 2. Видове багатство риб та птахів Орікуватських ставків



Рис. 3. Розподіл видів риб та птахів за екосистемними послугами у Орікуватських ставках

воно істотно менше, що відображає деградацію середовища.

Загалом риби і птахи Орікуватських ставків виконують 5 основних екосистемних функцій (рис. 3). Найпоширеніші: регуляція чисельності водних безхребетних (10 видів) і підтримка трофічних ланцюгів (8 видів), тоді як функції розповсюдження насіння та контролю популяцій риб забезпечують відповідно 6 і 5 видів.

Регуляцію розростання макрофітів здійснюють лише два види птахів, проте саме вони характеризуються найбільшою чисельністю, що визначає вагомість цієї екосистемної послуги для підтримання природного балансу цих паркових водойм.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявні дослідження урбанізованих водойм Києва, екологічний стан паркових ставків досі вивчено неповно, особливо щодо впливу рекреації, забруднення, інвазійних видів і змін гідрорежиму на іхтіо- та орнітофауну. Недостатньо з'ясована роль прибережної рослинності й бракує інтегрованих оцінок, що поєднують дані про водну фауну та птахів для визначення екосистемних функцій.

Основні екосистемні послуги. Малі водні об'єкти урбанізованих територій забезпечують регу-

лювальні, підтримуючі й культурні послуги, важливі для збереження біорізноманіття, регуляції мікроклімату та рекреації.

Регулюючі послуги. Риби (*Leucaspis delineatus*) і птахи (*Anas platyrhynchos*) зменшують чисельність безхребетних, запобігаючи спалахам шкідників; *Ardea cinerea* регулює популяції короткоциклових риб, а *Fulica atra* – заростання макрофітів.

Підтримуючі послуги. *Scardinius erythrophthalmus* і *A. platyrhynchos* сприяють поширенню насіння макрофітів, а риби (*Perca fluviatilis*, *Gobio gobio*) стабілізують трофічні мережі.

Культурні послуги. Ставки виконують рекреаційну, освітню та наукову функції, використовуючись для спостереження за птахами й навчальних практик з іхтіології студентами НУБіП України.

Інвазійний тиск. Поширення *Perccottus glenii*, *Carassius auratus* і *Pseudorasbora parva* знижує біорізноманіття, порушує трофічні зв'язки та екологічну рівновагу.

Наслідки втрати екосистемних послуг. Зникнення регуляторних видів може спричинити спалахи чисельності комах, деградацію трофічних мереж, скорочення необхідної площі та співвідношення видів макрофітів, домінування толерантних та стагнофільних риб і зниження рекреаційної цінності [2].

Таблиця 5

Водно-болотні птахи Оріхуватських ставках та їх екосистемні послуги

Вид птахів	Екосистемні послуги видів птахів
Мартин звичайний <i>Larus ridibundus</i>	Регуляція чисельності безхребетних та дрібних риб; перерозподіл поживних речовин
Крячок річковий <i>Sterna hirundo</i>	Регуляція чисельності дрібних короткоциклових риб
Лиска <i>Fulica atra</i>	Відновлення водної рослинності
Курочка водяна <i>Gallinula chloropus</i>	Регуляція чисельності комах; розповсюдження насіння
Очеретянка велика <i>Acrocephalus arundinaceus</i>	Регулювання чисельності комах
Крижень <i>Anas platyrhynchos</i>	Розповсюдження насіння; контроль чисельності безхребетних, зокрема збудників паразитів, які інвазуються на рибах; регуляція щільності макрофітів
Чапля сіра <i>Ardea cinerea</i>	Регуляція чисельності риб (у т.ч. інвазійних)
Бугайчик <i>Ixobrychus minutus</i>	Регуляція чисельності дрібних риб та безхребетних

Таблиця 6

Компенсаційні заходи для відновлення екосистемного балансу Оріхуватських ставків

Заходи	Опис
Відновлення прибережної рослинності	Збереження очерету (<i>Phragmites australis</i>) і рогузу (<i>Typha latifolia</i>) на площі не більше 50% дзеркала водойм (бажано в межах 30%)
Зменшення антропогенного навантаження	Обмеження бетонування берегів, створення буферних зон з обмеженим доступом
Формування буферних смуг	Використання місцевих чагарників і вербових насаджень для зміцнення берегів
Контроль інвазійних видів	Регулярний моніторинг, виловлення інвазійних риб і реінтродукція аборигенних видів без використання далекосхідних рослиноідних риб та коропа
Створення штучних середовищ існування	Установлення гніздівель, платформ і конструкцій для нересту риб
Реставрація екосистем	Застосування біоплато, фітоочищення та біофільтраційних систем для поліпшення якості води

Компенсаційні заходи. Замість природних механізмів можуть застосовуватись технічні рішення, зокрема:

– інсектициди (30–65 тис. грн) – ефективні, але токсичні;

– механічне очищення від макрофітів (≈160 тис. грн) – короточасний ефект. Природоорієнтовані рішення залишаються більш сталим і безпечним шляхом підтримання екосистемних функцій.

Природоорієнтовані рішення для підтримки біорізноманіття

Відповідно до принципів [4; 14; 15] для підтримки екосистемних послуг паркові водойми на прикладі каскаду Оріхуватських ставків доцільно впровадити комплекс природоорієнтованих заходів (табл. 6).

Головні висновки. Риби та птахи Оріхуватських ставків забезпечують ключові екосистемні функції, однак зазнають впливу рекреації, забруднення та інвазійних видів. Для підвищення екологічної стійкості необхідні відновлення прибережної рослинності, контроль процесів інтродукції та інвазій і впровадження природоорієнтованих рішень для збереження генофонду аборигенної фауни. Оріхуватські ставки завдяки доступності і незначній площі водного дзеркала є модельним прикладом для екологічного менеджменту міських водойм.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати можуть використовуватися для впровадження природоорієнтованих рішень і оптимізації рекреаційного навантаження, а також у науково-освітніх і природоохоронних цілях.

Література

1. Craig J.F. *Percid fishes: systematics, ecology and exploitation*. Chichester: John Wiley & Sons, 2008.
2. Olden J.D., Kennard M.J., Leprieur F., Tedesco P.A., Winemiller K.O., García-Berthou E. Conservation biogeography of freshwater fishes: recent progress and future challenges. *Diversity and Distributions*. 2010. Vol. 16(3). P. 496–513.
3. Mitchell P.I., Newton S.F., Ratcliffe N., Dunn T.E. *Seabird populations of Britain and Ireland: results of the Seabird 2000 census (1998–2002)*. London, 2004.
4. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
5. Вишневський В. Водні ресурси України у глобальному контексті. Київ, 2021.
6. Батог І., Іванова О. Стан урбанізованих водойм: екологічний аспект. Київ, 2023.
7. Кравець М.О. *Оцінка екологічного стану каскаду Голосіївських ставків*. Дипломна робота. Київ, 2013. 27 с.
8. Мовчан Ю.В. *Риби України (визначник-довідник)*. Київ, 2011. 420 с.
9. Романенко О.В., Арсан О.М., Кіпніс Л.С., Ситник Ю.М. (2015). *Екологічні проблеми Київських водойм і прилеглих територій* : монографія / за ред. О.В. Романенка. Київ : Наукова думка. 189 с.
10. Froese R., Pauly D. Editors. *FishBase*. World Wide Web electronic publication. 2023. URL: www.fishbase.org (дата звернення: 22.10.2025).
11. Hutto R.L., Pletschet S.M., Hendricks P. A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *The Auk*. 1986. Vol. 103. P. 593–602.
12. Фесенко Г.В., Бокотей А.А. *Птахи фауни України: польовий визначник*. Київ: Українське т-во охорони птахів, 2002. 416 с.
13. Коваленко Ю.О., Причепя М.В. Видовий склад водоплавних і навколводних птахів окремих озер Києва як індикатори загального стану навколишнього середовища. *Екологічні науки*. 2021. Т. 7(34). С. 192–199.
14. Costanza R., d'Arge R., De Groot R. та ін. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997. Vol. 387. P. 253–260.
15. Keddy P.A. *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

Дата першого надходження рукопису до видання: 29.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ВИДОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ МІКОБІОТИ В ПРИРОДНОМУ УГРУПОВАННІ БУКА ЛІСОВОГО ТА БАРВІНКУ МАЛОГО (НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРИРОДНИЙ ПАРК «ГУЦУЛЬЩИНА»)

Фокшей С.І., Погрібний О.О.

Національний природний парк «Гуцульщина»

вул. Дружби, 87, 78601, м. Косів

stellaannafr@gmail.com, pogribnyj@i.ua

Робота присвячена дослідженню мікобіоти в рідкісному природному угрупованні бука лісового та барвінку малого (Зелена книга України), де закладено постійну пробну площу (ППП) № 8. Здійснено аналіз таксономічної, еколого-трофічної структури мікобіоти досліджуваної території, виявлення та картування рідкісних видів. В результаті польових досліджень зареєстровано 87 видів справжніх грибів (Fungi) котрі належать до 57 родів, 33 родин, 9 порядків, 3 класів, 2 відділів Ascomycota та Basidiomycota. Серед них 5 видів макроміцетів (*Aspropaxillus giganteus* (Sowerby) Kühner & Maire, *Mycena leptcephala* (Pers.) Gillet, *Parasola conopilea* (Fr.) Örstadius & E. Larss, *Russula adusta* (Pers.) Fr. та *R. graveolens* Romell) вперше зареєстровані для природно заповідного фонду Українських Карпат. Аналіз таксономічної структури демонструє переважання двох порядків – Agaricales Underw. (41 вид, 47,1% від загальної кількості видів), Russulales Kreisel ex P.M. Kirk, P.F. Cannon & J.C. David (20 видів, 23%); 6 родин – Russulaceae Lotsy (18 видів, 20,7%), Polyporaceae Fr. ex Corda (9 видів, 10,3%), Amanitaceae E.-J. Gilbert, Boletaceae Chevall., Mycenaceae Overeem, Psathyrellaceae Vilgalys, Moncalvo & Redhead (по 5 видів кожна, 5,7%). та 4 роди – *Russula* (Pers.) Fr. (15 видів, 17,2%), *Amanita* Pers. (5 видів, 5,7%), *Mycena* Kumm. та *Trametes* (Pers.) Fr. (по 4 види, 4,6%). Серед виявлених видів домінують мікоризоутворювачі (32 видів, 37%) та ксилотрофи (30, 34%). Інші еколого-трофічні групи представлені меншою кількістю видів: гумусові сапротрофи – 11 видів (13%), підстильні сапротрофи – 10 (11,5%) гриби-паразити дерев – 3 (3,5%) та один бріотроф.

Два види грибів (*Strobilomyces strobilaceus* (Scop.) Berk. і *Mutinus caninus* (Huds.) Fr.) на досліджуваній території є рідкісними, і включені до Червоної книги України. *Amanita verna*, *Aspropaxillus giganteus* та *Mutinus caninus* належать до Червоних списків грибів Європейських держав (Естонії, Чехії і Хорватії) із різними статусами. **Ключові слова:** еколого-трофічні групи, макроміцети, рідкісне природного угруповання бука лісового та барвінку малого, рідкісні види.

Species diversity of mycobiota in a natural community of forest beech and small periwinkle National Nature Park "Hutsulshchyna". Fokshei S., Pohribnyi O.

The study is devoted to the investigation of the mycobiota in a rare habitat – a beech forest with periwinkle (included in the Green Book of Ukraine) – where a permanent sample plot (PSP) No. 8 has been established. The taxonomic and ecological-trophic structure of the mycobiota in the studied area has been analyzed. A total of 87 species of fungi (Fungi) belonging to 57 genera, 33 families, 9 orders, 3 classes, and 2 divisions (Ascomycota and Basidiomycota) were recorded. Among them, five species of macromycetes – *Aspropaxillus giganteus* (Sowerby) Kühner & Maire, *Mycena leptcephala* (Pers.) Gillet, *Parasola conopilea* (Fr.) Örstadius & E. Larss, *Russula adusta* (Pers.) Fr., and *R. graveolens* Romell – were recorded for the first time within the nature reserve fund of the Ukrainian Carpathians. Analysis of the taxonomic structure revealed the predominance of two orders: Agaricales Underw. (41 species, 47.1% of the total) and Russulales Kreisel ex P.M. Kirk, P.F. Cannon & J.C. David (20 species, 23%). The leading families are Russulaceae Lotsy (18 species, 20.7%), Polyporaceae Fr. ex Corda (9 species, 10.3%), Amanitaceae E.-J. Gilbert, Boletaceae Chevall., Mycenaceae Overeem, and Psathyrellaceae Vilgalys, Moncalvo & Redhead (5 species each, 5.7%). The most species-rich genera are *Russula* (Pers.) Fr. (15 species, 17.2%), *Amanita* Pers. (5 species, 5.7%), *Mycena* Kumm., and *Trametes* (Pers.) Fr. (4 species each, 4.6%). Among the identified species, mycorrhizal fungi (32 species, 37%) and xylophagous fungi (30 species, 34%) dominate. Other ecological-trophic groups are represented by fewer species: humus saprotrophs – 11 species (13%), litter saprotrophs – 10 (11.5%), tree parasites – 3 (3.5%), and bryotrophs – 1 species.

Two species (*Mutinus caninus* (Huds.) Fr.; *Strobilomyces strobilaceus* (Scop.) Berk.) are rare in the study area and are listed in the Red Book of Ukraine. Additionally, *Amanita verna*, *Aspropaxillus giganteus*, and *Mutinus caninus* are included in the Red Lists of fungi of several European countries (Estonia, the Czech Republic, and Croatia) with varying conservation statuses. **Key words:** ecological-trophic groups, macromycetes, rare natural communities of forest beech and small periwinkle, rare species.

Постановка проблеми та актуальність досліджень. Дослідження видового різноманіття живих організмів на територіях, що перебувають під охороною є одним із ключових напрямів сучасної біологічної науки. В умовах актуальних викликів, зокрема глобальних кліматичних змін на території України, систематичні обстеження й інвентаризація мікобіоти природоохоронних територій набувають особливого значення для збереження видів та їхніх природних

оселищ. Серед об'єктів, що становлять великий науковий інтерес для проведення флористичних, мікологічних і зоологічних досліджень, варто виокремити Національний природний парк «Гуцульщина» (Івано-Франківська область, Україна), знаний своєю багатою природною та історико-культурною спадщиною.

Актуальність нашого дослідження зумовлена необхідністю виявлення рідкісних угруповань на території досліджень та прилеглих землях, а також вивчення

основних закономірностей їх розвитку. Подібні роботи важливо проводити на кожному з об'єктів природно-заповідного фонду, що дозволить визначити місця поширення та площі таких угруповань, а також відстежувати зміни їхнього стану в динаміці. Зважаючи на те, що 96% території НПП «Гуцульщина» займають ліси, виявлення, дослідження та організація моніторингу рідкісних лісових угруповань (Зелена книга України) є одним із першочергових завдань парку.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Погіршення стану лісів у країнах Європи стало причиною запровадження ЄС у 1985 році програми моніторингу лісів «ICP Forest». Завдяки екологічному моніторингу вдалося не лише оцінити сучасний стан лісових екосистем, а й відстежувати напрями та тенденції їхньої динаміки в умовах сьогодення, а також здійснювати прогнозування на майбутнє. У співпраці НПП «Гуцульщина» з лабораторією екології УкрНДІгірліс у 2003 році була створена локальна мережа моніторингу I–II рівня відповідно до методичних засад програми «ICP Forest». Упродовж 2003–2024 рр. на території району закладено 15 постійних пунктів спостереження та 15 постійних пробних площ. Щорічні обстеження цих об'єктів проводяться за єдиною методикою та дають можливість отримувати чіткі характеристики стану лісів. Моніторинг екосистем НПП, що включає спостереження за рослинними угрупованнями, включеними до «Зеленої книги України» та видами Червоної книги України, забезпечує комплексну оцінку стану деревостану, трав'яного покриву, підстилки, ґрунтів, мезофауни, мікобіоти, ссавців і орнітофауни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У XVIII–XIX ст. вивчення мікобіоти території, що нині входить до НПП «Гуцульщина» здійснювалися фрагментарно. Починаючи з 2002 р., після створення парку, дослідженням грибів та грибоподібних організмів займалися як науковці НПП «Гуцульщина», так і мікологи Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, Національного лісотехнічного університету України, ХНПУ ім. Г.С. Сковороди, Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника.

У 2003 р. у співпраці з «УкрНДІгірліс» було започатковано моніторинг лісів I та II рівнів. Пралісові екосистеми Парку ідентифікували та описали к.с.-г.н. Лосюк В.П. і к.с.-г.н. Погрібний О.О., к.б.н. Держипільський, заст. начальника науково-дослідного відділу Фокшей С.І. Результати багаторічних досліджень відображено у наукових працях і Літописах природи НПП «Гуцульщина» [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Традиційно лісове господарство Косівського району велося за ресурсним принципом і ґрунтувалося на заготівлі деревини. З моменту створення НПП «Гуцульщина» більшість лісів отримали статус «природно-охоронних» і стали частиною національної екомережі [9].

Методологічне або загальнонаукове значення.

Дослідження виконували за методичними рекомендаціями IUFRO, із застосуванням підходів екологічного моніторингу II рівня програми «ICP-Forest» та традиційних лісівничо-таксаційних методів. У ході наукової роботи поєднано лісівничо-моніторингові методики з ботанічними та мікологічними [10, 11, 12]. Матеріал мікобіоти збирали експедиційно-маршрутним методом, а гербаризацію здійснювали за класичними методиками [13]. Ідентифікацію макроміцетів проводили з використанням визначників, атласів та сучасних публікацій [14, 15]. Номенклатуру грибів подано згідно з **Index Fungorum** [16]. Новизну видового складу для Карпатського регіону перевіряли на основі монографії «*Гриби заповідників і національних природних парків Українських Карпат*» [17].

Виклад основного матеріалу. З моменту створення НПП «Гуцульщина» на його території виявлено 20 рослинних угруповань, включених до Зеленої книги України. Ступінь їх вивченості є різним, що зумовлює потребу у подальших дослідженнях цих угруповань. Для цілей моніторингу лісових екосистем сформовано мережу постійних пунктів спостереження (ППС) I-рівня, яка дає змогу оцінювати загальний стан лісів, та мережу постійних пробних площ (ППП) II-рівня для більш детального вивчення структури деревостанів, мертвої деревини, підросту, трав'яного покриву, мохів, грибів і підстилки. Спершу для досліджень були обрані типові лісові формації парку, а згодом – і рідкісні угруповання, занесені до Зеленої книги України. Серед них – Угруповання букових лісів (*Fageta sylvaticae*) з домінуванням барвінку малого (*Vinca minor* L.). Це угруповання представлене єдиною асоціацією – буковим лісом малобарвінковим (*Fagetum (sylvaticae) vincosum (minoris)*). Барвінок малий у межах НПП «Гуцульщина» трапляється мозаїчно: у дібровах, бучинах та на узліссях ялицево-букових лісів. Найбільший локалітет виявлено у Косівському ПНДВ (кв. 1, вид. 3), де у 2018 р. закладено постійну пробну площу на середній частині схилу північно-східної експозиції (висота 510 м н.р.м.) на сірих лісових ґрунтах. На PPP здійснюються комплексні спостереження за станом деревостану, трав'яного покриття, підстилки, ґрунтів, мікобіоти, ссавців і птахів. За результатами аналізу власних зібраних зразків та польових досліджень для PPP № 8 складений список мікобіоти, який включає 87 видів грибів.

Мікофлора PPP № 8 представлена двома відділами Ascomycota і Basidiomycota. Їх чисельність становить 7,3% від загальної кількості видів, що зареєстровані на території НПП «Гуцульщина» (1192) та 3,5% відомих в Українських Карпатах (2504) [3, 17]. Виявлені в бучині барвінковій види макроміцетів належать до 57 родів, 33 родин, 9 порядків, 3 класів, 2 відділів Fungi (табл. 1).

Таксономічна структура макроміцетів на ППП № 8

Порядок	Родина	Рід	Назва виду
1	2	3	4
Fungi			
Відділ Ascomycota			
Клас Eurotiomycetes			
Chaetothyriales	Herpotrichiellaceae	<i>Capronia</i> Sacc.	<i>C. parasitica</i> (Ellis et Everh.) E. Müll., Petrini, P.J. Fisher, Samuels et Rossman
Клас Leotiomycetes			
Helotiales	Chlorociboriaceae	<i>Chlorociboria</i> Seaver	<i>Ch. aeruginascens</i> (Nyl.) Kanouse
Відділ Basidiomycota			
Клас Agaricomycetes			
Agaricales	Agaricaceae	<i>Agaricus</i> L.	<i>A. silvicola</i> (Vittad.) Peck
	Amanitaceae	<i>Amanita</i> Pers.	<i>A. citrina</i> Pers. <i>A. fulva</i> Fr. <i>A. phalloides</i> (Vaill. ex Fr.) Link <i>A. rubescens</i> Pers. <i>A. verna</i> Bull. ex Lam.
	Bolbitiaceae	<i>Bolbitius</i> Fr.	<i>B. titubans</i> (Bull.) Fr.
	Clitocybaceae	<i>Clitocybe</i> Kumm.	<i>C. nebularis</i> (Batsch) P. Kumm.
	Entolomataceae	<i>Entoloma</i> (Fr.) P. Kumm.	<i>E. vernum</i> S. Lundell
	Hymenogastraceae	<i>Galerina</i> (Vahl) Singer	<i>G. hypnorum</i> (Schrank) Kühner
	Hydnangiaceae	<i>Laccaria</i> Cooke	<i>L. amethystina</i> Cooke <i>L. laccata</i> (Scop.) Cooke
	Lycoperdaceae	<i>Lycoperdon</i> Pers.	<i>L. perlatum</i> Pers.
	Lyophyllaceae	<i>Lyophyllum</i> Singer	<i>L. decastes</i> (Fr.) Singer
	Marasmiaceae	<i>Marasmius</i> (Jacq.) Fr.	<i>M. bulliardii</i> Quél.
		<i>Megacollybia</i> Kotl. & Pouzar	<i>M. platyphylla</i> (Pers.) Kotl. & Pouzar
		<i>Mycetinis</i> Earle	<i>M. alliaceus</i> (Jacq.) Earle ex A.W. Wilson & Desjardin <i>M. scorodonius</i> (Fr.) A.W. Wilson & Desjardin
	Mycenaceae	<i>Mycena</i> Kumm.	<i>M. crocata</i> (Schrad.) P. Kumm <i>M. leptcephala</i> (Pers.) Gillet <i>M. rosea</i> Gramberg <i>M. stylobates</i> (Pers.) P. Kumm.
		<i>Xeromphalina</i> Kühner & Maire	<i>X. campanella</i> (Batsch) Kühner & Maire
	Omphalotaceae	<i>Gymnopus</i> (Pers.) Gray	<i>G. dryophilus</i> (Bull.) Murrill
		<i>Rhodocollybia</i> Singer	<i>Rh. butyracea</i> (Bull.) Lennox
	Physalacriaceae	<i>Armillaria</i> (Fr.) Lamoure	<i>A. mellea</i> (Vahl) P. Kumm.
		<i>Mucidula</i> Pat.	<i>M. mucida</i> (Schrad.) Pat.
		<i>Strobilurus</i> (Pers.) Singer	<i>S. tenacellus</i> (Pers.) Singer
		<i>Xerula</i> (Relhan) Dörfelt	<i>X. pudens</i> (Pers.) Singer
	Pleurotaceae	<i>Pleurotus</i> (Fr.) Quél.	<i>P. pulmonarius</i> (Fr.) Quél.
	Pluteaceae	<i>Pluteus</i> Fayod	<i>P. cervinus</i> (Schaeff.) P. Kumm.

Продовження табл. 1

1	2	3	4
Agaricales	Psathyrellaceae	<i>Candolleomyces</i> D. Wächt.	<i>Candolleomyces candolleanus</i> (Fr.) D. Wächt. & A. Melzer
		<i>Coprinellus</i> P. Karst.	<i>C. micaceus</i> (Bull.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson
		<i>Coprinopsis</i> P. Karst.	<i>C. picacea</i> (Bull.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo
		<i>Psathyrella</i> (Fr.) Quél.	<i>P. piluliformis</i> (Bull.) P.D. Orton
		<i>Parasola</i> Redhead, Vilgalys & Hopple	<i>P. conopilea</i> (Fr.) Örstadius & E. Larss
	Schizophyllaceae	<i>Schizophyllum</i> Fr.	<i>S. commune</i> Fr.
	Strophariaceae	<i>Hypholoma</i> Kumm.	<i>H. fasciculare</i> (Huds.) P. Kumm. <i>H. lateritium</i> (Schaeff.) P. Kumm.
		<i>Stropharia</i> Quél.	<i>S. aeruginosa</i> (Curtis) Quél.
	Tricholomataceae	<i>Aspropaxillus</i> Kühner & Maire	<i>A. giganteus</i> (Sowerby) Kühner & Maire
Boletales	Boletaceae	<i>Boletus</i> L.	<i>B. edulis</i> Bull.
		<i>Neoboletus</i> Gelardi, Simonini & Vizzini	<i>N. erythropus</i> (Pers.) C. Hahn <i>N. luridiformis</i> (Rostk.) Gelardi, Simonini & Vizzini
		<i>Strobilomyces</i> Berk.	<i>S. strobilaceus</i> (Scop.) Berk.
		<i>Xerocomus</i> Quél.	<i>X. subtomentosus</i> (L.) Quél.
Gloeophyllales	Gloeophyllaceae	<i>Gloeophyllum</i> (Wulfen) Imazeki	<i>G. abietinum</i> (Bull.) P. Karst. <i>G. odoratum</i> (Wulfen) Imazeki
Hymenochaetales	Hymenochaetaceae	<i>Inonotus</i> P. Karst	<i>I. cuticularis</i> (Bull.) P. Karst.
	Incertae sedis	<i>Trichaptum</i> Murrill	<i>T. bifforme</i> (Fr.) Ryvarden
Phallales	Phallaceae	<i>Mutinus</i> Fr.	<i>M. caninus</i> (Huds.) Fr.
		<i>Phallus</i> L.	<i>Ph. impudicus</i> L.
Polyporales	Fomitopsidaceae	<i>Fomitopsis</i> (Sw.) P. Karst.	<i>F. pinicola</i> (Sw.) P. Karst.
		<i>Neoantrodia</i> Audet	<i>N. serialis</i> (Fr.) Audet
	Ischnodermataceae	<i>Ischnoderma</i> P. Karst.	<i>I. resinosum</i> (Schrad.) P. Karst.
	Phanerochaetaceae	<i>Bjerkandera</i> P. Karst.	<i>B. adusta</i> (Willd.) P. Karst.
	Polyporaceae	<i>Cerioporus</i> Quél.	<i>C. varius</i> (Pers.) Zmitr. & Kovalenko
		<i>Fomes</i> (L.) J. Kickx f.	<i>F. fomentarius</i> (L.) J. Kickx f.
		<i>Ganoderma</i> (Pers.) Pat.	<i>G. applanatum</i> (Pers.) Pat.
		<i>Lenzites</i> (L.) Fr.	<i>L. betulina</i> (L.) Fr.
		<i>Neofavolus</i> Sotome & T. Hatt.	<i>N. alveolaris</i> (DC.) Sotome & T. Hatt.
		<i>Trametes</i> (Pers.) Fr.	<i>T. hirsuta</i> (Wulfen) Pilát <i>T. gibbosa</i> (Pers.) Fr. <i>T. pubescens</i> (Schumach.) Pilát <i>T. versicolor</i> (L.) Lloyd
Russulales	Albatrellaceae	<i>Albatrellus</i> Gray	<i>A. ovinus</i> (Schaeff.) Kotl. & Pouzar
	Russulaceae	<i>Lactarius</i> (Fr.) Fr.	<i>L. blennius</i> (Fr.) Fr. <i>L. camphoratus</i> (Bull.) Fr.
		<i>Lactifluus</i> (Pers.) Roussel	<i>L. piperatus</i> (L.) Roussel

1	2	3	4
Russulales	Russulaceae	<i>Russula</i> (Pers.) Fr.	<i>R. adusta</i> (Pers.) Fr. <i>R. aeruginea</i> Lindblad ex Fr. <i>R. cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr. <i>R. decolorans</i> (Fr.) Fr. <i>R. delica</i> Fr. <i>R. emetica</i> (Schaeff.) Pers. <i>R. farinipes</i> Romell <i>R. foetens</i> Pers. <i>R. graveolens</i> Romell <i>R. grisea</i> Fr. <i>R. integra</i> (L.) Fr. <i>R. ochroleuca</i> Fr. <i>R. rosea</i> Pers. <i>R. vesca</i> Fr. <i>R. virescens</i> (Schaeff.) Fr.
	Stereaceae	<i>Stereum</i> Fr.	<i>S. subtomentosum</i> Pouzar

Домінантними тут виявилися представники порядків Agaricales (41 вид, 47,1%) та Russulales (20 видів, 23%). Ці порядки складають ядро мікобіоти і включають 70% грибів, що виявлені на території ППП № 8. Переважання цих порядків є типовим для мікобіоти не тільки НПП «Гуцульщина», але і загалом Карпат. Дещо менше видів у Polyporales 13 видів (14,9%). Частка інших порядків значно менша: Boletales – 5 (5,7%), Gloeophyllales, Hymenochaetales, Phallales – по 2 (2,3%), Chaetothyriales і Helotiales – по 1 (1,1%).

Серед родин найбільше видове різноманіття належить Russulaceae (18 видів, 20,7%), яка є однією з найпоширеніших у світі. До шести провідних родин увійшли також Polyporaceae – 9 (10,3%), Amanitaceae, Boletaceae, Mycenaceae Psathyrellaceae, – по 5 видів кожна (5,7%). Близьке до середнього значення показника видового розмаїття мікобіоти належить родинам Marasmiaceae, Physalaciaceae, які включають по 4 види кожна. Трохи нижчий від середнього має Strophariaceae – 3. П'ять родин Fomitopsidaceae, Gloeophyllaceae, Hydangiaceae, Phallaceae, Omphalotaceae кожна представлена 2 видами, решта по одному.

6 провідних родин об'єднують більше половини, 54% видового складу на цій території, 8 оліговидових – 24,2% та 19 моновидових – 21,8%.

Першість серед родів у видовому відношенні займає *Russula* (Pers.) Fr., яка включає 15 видів – 17,2% від загальної кількості макроміцетів на ППП. На другому місці тут *Amanita*, відповідно 5 видів та 5,7%. На третьому – *Mycena* та *Trametes* – по 4 види (4,6%). Ці роди складають ядро мікобіоти території дослідження і становлять 32,2%. Такі роди як *Gloeophyllum*, *Laccaria*, *Lactarius*, *Mycetinis* та *Neoboletus* містять по два види, а решта 48 родів моновидні.

Фоновими видами на ППП № 8 були: *Armillaria mellea*, *Bjerkandera adusta*, *Fomes. fomentarius*,

Fomitopsis pinicola, *Gymnopus dryophilus*, *Hypholoma fasciculare*, *H. lateritium*, *Lactifluus piperatus*, *Lycoperdon perlatum*, *Mucidula mucida*, *Mycena crocata*, *M. stylobates*, *Mycetinis alliaceus*, *Pleurotus pulmonarius*, *Pluteus cervinus*, *Russula cyanoxantha*, *R. delica*, *Trametes versicolor*.

Щодо трофічної приуроченості до субстрату на ППП № 8 виявлено такі еколого трофічні групи грибів: симбіотрофи, сапротрофи та гриби паразити.

Еколого-трофічний спектр видового складу мікобіоти досліджуваної території відображає лісовий характер: домінують характерні для деревних фітоценозів екологічно-трофічні групи мікоризоутворювачі – 32 види, на другому місці ксилотрофи – 30 видів. Гумусові і підстилочні сапротрофи, які менше пов'язані з деревами включають відповідно 11 та 10 видів. Знайдено також 3 гриби-паразити дерев та один представник бріотрофів.

Переважає симбіотрофізм (37%) закономірне, оскільки провідними родинami у видовому відношенні тут виявилися Amanitaceae, Boletaceae, Russulaceae (табл. 1). Представники цих родин є мікоризними грибами. Звичайними видами з цієї групи виявилися: *Amanita citrina*, *A. rubescens*, *Boletus edulis*, *Lactifluus piperatus*, *Neoboletus erythropus*, *Russula cyanoxantha*, *R. delica*, *R. foetens*, *Xerocomus subtomentosus*.

Наявність деревного відпаду, сухостійних дерев на пробі, який є субстратом для ксилотрофів та достатнє зволоження стали причиною великої кількості грибів (34%) цієї екологічно-трофічної групи. Найчастіше тут траплялися: *Fomes fomentarius*, *Hypholoma fasciculare*, *H. lateritium*, *Mucidula mucida*, *Pleurotus pulmonarius*, *Pluteus cervinus*, *Trametes hirsute* та *T. versicolor*.

Оскільки майже вся площа території проби вкрита барвінком, тому відсоток гумусових і підстилочних сапротрофів тут невеликий лише 13% та 11,5% відповідно. Домінантними видами цієї групи на пробі

були: *Clitocybe nebularis*, *Coprinellus micaceus*, *Gymnopus dryophilus*, *Lycoperdon perlatum*, *Mycena stylobates*, *Mycetinis alliaceus* (який у нас приурочений в основному до букових лісів) і *Rhodocollybia butyracea*. Ці види плодоносять тут щорічно.

На оброслій мохом колоді виявлено також один вид біотроф – *Galerina hypnorum*. Плодоношення гриба спостерігали лише один раз. Він не є звичайним видом для цього біотопу.

На досліджуваній території гриби-паразити становлять 10% від загального різноманіття макроміцетів. Серед них переважають факультативні паразити – 6 видів (6,9%), які зазвичай розвиваються на мертвій деревині або сухостої, але іноді здатні уражати й ослаблені живі дерева. До цієї групи належать поширені в межах парку види: *Bjerkandera adusta*, *Fomes fomentarius*, *Fomitopsis pinicola*, *Ganoderma applanatum*, *Schizophyllum commune*, *Trametes versicolor*. Меншу частку – 3,5% (3 види) становлять паразити, що заселяють живі дерева, продовжуючи свій розвиток і після їх відмирання. Серед них: *Armillaria mellea*, *Gloeophyllum odoratum*, *Ischnoderma resinosum*. Однією з важливих функцій паразитичних грибів є їхня участь у процесах руйнування та мінералізації деревини.

У ході дослідження макроміцетів на пробній площі з'ясовано, що види: *Aspropaxillus giganteus*,

Mycena leptcephala, *Parasola conopileia*, *Russula adusta* та *R. graveolens* в Українських Карпатах виявлені виключно на території Національного природного парку «Гуцульщина».

У досліджуваній мікофлорі на території ППП № 8 знайдені локалітети рідкісних видів, що включені до Червоної книги України. А саме: *Mutinus caninus* та *Strobilomyces strobilaceus* (рис. 1, 2). Їх закартовано і взято під охорону. *S. strobilaceus* тут трапляється щорічно. А от *M. caninus* реєстрували лише двічі за період спостережень. Слід зазначити, що серед виявлених тут видів *Amanita verna* належить до Червоного списку грибів Чехії зі статусом «критично загрожений» (Cr) [18], *Aspropaxillus giganteus* – Хорватії зі статусом «вразливий» (VU) [19] та *Mutinus caninus* – Естонії, «загрожений» (EN) [20].

Головні висновки. В результаті дослідження мікобіоти в природному угрупованні бука лісового та барвінку малого виявлено 87 видів макроміцетів із 57 родів, 33 родин, 9 порядків, 3 класів, 2 відділів царства Fungi.

Аналіз таксономічного складу мікофлори показав домінування порядків Agaricales, Russulales. Ядро мікобіоти формують 6 родин (Amanitaceae, Boletaceae, Mycenaceae, Polyporaceae, Psathyrellaceae, Russulaceae) та 4 роди (*Amanita*, *Mycena*, *Russula*, *Trametes*).



Рис. 1. Мутин собачий – *Mutinus caninus*



Рис. 2. Шишкогриб лускатий – *Strobilomyces strobilaceus*

У межах ППП № 8 найбільшу частку в еколого-трофічному спектрі становили мікоризоутворювачі та ксилотрофи – типовий компонент листяних лісів. Вивчення їхніх екологічних ніш, субстратних переваг і поширення дає змогу комплексно оцінити взаємодію грибів з довкіллям. Такі спостереження відкривають перспективи для глибшого аналізу

динаміки грибних угруповань і розвитку екосистем Карпат.

Два макроміцети, *Mutinus caninus* і *Strobilomyces strobilaceus* є «червонокнижними» видами України. 5 видів грибів уперше зареєстровані в Карпатського регіону. Три види належить до Червоних списків грибів Естонії, Хорватії і Чехії.

Література

1. Літопис природи Національного природного парку «Гуцульщина» / за ред. Ю.П. Стефурака, В.В. Пророчука, Л. М. Держипільського. Косів, 2014. Т. 11. 277 с.
2. Літопис природи Національного природного парку «Гуцульщина» / за ред. Ю.П. Стефурака, М.В. Пасайлюк, О.О. Погрібного. Косів, 2022. Т. 19. 382 с.
3. Літопис природи Національного природного парку «Гуцульщина» / за ред. Ю.П. Стефурака, М.В. Пасайлюк, О.О. Погрібного. Косів, 2025. Т. 22. 396 с.
4. Національний природний парк «Гуцульщина». Рослинний світ / Л.М. Держипільський, М.В. Томич, С.В. Юсип та ін.; відп. ред. В. А. Соломаха, І. І. Чорней. Київ: Фітосоціоцентр. 2011. 374 с.
5. Фокшей С.І. Рідкісні види грибів у старовікових лісах і пралісах Національного природного парку «Гуцульщина». *Ukrainian Botanical Journal*. 2016. 73(2). С. 72–77.
6. Фокшей С.І. Нові знахідки видів Ascomycota на території Національного природного парку «Гуцульщина». *Ukrainian Botanical Journal*. 2022. 79(4). С. 246–253.
7. Фокшей С.І., Погрібний О.О. Дослідження рідкісних видів мікобіоти на території НПП «Гуцульщина» в 2020 році. *Екологія, людина, суспільство: збірник матеріалів XXII міжн. наук.-практ. конф. (Київ, 20–21 травня 2021 р.)*. Київ, 2021. С. 80–84.
8. Національний природний парк «Гуцульщина» / В.В. Пророчук, Ю.П. Стефурак, В.П. Брусак та ін.; відп. ред. В.В. Пророчук, Ю.П. Стефурак, В.П. Брусак, Л.М. Держипільський. Львів: НВФ «Карти і Атласи». 2013. 408 с.
9. Погрібний О.О., Стефурак Ю.П., Пророчук В.В., Фокшей С.І. Праліси та старовікові ліси НПП «Гуцульщина». *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів: РВВ НЛТУ України. 2015. Вип. 25.10. С. 79–88.
10. Шпарик Ю.С. Моніторинг лісів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів: РВВ НЛТУ України. 2002. Вип. 12.4. С. 158–166.
11. Шпарик Ю.С. Характеристики стійкості лісів та методика їх визначення. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів: РВВ НЛТУ України. 2012. Вип. 22.3. С. 58–62.
12. Томич М. В., Лосюк В. П., Погрібний О.О. Рідкісні рослинні угруповання НПП «Гуцульщина». *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів: РВВ НЛТУ України. 2024. Вип. 34.8. С. 40–52.
13. Dudka I.A., Wasser S.P. 1987. Griby. Spravochnik mikoloha i gribnika. Kyev: Naukova Dumka, P. 350–358.
14. Зерова М.Я. Сосін П.С., Роженко Г.Л. Визначник грибів України, Базидіоміцети. Болетальні, стробіломіцетальні, трихоломатальні, ентоломатальні, русуляльні, агарикальні, гастероміцети. Київ: Наукова думка, 1979. Т. 5. Кн. 2. 565 с.
15. Courtcuisse R., Duhem B. *Mushrooms and Toadstools of Britain and Europe*. London : Harper Collins Publishers, 1995. 480 p.
16. The CABI Bibliography of Systematic Mycology, 2008. <https://www.indexfungorum.org/names/Names.asp> (дата звернення 28.09.2025).
17. Дудка І.О., Гелюта В.П., Придюк Ю.А., Тихоненко М.П., Акулов О.Ю., Гайова В.П., Зикова М.О., Андріанова Т.В., Джаган В.В., Щербакова Ю.В. Гриби заповідників і національних природних парків Українських Карпат / за ред. В.П. Гелюти. Київ: Наукова думка, 2019. 214 с.
18. Holec J., Beran M. Red list of fungi (macromycetes) of the Czech Republic. *Příroda Praha*, 2006. 24: 282. <http://www.eccf.eu/Czech07.pdf> (дата звернення: 30.09.2025).
19. Crveni popis Gljiva HR <http://www.eccf.eu/redlists-en.ehtml> (дата звернення: 30.09.2025).
20. Irja Saar, Jane Oja, Kadri Põldmaa, Kadri Pärtel, Irma Zettur, Urmas Kõljalg Red List of Estonian Fungi – 2019 update / *Folia Cryptog. Estonica*, 2019. Fasc. 56: 117–126 <https://doi.org/10.12697/fce.2019.56.12>

Дата першого надходження рукопису до видання: 17.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Бакалова Алла Володимирівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет, orcid.org/0000-0002-6803-6304

Барабаш Олена Василівна (Київ) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет, orcid.org/0000-0001-5206-2922

Бігун Микола Віталійович (Львів) – здобувач, аспірант кафедри інженерної геодезії, Інститут геодезії Національного університету «Львівська політехніка», orcid.org/0009-0009-1215-0544

Боженко Анна Леонідівна (Миколаїв) – старший викладач кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, orcid.org/0000-0002-7280-5372

Бойчук Василь Богданович (Івано-Франківськ) – аспірант кафедри біології та екології, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, orcid.org/0009-0001-5173-3218

Боровська Галина Олександрівна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, orcid.org/0000-0001-9649-7661

Босюк Альона Сергіївна (Харків) – PhD, старший викладач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0000-0001-5254-2272

Бунякова Юлія Ярославна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екологічного права і контролю, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, orcid.org/0009-0007-8646-0284

Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир) – доктор сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0003-4716-0100

Василенко Антон Олексійович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0009-0006-8666-3068

Васільєва Людмила Анатоліївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0003-0661-927X

Волков Юрій Валерійович (Харків) – науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», orcid.org/0009-0005-0190-9915

Волошин В'ячеслав Степанович (Дніпро) – доктор технічних наук, професор, професор по кафедрі промислової теплоенергетики, Приазовський державний технічний університет, orcid.org/0009-0005-6809-6779

Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0002-3166-5588

Герасимчук Олена Леонтіївна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0002-1279-1888

Гнєзділова Вікторія Ігорівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, orcid.org/0000-0002-3340-5747

Гнітецький Олександр Миколайович (Житомир) – аспірант кафедри гірничих технологій та будівництва імені професора Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0009-0009-9806-6924

Головач Юрій Михайлович (Львів) – головний спеціаліст з питань внутрішнього аудиту, Державна екологічна інспекція у Львівській області, orcid.org/0009-0003-8162-7701

Голуб Валентина Олександрівна (Луцьк) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри ботаніки і методики викладання природничих наук, Волинський національний університет імені Лесі Українки, orcid.org/0000-0002-6210-007X

Гордій Наталія Михайлівна (Кам'янець-Подільський) – кандидат біологічних наук, доцент, старший викладач кафедри біології та екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, orcid.org/0000-0002-5214-3770

Григорчук Інна Дмитрівна (Кам'янець-Подільський) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, orcid.org/0000-0002-2260-998X

Грицюк Наталія Вікторівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет, orcid.org/0000-0002-4185-7495

Добровольський Олександр Сергійович (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, orcid.org/0000-0003-0048-1388

Євтушенко Ольга Володимирівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та професійної безпеки, Національний університет харчових технологій, orcid.org/0000-0001-6773-682X

Іващенко Ірина Вікторівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет, orcid.org/0000-0003-1588-3718

Ігнатишин Адальберт Васильович (Львів) – інженер I категорії відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України, orcid.org/0009-0002-8597-2417

Ігнатишин Василь Васильович (Львів/Берегове) – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України; доцент кафедри географії та туризму, Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, orcid.org/0000-0003-0727-2132

Ігнатишин Моніка Бейлівна (Львів) – провідний інженер відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України, orcid.org/0009-0000-0154-282X

Іжак Тібор Йосипович (Берегове) – кандидат географічних наук, PhD, доцент, доцент кафедри географії та туризму, Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, orcid.org/0000-0002-0940-8947

Іськов Сергій Станіславович (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри маркшейдерії, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0002-9618-489X

Кагукіна Анастасія Максимівна (Житомир) – доктор філософії з екології, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0001-8932-1211

Калініченко Олена Олексіївна (Харків) – завідувач лабораторією еколого-аналітичних досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», orcid.org/0009-0008-7679-7438

Кірейцева Ганна Вікторівна (Житомир) – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0002-1055-1784

Клименко Світлана Іванівна (Київ) – кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник, Інститут зоології імені І.І. Шмальгаузена Національної академії наук України, orcid.org/0000-0001-8143-5070

Коваленко Юлія Олександрівна (Київ) – доктор філософії, молодший науковий співробітник, Інститут гідробіології Національної академії наук України, orcid.org/0000-0003-4818-4542

Козак Ігор Іванович (Івано-Франківськ) – доктор біологічних наук, професор кафедри біології та екології, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, orcid.org/0000-0002-0960-4797

Корніснко Валентина Іванівна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, директор Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України, orcid.org/0000-0003-0403-7727

Котюк Людмила Анатоліївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології, Поліський національний університет, orcid.org/0000-0002-1934-4255

Кочетов Микита Сергійович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0009-0008-3115-8552

Кравченко Інна Василівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, orcid.org/0000-0002-8531-0512

Кравчук-Ободзінська Таїса Валеріївна (Житомир) – доктор філософії, старший викладач кафедри екології та природоохоронних територій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0002-1898-2837

Крешун Ростислав Анатолійович (Ладизин) – біолог-дослідник, BTU Biotech company, orcid.org/0009-0001-1553-2902

Криворучко Андрій Олексійович (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри маркшейдерії, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0003-3332-2631

Крючкова Валерія Валеріївна (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0009-0000-7548-6779

Кутний Богдан Андрійович (Полтава) – доктор технічних наук, доцент, професор, кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», orcid.org/0000-0002-0548-7925

Литвин Богдан Богданович (Київ) – аспірант, науковий співробітник кафедри біології рослин, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, orcid.org/0009-0007-8405-7555

Літвинчук Світлана Іванівна (Київ) – кандидат технічних наук, завідувачка кафедри фізики та професійної безпеки, Національний університет харчових технологій, orcid.org/0000-0002-5580-3826

Логвиненко Дмитро Олексійович (Київ) – аспірант кафедри хімічної інженерії та екології факультету інженерії, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, orcid.org/0009-0008-0463-1500

Лук'яненко Максим Анатолійович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0009-0006-8920-0309

Любінська Людмила Григорівна (Кам'янець-Подільський) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри біології та екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, orcid.org/0000-0002-2529-4311

Малицький Дмитро Васильович (Львів) – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу, Карпатське відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України, orcid.org/0000-0002-9156-739x

Манойло Євгенія Володимирівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0000-0002-6538-0580

Маринін Андрій Іванович (Київ) – кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник, завідувач проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, orcid.org/0000-0001-6692-7472

Мельников Андрій Юрійович (Харків) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», orcid.org/0000-0001-8220-6026

Миленька Мирослава МIRONІВНА (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, директор, МННЦ «Обсерваторія», доцент кафедри біології та екології, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, orcid.org/0000-0001-9249-8077

Моїсєєв Віктор Федорович (Харків) – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0000-0002-3217-1467

Молнар Д. Стефан Стефанович (Берегове) – кандидат географічних наук, PhD, доцент, доцент кафедри географії та туризму, Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, orcid.org/0000-0003-2959-9136

Нікітіна Світлана Валентинівна (Харків) – науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», orcid.org/0009-0009-7907-0282

Пакуляк Андрій Юрійович (Кам'янець-Подільський) – аспірант кафедри біології та екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, orcid.org/0009-0006-9552-9610

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0001-6271-7355

Петльована Вікторія Ростиславівна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології рослин, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, orcid.org/0000-0001-5056-0813

Плотніков Євгеній Олександрович (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0009-0007-5810-678X

Погрібний Олег Олегович (Косів) – кандидат сільськогосподарських наук, начальник науково-дослідного відділу, Національний природний парк «Гуцульщина», orcid.org/0000-0002-8428-6514

Покшевницька Тетяна Василівна (Київ) – аспірантка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет, orcid.org/0009-0008-6606-5073

Полушкін Тимур Ігорович (Одеса) – аспірант кафедри екології та охорони довкілля, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, orcid.org/0009-0002-5451-4325

Полушкін Юрій Юрійович (Київ) – аспірант, Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України», orcid.org/0009-0009-9462-532X

Причепан Микола Володимирович (Київ) – кандидат біологічних наук, науковий співробітник, Інститут гідробіології Національної академії наук України, orcid.org/0000-0002-3114-2402

Прокопишин Василь Іванович (Львів) – провідний інженер відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України, orcid.org/0000-0003-2600-8767

Разно Микола Русланович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0009-0004-9721-7210

Рац Адальберт Йосипович (Берегове) – PhD, доцент кафедри історії та суспільних наук, Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II, orcid.org/0000-0003-3780-2843

Римарук Петро Васильович (Івано-Франківськ) – аспірант кафедри біології та екології, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, orcid.org/0009-0004-3082-6206

Різничук Надія Іванівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, науковий куратор дендрологічного парку «Дружба», Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, orcid.org/0000-0002-4863-6775

Романчук Людмила Донатівна (Житомир) – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри екології та природоохоронних територій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0003-4790-8414

Сакун Антоніна Олегівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0000-0002-1079-7856

Сафранов Тамерлан Абісалович (Одеса) – доктор геолого-мінералогічних наук, професор, професор кафедри екології та охорони довкілля, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, orcid.org/0000-0003-0928-5121

Святненко Роман Сергійович (Київ) – кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, orcid.org/0000-0003-0895-6982

Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, orcid.org/0000-0001-8718-4073

Сєрікова Олена Миколаївна (Харків/Черкаси) – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник сектору пожежно-технічних та електротехнічних досліджень лабораторії інженерно-технічних досліджень, Національний науковий центр «Інститут судових експертиз імені Заслуженого професора М.С. Бокаріуса» Міністерства юстиції України; доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища, Національний університет цивільного захисту України, orcid.org/0000-0003-0354-9720

Сич Наталія Геннадіївна (Одеса) – студентка I курсу магістратури факультету гідрометеорології і екології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, orcid.org/0009-0004-4196-8891

Сіренко Артур Геннадійович (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук доцент кафедри біології та екології, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, orcid.org/0000-0003-2253-0937

Сірик Аліна Олегівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та професійної безпеки, Національний університет харчових технологій, orcid.org/0000-0002-5041-7096

Сірук Ірина Миколаївна (Житомир) – доктор філософії (PhD), старший викладач кафедри екології, Поліський національний університет, orcid.org/0000-0001-9914-8109

Скорик Микола Анатолійович (Житомир) – аспірант гірничих технологій та будівництва імені професора Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0009-0008-0354-7593

Сорочинська Олена Леонідівна (Київ) – кандидат історичних наук, доцент, в. о. завідувача кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Національний транспортний університет, orcid.org/0000-0003-2477-1275

Степова Олена Валеріївна (Полтава) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», orcid.org/0000-0002-6346-5484

Таран Наталія Юрївна (Київ) – доктор біологічних наук, доцент кафедри біології рослин, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, orcid.org/0000-0002-8669-5899

Тимошук Тетяна Миколаївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет, orcid.org/0000-0001-8980-7334

Тихомирова Тетяна Сергіївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0000-0001-9124-9757

Уманська Ольга Володимирівна (Одеса) – кандидат географічних наук, старший викладач кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, orcid.org/0009-0009-0818-9876

Філенко Олеся Миколаївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0000-0002-0277-6633

Фокшей Стелла Ігорівна (Косів) – заступник начальника науково-дослідного відділу, Національний природний парк «Гуцульщина», orcid.org/0000-0001-5730-3617

Фролов Валерій Федорович (Полтава) – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», orcid.org/0000-0003-1675-8476

Фурсов Віктор Миколайович (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут зоології імені І.І. Шмальгаузена Національної академії наук України, orcid.org/0000-0002-3318-2491

Хоменко Світлана Володимирівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0009-0002-7463-7867

Цейтлін Мусій Абрамович (Харків) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0000-0002-2452-7814

Шевченко Олександр Юхимович (Київ) – доктор технічних наук, професор, ректор, Національний університет харчових технологій, orcid.org/0000-0002-8818-2667

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник Науково-освітнього центру перепідготовки та підвищення кваліфікації, Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України», orcid.org/0000-0002-7528-6184

Шевчук Лариса Миколаївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка», orcid.org/0000-0003-4164-514X

Шестопалов Олексій Валерійович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», orcid.org/0000-0001-6268-8638

Шомко Ольга Михайлівна (Парма, Італія) – науковий співробітник, Університет міста Парма, orcid.org/0000-0003-2418-0985

НОТАТКИ

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

5(62) ЧАСТИНА 2

- *Екологічні наслідки воєнних дій*
- *Загальна екологія*
- *Теоретична екологія*
- *Загальні проблеми екологічної безпеки*
- *Інноваційні аспекти підвищення рівня екологічної безпеки*
- *Проблеми еколого-збалансованого розвитку*
- *Управління відходами*
- *Зміна клімату*
- *Розвиток природно-заповідного фонду України*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*

Адреса редакції:

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел. +380 99 428 67 00;
www.ecoj.dea.kiev.ua
e-mail: info@ecoj.dea.kiev.ua

Видавничий дім «Гельветика»

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

Підписано до друку 15.12.2025. Формат 64х84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 35,81. Тираж 100. Замовлення № 1025/809.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета