

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

**1(58)**

---



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2025

**Екологічні науки** : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :  
Видавничий дім «Гельветика», 2025. – № 1(58). – 360 с.

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

**Заступник головного редактора:** Нагорнева Н.А.

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

**Відповідальний редактор:** Сікачина В.Г.

**Редакційна колегія:**

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Захматов В.Д., доктор технічних наук

Івашенко Т.Г., кандидат технічних наук

Коніщук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

Рудько Г.І., доктор геолого-мінералогічних наук,

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних 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.

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 від польської компанії Plagiat.pl.

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

---

## ЗМІСТ

---

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ</b> .....                                                                                                                                                            | 9   |
| <b>Войціцький В.М., Корнієнко В.І., Хижняк С.В., Довбиш О.Б., Мідик С.В.</b> Ультрафіолет як екологічний чинник: джерела, класифікація випромінювання, біологічна дія.....                  | 9   |
| <b>ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА</b> .....                                                                                                                                                              | 14  |
| <b>Бондаренко Л.І., Волошина Н.О., Шевченко В.Г., Лавріненко В.М.</b> Інтеграція цілей сталого розвитку у освітні програми підготовки екологів.....                                         | 14  |
| <b>Люленко С.О., Небикова Т.А.</b> Особливості організації та проведення позакласної роботи з біології.....                                                                                 | 18  |
| <b>Павлишак Я.Я., Коссак Г.М., Бриндзя І.В.</b> Екологічна компетентність учнів як засіб формування екологічної культури.....                                                               | 23  |
| <b>ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ</b> .....                                                                                                                                               | 27  |
| <b>Buzina I.M., Khainus D.D., Sopova N.V., Sopov D.S., Cherednychenko I.V., Havriushenko H.V.</b> Construction of a digital relief model of the dendrology park using GIS technologies..... | 27  |
| <b>Мартиненко В.В.</b> Розподіл запасів грубого деревеного детриту сосни звичайної в лісових екосистемах природного заповідника «Древлянський».....                                         | 33  |
| <b>ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ</b> .....                                                                                                                                          | 38  |
| <b>Галактіонов М.С., Бредун В.І.</b> Оптимізація транспортних потоків як метод зменшення забруднення атмосферного повітря автотранспортом.....                                              | 38  |
| <b>Гончарук В.В., Парахненко В.Г., Юровчик В.Г., Сопов Д.С., Сопова Н.В.</b> Управління екологічною безпекою України: виклики сьогодення на наслідки антропогенних змін ландшафтів.....     | 44  |
| <b>Жицька Л.І., Хоменко О.М., Папач В.В., Видра Н.М.</b> Екологічна оцінка забруднень атмосфери та кумулятивних ризиків для здоров'я населення міста Черкаси.....                           | 49  |
| <b>Кагукіна А.М., Пацева І.Г.</b> Взаємозв'язок метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир.....                                                 | 58  |
| <b>Парахненко В.Г., Гончарук В.В., Подзерей Р.В.</b> Управління ресурсно-екологічною безпекою регіону в умовах радіоекологічних загроз та охорони природи.....                              | 65  |
| <b>Руденко С.В., Руденко В.П.</b> Екосистеми України за продуктивністю (ефективністю) їх природно-ресурсного потенціалу.....                                                                | 70  |
| <b>Стефанюк С.В., Коломієць Л.В., Чухній О.Ю.</b> Роль зелених міст у покращенні якості життя та збереження природи.....                                                                    | 75  |
| <b>ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ</b> .....                                                                                                                           | 82  |
| <b>Гарбар О.В., Мороз В.В.</b> Структура комплексів дощових черв'яків в урбоекосистемі: моделювання біорізноманіття з використанням методу машинного навчання.....                          | 82  |
| <b>Hlushak D., Gniezdilova V., Riznychuk N., Melnychenko H.</b> Age structure of populations of the genus <i>Gentiana</i> L. in the highlands of the Ukrainian Carpathians.....             | 91  |
| <b>Дубляк А.В., Різничук Н.І., Гнєзділова В.І.</b> Насіннева продуктивність <i>Arnica montana</i> L. в умовах Українських Карпат.....                                                       | 95  |
| <b>Ковтун Т.І.</b> Еколого-фауністична характеристика угруповань Noctuoidea (Lepidoptera) приміської зони та урбоекосистеми м. Житомир.....                                                 | 100 |
| <b>Котюк Л.А., Рахметов Д.Б., Івашенко І.В., Котюк В.С.</b> Вторинні метаболіти лікарсько-ароматичних рослин родини Lamiaceae Martinov.....                                                 | 107 |
| <b>Купчак Р.В., Кавчук І.М., Різничук Н.І., Гнєзділова В.І.</b> Інтродукція видів родини <i>Cornaceae</i> Dumort. в умовах Івано-Франківська.....                                           | 113 |

|                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Харитонов М.М., Мартинова Н.В., Бабенко М.Г., Клімкіна І.І.</b> Оцінка виносу макро- та мікроелементів надземною масою міскантусу, вирощеного на техноземах.....                           | 117 |
| <b>ЗМІНА КЛІМАТУ</b> .....                                                                                                                                                                    | 123 |
| <b>Ілюк Н.А., Мележик О.В., Мовчан В.О., Сергійчук Н.М.</b> Аналіз впливу кліматичних змін на біорізноманіття: глобальні та локальні аспекти.....                                             | 123 |
| <b>Кричун Д.М., Прокоф'єв О.М., Боровська Г.О.</b> Багаторічна динаміка статистичних характеристик термічного режиму в районі станції «Академік Вернадський».....                             | 130 |
| <b>Недострелова Л.В., Даус М.Є., Чумаченко В.В.</b> Аналіз просторово-часової мінливості грозової активності на території Північно-Західного Причорномор'я на початку ХХІ століття.....       | 135 |
| <b>Яцишен А.О.</b> Міжрівневий обмін у граничному шарі атмосфери як предиктор прогнозу характеристик радіаційних туманів.....                                                                 | 141 |
| <b>ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ</b> .....                                                                                                                                                           | 147 |
| <b>Бабенко В.М., Новожилова Т.Б., Крючкова В.В., Нечипоренко Д.І., Ліфер В.Є.</b> Моніторинг ґрунтів національних парків в умовах комплексного впливу військових дій.....                     | 147 |
| <b>Стасевич С.П., Махняк А.Я.</b> Дієві алгоритми штучного інтелекту в екологічному моніторингові.....                                                                                        | 152 |
| <b>Ткачук О.П., Вергеліс В.І.</b> Екологічна ефективність громадського моніторингу атмосферного повітря в Україні.....                                                                        | 157 |
| <b>Ткачук О.П., Мазур О.В.</b> Екологічний аналіз основних положень нового порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів в Україні.....                                                     | 164 |
| <b>ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ</b> .....                                                                                                                                                      | 173 |
| <b>Браславська О.В., Грицик О.М., Рожі Т.А.</b> Географія ґрунтів: історичні зміни, сучасний стан та перспективи відновлення чорноземів України.....                                          | 173 |
| <b>Мислюк О.О., Єгорова О.В., Хоменко О.М.</b> Оцінка засолення урбоґрунтів з використанням сучасних геоінформаційних технологій.....                                                         | 181 |
| <b>ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ</b> .....                                                                                                                                                         | 187 |
| <b>Єсіпова Н.Б., Гудим Н.Г., Журавльов Д.В., Плюйко О.Б., Савицький А.Ю.</b> Індикація техногенно зміненої водойми за розвитком зоопланктону.....                                             | 187 |
| <b>Іщук О.В., Світельський М.М., Ковальчук І.І., Слюсар М.М., Мамченко В.Ю.</b> Екологічні аспекти вирощування стерляді в установках закритого водопостачання (УЗВ): контроль та безпека..... | 193 |
| <b>Крупей К.С., Рильський О.Ф., Количева Н.Л., Бобровська О.Д.</b> Каротиносинтезувальні дріжджі як модельні організми для біоіндикації солей Купруму (ІІ) у водних екосистемах.....          | 199 |
| <b>Моторна Т.В.</b> Сучасний стан та функціонування водної екосистеми озер Ялпуг–Кугурлуй в умовах зростаючого антропогенного навантаження.....                                               | 208 |
| <b>Строкаль В.П., Гаць А.К.</b> Дефіцит якісної води для рибальства в річці Унава.....                                                                                                        | 216 |
| <b>Тютюнник О.С., Гордій Н.М.</b> Управління водними ресурсами в умовах змін клімату: досвід та стратегії КП «Міськтепловоденергія».....                                                      | 226 |
| <b>Fedenko Yu.M., Kutsenko A.O., Tkachuk A.O.</b> The latest most environmentally friendly methods of water purification in terms of its origin.....                                          | 231 |
| <b>Фельдман Д.В., Дрегваль І.В.</b> Сезонне формування фітопланктону на річці Суха Сура.....                                                                                                  | 235 |
| <b>ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО</b> .....                                                                                                                                                           | 240 |
| <b>Голота В.В.</b> Забезпечення умов екологічно безпечного транспортування нафтопродуктів в резервуарах.....                                                                                  | 240 |
| <b>Кузнєцов П.М., Бедункова О.О.</b> Оцінка складу та властивостей завислих речовин при формуванні водного скиду зворотних вод електростанції.....                                            | 246 |
| <b>Маркіна Л.М., Івашенко Т.Г., Власенко О.В., Ковтунов О.В.</b> Моделювання реактора експериментального стенду процесу циркуляційного піролізу.....                                          | 256 |

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Нагурський О.А., Вихівська К.М.</b> Біотичний потенціал техногенної екосистеми хвостосховища Яворівського ДГХП «Сірка».....                                                                 | 265 |
| <b>Пронь О.В.</b> Комплексний підхід до раціонального вибору генератора.....                                                                                                                   | 271 |
| <b>Fedenko Yu.M., Didenko D.V., Burmak A.P.</b> Modern methods of preparation of deeply desalinated water for the needs of thermal power plants. Ecological aspects.....                       | 279 |
| <b>ЕКОЛОГІЯ АГРОВИРОБНИЦТВА</b> .....                                                                                                                                                          | 283 |
| <b>Андрєєва О.Ю., Іванюк Т.М., Буднік І.П., Швець М.В., Климчук О.О.</b> Генетико-селекційні підходи до насіннєвого відновлення <i>Catalpa bignonioides</i> Walt. у Житомирському Поліссі..... | 283 |
| <b>Вигера С.М., Ключевич М.М., Можарівська І.А.</b> Технічний сервіс – інноваційний напрям в агрономії та плантономії.....                                                                     | 288 |
| <b>Юрченко Т.В., Демидов О.А., Пикало С.В., Волощук Г.Д., Харченко М.В.</b> Спосіб оцінювання стійкості генотипів пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу.....                 | 292 |
| <b>УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ</b> .....                                                                                                                                                              | 296 |
| <b>Василенко О.М.</b> Екологічно ефективна переробка полімерів: приклад Recycle Hub у Румунії.....                                                                                             | 296 |
| <b>Лелюшок С.В.</b> Вплив несанкціонованих сміттєзвалищ на компоненти довкілля.....                                                                                                            | 300 |
| <b>Олійник Т.П., Маковецька О.О., Романюта Е.В.</b> Екологічна доцільність застосування будівельних відходів.....                                                                              | 309 |
| <b>Разно М.Р., Тихомирова Т.С., Босюк А.С., Шестопапов О.В.</b> Дослідження процесу побутового компостування органічних відходів рослинного походження.....                                    | 316 |
| <b>Сараненко І.І.</b> Особливості поводження з відходами у міських та сільських умовах Швейцарії.....                                                                                          | 324 |
| <b>Сорочинська О.Л.</b> Інноваційні підходи до управління відходами в контексті сталого розвитку.....                                                                                          | 330 |
| <b>Чернишенко Г.О.</b> До питань утилізації різдвяних ялинок.....                                                                                                                              | 336 |
| <b>ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ</b> .....                                                                                                                                                   | 343 |
| <b>Борисенко О.Б., Кривохижа Є.М., Черноштан Т.М.</b> Вплив військових дій на екосистеми: оцінка збитків та шляхи відновлення.....                                                             | 343 |
| <b>Сакун А.О., Кутковий Д.О.</b> Оцінка впливу наслідків військових дій на ґрунти.....                                                                                                         | 350 |
| <b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ</b> .....                                                                                                                                                             | 354 |

---

## CONTENTS

---

|                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>THEORETICAL ECOLOGY</b> .....                                                                                                                                                                        | 9   |
| <b>Voitsitskiy V., Korniyenko V., Khyzhnyak S., Dovbysh O., Midyk S.</b> Ultraviolet as an environmental factor: sources, radiation classification, biological effects.....                             | 9   |
| <b>ENVIRONMENTAL EDUCATION</b> .....                                                                                                                                                                    | 14  |
| <b>Bondarenko L., Voloshyna N., Shevchenko V., Lavrinenko V.</b> Integration of sustainable development goals into the educational program of the training of environmentalists.....                    | 14  |
| <b>Liulenko S., Nebykova T.</b> Peculiarities of organizing and conducting extracurricular activities in biology.....                                                                                   | 18  |
| <b>Pavlyshak Ya., Kossak G., Bryndzia I.</b> Environmental competence of secondary school students as a means of forming an environmental culture.....                                                  | 23  |
| <b>NATURE RESERVE FUND OF UKRAINE</b> .....                                                                                                                                                             | 27  |
| <b>Buzina I., Khainus D., Sopova N., Sopov D., Cherednychenko I., Havriushenko H.</b> Construction of a digital relief model of the dendrology park using GIS technologies.....                         | 27  |
| <b>Martynenko V.</b> Distribution of coarse wood detrit of Scottish pine in forest ecosystems of the Drevlyansky Nature Reserve.....                                                                    | 33  |
| <b>GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES</b> .....                                                                                                                                                        | 38  |
| <b>Halaktionov M., Bredun V.</b> Optimization of traffic flows as a method for reducing air pollution from vehicles.....                                                                                | 38  |
| <b>Goncharuk V., Parakhnenko V., Yurovchyk V., Sopov D., Sopova N.</b> Management of environmental safety in Ukraine: today's challenges to the consequences of antropogenic changes in landscapes..... | 44  |
| <b>Zhytska L., Khomenko O., Papach V., Vydra N.</b> Environmental assessment of atmospheric pollution and cumulative risks to the health of the city Cherkasy.....                                      | 49  |
| <b>Kahukina A., Patseva I.</b> Interrelation between meteorological parameters and pollutants in the air of Zhytomyr city.....                                                                          | 58  |
| <b>Parakhnenko V., Goncharuk V., Podzerei R.</b> Managing the resource and environmental security of the region in the context of radioecological threats and environmental protection.....             | 65  |
| <b>Rudenko S., Rudenko V.</b> Ecosystems of Ukraine from a perspective of productivity (efficiency) of their nature-resource potential.....                                                             | 70  |
| <b>Stefaniuk S., Kolomiets L., Chukhnii O.</b> The role of green cities in improving the quality of life and nature conservation.....                                                                   | 75  |
| <b>PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY</b> .....                                                                                                                                         | 82  |
| <b>Harbar O., Moroz V.</b> Structure of earthworm complexes in the urban ecosystem: modeling biodiversity using machine learning.....                                                                   | 82  |
| <b>Hlushak D., Gniezdilova V., Riznychuk N., Melnychenko H.</b> Age structure of populations of the genus <i>Gentiana</i> L. in the highlands of the Ukrainian Carpathians.....                         | 91  |
| <b>Dubliak A., Riznychuk N., Hnezdilova V.</b> Seed productivity of <i>Arnica montana</i> L. in the Ukrainian Carpathians.....                                                                          | 95  |
| <b>Kovtun T.</b> Ecological and faunal characteristics of Noctuoidea (Lepidoptera) group of Zhytomyr's suburban and urban ecosystems.....                                                               | 100 |
| <b>Kotyuk L., Rakhmetov D., Ivashchenko I., Kotyuk V.</b> Secondary metabolites of medicinal-aromatic plants of the lamiaceae martinov family.....                                                      | 107 |
| <b>Kupchak R., Kavchuk I., Riznychuk N., Gniezdilova V.</b> Introduction of species of the family Cornaceae DUMORT. in the conditions of Ivano-Frankivsk.....                                           | 113 |
| <b>Kharytonov M., Martynova N., Babenko M., Klimkina I.</b> Assessment of macro- and microelements uptake by above-ground miscanthus mass growing on technosols.....                                    | 117 |

|                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>CLIMATE CHANGE</b> .....                                                                                                                                                                                     | 123 |
| <b>Iliuk N., Melezhyk O., Movchan V., Serhiichuk N.</b> Analysis of the impact of climate change on biodiversity: global and local aspects.....                                                                 | 123 |
| <b>Krychun D., Prokofiev O., Borovska H.</b> Long-term dynamics of statistical characteristics of the thermal regime in the area of the “Academic Vernadsky” station.....                                       | 130 |
| <b>Nedostrelova L., Daus M., Chumachenko V.</b> Analysis of spatiotemporal variability of thunderstorm activity on the territory of the Northwestern Black Sea Region at the beginning of the 21st century..... | 135 |
| <b>Yatsyshen A.</b> Interlevel exchange in the boundary layer of the atmosphere as a predictor for forecasting radiation fog characteristics.....                                                               | 141 |
| <b>ENVIRONMENTAL MONITORING</b> .....                                                                                                                                                                           | 147 |
| <b>Babenko V., Novozhilova T., Kryuchkova V., Nechyporenko D., Lifer V.</b> Monitoring of the soils of national parks under the conditions of complex influence of military actions.....                        | 147 |
| <b>Stasevych S., Makhniak A.</b> Effective artificial intelligence algorithms in environmental monitoring.....                                                                                                  | 152 |
| <b>Tkachuk O., Vergelis V.</b> Environmental efficiency of public monitoring of atmospheric air in Ukraine.....                                                                                                 | 157 |
| <b>Tkachuk O., Mazur O.</b> Environmental analysis of the main provisions of the new procedure for monitoring lands and soils in Ukraine.....                                                                   | 164 |
| <b>ECOLOGY OF LAND RESOURCES</b> .....                                                                                                                                                                          | 173 |
| <b>Braslavska O., Grytsyk O., Rozhi T.</b> Soil geography: historical changes, current status and prospects for the restoration of the black soils of Ukraine.....                                              | 173 |
| <b>Mislyuk O., Yehorova O., Khomenko O.</b> Assessment of urban soil salinity using modern geoinformation technologies....                                                                                      | 181 |
| <b>ECOLOGY OF WATER RESOURCES</b> .....                                                                                                                                                                         | 187 |
| <b>Yesipova N., Gudym N., Zhuravlov D., Plyuyko O., Savytsky A.</b> Indication of a technogenically modified water reservoir by the development of zooplankton.....                                             | 187 |
| <b>Ishchuk O., Svitelskym M., Kovalchuk I., Slyusar M., Mamchenko V.</b> Environmental aspects of sterlet rearing in closed water supply systems (cws): control and safety.....                                 | 193 |
| <b>Krupiei K., Rylsky O., Kolycheva N., Bobrovska O.</b> Carotenoid-synthesizing yeasts as model organisms for bioindication of Copper (II) salts in aquatic ecosystems.....                                    | 199 |
| <b>Motornaya T.</b> Current state and functioning of the aquatic ecosystem of Yalpug-Kugurlui lakes in conditions of increasing anthropogenic load.....                                                         | 208 |
| <b>Strokai V., Hatz A.</b> Water scarcity for fisheries in the Unava River .....                                                                                                                                | 216 |
| <b>Tiutiunnyk O., Hordii N.</b> Water resource management in the context of climate change: experience and strategies of KP “Miskteplovodenerhiya”.....                                                         | 226 |
| <b>Fedenko Yu., Kutsenko A., Tkachuk A.</b> The latest most environmentally friendly methods of water purification in terms of its origin.....                                                                  | 231 |
| <b>Feldman D., Dregval I.</b> Seasonal formation of phytoplankton on the Sukha Sura River.....                                                                                                                  | 235 |
| <b>ECOLOGY AND PRODUCTION</b> .....                                                                                                                                                                             | 240 |
| <b>Holota V.</b> Ensuring conditions for environmentally safe petroleum products transportation in tanks .....                                                                                                  | 240 |
| <b>Kuznietsov P., Biedunkova O.</b> Assessment of the composition and properties of suspended solids in the formation of water discharge of power plant wastewater.....                                         | 246 |
| <b>Markina L., Ivashchenko T., Vlasenko O., Kovtunov O.</b> Modeling of the experimental stand reactor of the circulating pyrolysis process.....                                                                | 256 |
| <b>Nahurskyi O., Vykhivska K.</b> Biotic potential of the anthropogenic ecosystem of the tailings dump of yavoriv sulphur processing plant.....                                                                 | 265 |
| <b>Pron O.</b> A comprehensive approach to rational generator selection.....                                                                                                                                    | 271 |

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Fedenko Yu., Didenko D., Burmak A.</b> Modern methods of preparation of deeply desalinated water for the needs of thermal power plants. Ecological aspects.....               | 279 |
| <b>ECOLOGY OF AGRICULTURAL PRODUCTION</b> .....                                                                                                                                  | 283 |
| <b>Andreieva O., Ivaniuk T., Budnik I., Shvets M., Klymchuk O.</b> Genetic & breeding approaches to seed recovery of <i>Catalpa bignonioides</i> Walt. in Zhytomyr Polissia..... | 283 |
| <b>Vigera S., Kliuchevych M., Mozharivska I.</b> Technical service is an innovative area in agronomy and plant science.....                                                      | 288 |
| <b>Yurchenko T., Demydov O., Pykalo S., Voloshchuk H., Kharchenko M.</b> Method for evaluating drought tolerance of wheat genotypes at the early stages of organogenesis.....    | 292 |
| <b>WASTE MANAGEMENT</b> .....                                                                                                                                                    | 296 |
| <b>Vasylenko O.</b> Ecologically efficient processing of polymers: the example of Recycle Hub in Romania.....                                                                    | 296 |
| <b>Leliushok S.</b> Impact of unauthorized landfills on environmental components.....                                                                                            | 300 |
| <b>Oliinyk T., Makovetska O., Romaniuta Ye.</b> Ecological feasibility of using construction waste.....                                                                          | 309 |
| <b>Razno M., Tykhomyrova T., Bosiuk A., Shestopalov O.</b> Study of the process of domestic composting of organic waste of plant origin.....                                     | 316 |
| <b>Saranenko I.</b> Features of waste management in urban and rural conditions of Switzerland.....                                                                               | 324 |
| <b>Sorochynska O.</b> Innovative approaches to waste management in the context of sustainable development.....                                                                   | 330 |
| <b>Chernyshenko A.</b> On the disposal of christmas trees.....                                                                                                                   | 336 |
| <b>ENVIRONMENTAL IMPLICATION OF MILITARY ACTIONS</b> .....                                                                                                                       | 343 |
| <b>Borysenko O., Kryvokhyzha Ye., Chornostan T.</b> Impact of military actions on ecosystems: damage assessment and paths to recovery.....                                       | 343 |
| <b>Sakun A., Kutkovi D.</b> Assessment of the impact of military actions on soils.....                                                                                           | 350 |
| <b>AUTHORS' CREDENTIALS</b> .....                                                                                                                                                | 354 |



## УЛЬТРАФІОЛЕТ ЯК ЕКОЛОГІЧНИЙ ЧИННИК: ДЖЕРЕЛА, КЛАСИФІКАЦІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ, БІОЛОГІЧНА ДІЯ

Войціцький В.М., Корнієнко В.І., Хижняк С.В., Довбиш О.Б., Мідик С.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ

[volodymyrV1950@gmail.com](mailto:volodymyrV1950@gmail.com)

Ультрафіолетове випромінювання (УФ-випромінювання) – це електромагнітне випромінювання, що за довжиною хвилі займає спектральну область між видимим і рентгенівським випромінюванням, а саме в межах 400–10 нм, енергія квантів – 3–120 еВ. За однією із класифікацій виділяють довгі УФ-хвилі: від 400 нм до 315 нм, діапазон А; середні УФ-хвилі: від 315 нм до 280 нм, діапазон В; короткі УФ-хвилі: від 280 нм до 10 нм, діапазон С. За іншою класифікацією УФ-випромінювання поділяється на випромінювання ближньої області (довжина хвиль 400–200 нм) і далекої або вакуумної області (200–10 нм). При довжині хвилі менша 200 нм УФ-випромінювання є іонізуючим. Природними джерелами УФ-випромінювання є Сонце, зірки, туманності та інші космічні об'єкти, а також блискавки, електричні розряди, які виникають при високій напруженості електричного поля в атмосфері. Штучними джерелами УФ-випромінювання є розжарені понад 1200 °С тверді тіла і гази, електричні дугові розряди, газорозрядні лампи (металогалогенні чи ртутієві (ртутні)). Біологічна дія іонізуючого УФ-випромінювання подібна радіоактивному (рентгенівське,  $\gamma$ ,  $\alpha$ , та  $\beta$ ), однак внаслідок малої енергії квантів (6–120 еВ) і високої здатності до поглинання УФ-випромінювання має невелику проникливу здатність. Іонізуюче УФ-випромінювання Сонця та інших космічних об'єктів поглинається озоновим шаром стратосфери Землі і не доходить до її поверхні. Водночас, неіонізуюче УФ-випромінювання Сонця (енергія 3–6 еВ) досягає поверхні Землі. При поглинанні воно здатне викликати збудження біомолекул, що може спричинити їхні структурні зміни. Реакційно здатні біомолекули, які здатні до вступу в хімічні реакції, можуть створювати умови для різного роду змін в організмі. За певних доз неіонізуюче УФ-випромінювання здатне проявляти загальнооздоровчий ефект, сприяти лікуванню деяких захворювань шкіри, фотосинтезу вітаміну D та проявляти інші позитивні ефекти. Водночас, за перевищення визначеного допустимого рівня неіонізуюче УФ-випромінювання може мати негативний вплив на людину. Тому необхідно намагатися уникати прямого сонячного проміння. *Ключові слова:* ультрафіолет, джерела випромінювання, діапазони випромінювання, біологічна дія.

**Ultraviolet as an environmental factor: sources, radiation classification, biological effects.** Voitsitskiy V., Korniyenko V., Khyzhnyak S., Dovbysh O., Midyk S.

Ultraviolet radiation (UV radiation) is electromagnetic radiation, which in terms of wavelength occupies the spectral region between visible and X-ray radiation, namely in the range of 400–10 nm, the energy of quanta is 3–120 eV. According to one of the classifications, long UV waves are distinguished: from 400 nm to 315 nm, range A; medium UV waves: from 315 nm to 280 nm, range B; short UV waves: from 280 nm to 10 nm, range C. According to another classification, UV radiation is divided into radiation of the near region (wavelength 400–200 nm) and far or vacuum region (200–10 nm). At a wavelength of less than 200 nm, UV radiation is ionizing. Natural sources of UV radiation are the Sun, stars, nebulae, and other space objects, as well as lightning, electric discharges that occur when the electric field is high in the atmosphere. Artificial sources of UV radiation are solid bodies and gases heated above 1200 °C, electric arc discharges, gas discharge lamps (metal halide or mercury). The biological effect of ionizing UV radiation is similar to radioactive (X-ray,  $\gamma$ ,  $\alpha$ , and  $\beta$ ), however, due to the low quantum energy (6–120 eV) and high absorption capacity, UV radiation has a low penetrating ability. Ionizing UV radiation from the Sun and other space objects is absorbed by the ozone layer of the Earth's stratosphere and does not reach its surface. At the same time, non-ionizing ultraviolet radiation from the Sun (energy 3–6 eV) reaches the Earth's surface. When absorbed, radiation can cause excitation of biomolecules, which can cause their structural changes. Reactive biomolecules, which are able to enter into chemical reactions, can create conditions for various kinds of changes in the body. At certain doses, non-ionizing UV radiation can have a general health effect, promote the treatment of some skin diseases, vitamin D photosynthesis and other positive effects. At the same time, if the specified permissible level is exceeded (depends on the dose, energy flow density, wavelength, duration of action, sensitivity of the skin and eyes of irradiated organisms, etc.), non-ionizing UV radiation can have a negative effect on a person. Therefore, it is necessary to try to avoid direct sunlight. *Key words:* ultraviolet, radiation sources, radiation ranges, biological action.

**Постановка проблеми.** Ультрафіолетове (УФ, лат. *ultra* – понад, за межами та *violet* – фіолетовий) випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що зумовлене випромінюванням атомів при зміні їхнього енергетичного стану і яке займає спектральний діапазон між видимим і рент-

генівським випромінюванням [1]. Довжина хвиль УФ-випромінювання знаходиться в інтервалі від 400 нм до 10 нм ( $7,5 \cdot 10^{14}$ – $3 \cdot 10^{16}$  Гц), енергія квантів – 3–120 еВ (1 еВ (електроновольт)  $\approx 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж).

Спектр УФ-випромінювання в залежності від джерела може бути лінійчастим (УФ-випромінювання

атомів, іонів, легких молекул, наприклад,  $H_2$ ), складатися зі смуг (характерно для важких молекул і обумовлено набором електронних, коливальних і обертових переходів молекул) та безперервний (виникає під час гальмування і рекомбінації електронів атомів) [2].

Виникає УФ-випромінювання при температурі понад  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  і його густина потоку енергії зростає із підвищенням температури. Природними джерелами УФ-випромінювання є Сонце, зірки, туманності та інші космічні об'єкти, а також наземні джерела – блискавки і так звані «вогні святого Ельма» (електричний розряд, який виникає при великій напруженості електричного поля в атмосфері у вигляді світних пучків на гострих кінцях високих предметів, спостерігається під час грози на щоглах кораблів, кінцях крил літаків, на деревах і навіть чагарниках; за фізичною природою це особлива форма коронного розряду). Штучними джерелами УФ-випромінювання є розжарені понад  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  тверді тіла і гази, електричні дугові розряди, газорозрядні лампи (металогалогенні, ксенонові, ртутні). Вся область УФ-випромінювання умовно поділяється на [1]:

- *довгі УФ-хвилі*: від 400 нм до 315 нм (іноді вказують 320 нм), діапазон А;
- *середні УФ-хвилі*: від 315 нм до 280 нм, діапазон В;
- *короткі УФ-хвилі*: від 280 нм до 10 нм, діапазон С.

За іншою класифікацією УФ-випромінювання поділяється на:

- *ближня область*: від 400 нм до 200 нм;
- *далеку або вакуумну область*: від 200 нм до 10 нм (випромінювання цієї області УФ-спектру поглинається повітрям і його дослідження необхідно проводити в безповітряному просторі, тобто вакуумі).

За Міжнародною класифікацією згідно стандарту ISO 21348:2007 УФ-випромінювання Сонця поділяється наступним чином (табл. 1) [3].

При довжині хвиль УФ-випромінювання менше 200 нм воно є іонізуючим, тобто енергія його квантів може бути більше енергії потенціалу іонізації атомів

[1]. Енергія потенціалу іонізації атома – це найменша енергія, яку необхідно передати орбітальному електрону атома, щоб він залишив межі електронної оболонки атома, тобто щоб утворився іон. Для більшості атомів енергія потенціалу іонізації знаходиться в межах 6–15 еВ. Водночас, за довжини хвилі 200 нм енергія квантів 6 еВ, а 10 нм – 120 еВ [1].

Принциповим є оцінка як позитивної, так і негативної дії за перевищення нормативних значень УФ-випромінювання на живі організми, зокрема людину.

**Актуальність дослідження.** Іонізуюче УФ-випромінювання Сонця та інших космічних об'єктів ( $\lambda=200\text{--}10\text{ нм}$ ) затримується озоновим шаром Землі, а неіонізуюче ( $\lambda=400\text{--}200\text{ нм}$ ) досягає поверхні Землі та впливає на біоту, в тому числі людину. Крім того, штучні джерела УФ-випромінювання широко використовуються для знезараження поверхонь і води, стерилізації медичних інструментів та матеріалів, ультрафіолетового сушіння тощо, а також в лікувальних і загальнооздоровчих цілях. Утворюються це випромінювання в спеціальних пристроях (газорозрядних лампах, УФ-лазерах та інше), при створенні та застосуванні дугового розряду та в інших процесах. Актуальним є оцінка можливого негативного впливу підвищених доз УФ-випромінювання як на біоту в цілому, так і здоров'я людини.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями.** Утворення, джерела і біологічна дія УФ-випромінювання в залежності від довжини хвилі (енергії квантів) є глобальною екологічною проблемою, що має антропоцентричний характер, оскільки можлива негативна дія цього випромінювання оцінюється, насамперед, до умов існування людства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема біологічного значення УФ-випромінювання, неіонізуюча частка сонячного якого досягає поверхні Землі, а також численних штучних джерел, широко досліджується. Важливою темою є встановлення санітарно-гігієнічних нормативів безпечних

Таблиця 1

Класифікація УФ-випромінювання Сонця згідно ISO 21348:2007

| № з/п | Назва спектральної області               | Скорочена назва спектральної області | Довжина хвилі, нм |
|-------|------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 1     | Ближня область                           | NUV                                  | 400–315           |
|       | Ультрафіолет А (УФ-А) (довгі УФ-хвилі)   | UVA                                  | 400–315           |
| 2     | Середня область                          | MUV                                  | 315–200           |
|       | Ультрафіолет В (УФ-В) (середні УФ-хвилі) | UVB                                  | 315–280           |
|       | Ультрафіолет С (УФ-С) (короткі УФ-хвилі) | UVC                                  | 280–100           |
| 3     | Вакуумна область                         | VUV                                  | 200–10            |
|       | Далека область                           | FUV                                  | 200–122           |
|       | Екстремально далека область              | EUV                                  | 122–10            |

рівнів впливу різних за довжиною хвилі (енергії) діапазонів УФ-випромінювання. Результати досліджень природи, джерел, біологічної дії, засобів запобігання надмірної дії тощо УФ-випромінювання викладені у численних публікаціях, зокрема [1, 4–7]. Наведені відомості представлені у більшості без доцільного узагальнення, визначення взаємозв'язку чинників, які визначають біологічну дію УФ-випромінювання.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У зв'язку із певними досягненнями при вивченні УФ-випромінювання як явища, його глобального екологічного значення для всієї біоти, виникає потреба в узагальненні існуючих основоположних уявлень щодо як можливої позитивної дії цього випромінювання, так і негативної за перевищення визначених нормативів.

**Новизна.** Із залученням даних наукової літератури проведено аналіз джерел, біологічної дії УФ-випромінювання; утворення озонного шару, його участь у поглинанні іонізуючого УФ-випромінювання, причин утворення і мінливості озонних дір.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Проведена аналітична оцінка біологічної дії УФ-випромінювання з акцентуванням уваги на його негативний вплив за перевищення визначеного допустимого рівня.

**Викладення основного матеріалу.** Іонізуюче УФ-випромінювання ( $\lambda=200\text{--}10\text{ нм}$ ), як біологічно діючий чинник, у загальних проявах біологічної дії подібне до дії рентгенівського,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  та інших випромінювань, що відносяться до радіоактивних [1]. В той же час існують специфічні відмінності:

1) УФ-випромінювання різної довжини хвилі поглинаються вибірково відмінними по хімічному складу і конфігурації молекулами, що обумовлює використання цього випромінювання для якісного і кількісного визначення низки речовин, які здатні поглинати УФ-випромінювання;

2) внаслідок відносно малої енергії УФ-квантів і високої здатності до їхнього поглинання біомолекулами, УФ-промені мають невелику проникаючу здатність, а це обумовлює те, що при опроміненні багатоклітинних організмів або їхніх тканин область первинних радіаційних ефектів обмежується тільки поверхневим шаром клітин.

Більш довгохвильове УФ-випромінювання (400–200 нм) є неіонізуючим, оскільки енергія квантів цього випромінювання, яка знаходиться в межах 3–6 еВ для більшості атомів, менше енергії потенціалу іонізації. Поглинання УФ-випромінювання цього діапазону довжин хвиль супроводжується лише переходом орбітальних електронів на більш високий енергетичний рівень (збудженням поглинаючих випромінювання атомів і молекул) [1, 2].

Поверхні Землі серед діапазонів УФ-випромінювання Сонця досягає тільки довгохвильове неі-

онізуюче випромінювання (переважно з  $\lambda > 290\text{ нм}$ ), а іонізуюче – затримується озонним шаром атмосфери (за наявності озонних дір (див. нижче) УФ-випромінювання цього діапазону тільки ослаблюється [1]). Озон (хімічна формула  $\text{O}_3$ , грецьк. *ozon* – той, що пахне) – газ з характерним запахом. Він є алотропною модифікацією Оксигену. Озон утворюється у фотохімічній реакції молекулярного Оксигену ( $\text{O}_2$ ) з енергетичним УФ-випромінюванням:  $\text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}$ ;  $\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$ .

Припускається, що УФ-випромінюванню належала провідна роль у виникненні перших організмів [8]. Нині основне джерело  $\text{O}_2$  на нашій планеті – це процес фотосинтезу, а саме утворення рослинами і фотосинтезуючими мікроорганізмами органічних речовин з діоксид карбону ( $\text{CO}_2$ ) і води ( $\text{H}_2\text{O}$ ) під дією сонячного світла, що супроводжується виділенням  $\text{O}_2$  [9]. З появою  $\text{O}_2$  в стратосфері (шарі земної атмосфери) почав формуватися озонний шар, в межах якого концентрація озону ( $\text{O}_3$ ) в середньому в 10 раз вища, ніж біля поверхні Землі. Озонний шар знаходиться в стратосфері на висоті від 15 до 35 км. Максимальна концентрація озону спостерігається в тропічних широтах на висоті 25–30 км над рівнем моря, в помірних – 20–25 км, полярних – 15–20 км [10–12]. Відносна концентрація молекул озону в об'ємі озонного шару становить лише 0,001%. Товщина озонного шару, якщо зібрати всі молекули озону до купи разом, складає всього 3 мм.

Озонний шар відкрили в 1913 р. Ш. Фарбі та А. Буйсон. У 20-х роках ХХ століття озонний шар активно досліджував Г. Добсон, на честь якого названа одиниця вимірювання озонного шару – одиниця Добсона (од. Добсона, од. Д; англ. Dobson unit, DU). Одна одиниця Добсона (1 од. Д) дорівнює шару озону 10 мкм за нормальних тиску (101325 Па) і температури (0°C, 273,15 К), що відповідає  $2,69 \cdot 10^{16}$  молекул/см<sup>2</sup>. Нормальною концентрацією озону в стратосферному шарі вважається 300–400 од. Д. Якщо вміст озону стає менше 200 од. Д, то це характеризує утворення озонних дір.

Вважається, що основними причинами їх виникнення є:

1. Атмосферна циркуляція, яка є причиною потоків повітря у верхні шари атмосфери, що викликає заміну збагаченого озоном повітря стратосфери нижнім (10-ти кілометровим) шаром тропосфери.

2. Стратосферні хмари, які утворюються на великій висоті та холодних умовах внаслідок швидкого охолодження та конденсації водяної пари. Вони складаються з крихтих кристалів льоду або переохолоджених крапель води, що здатні руйнувати озон.

3. Потрапляння в стратосферу внаслідок атмосферної циркуляції озоноруйнівних речовин, які є природного походження (наприклад, серед викидів вулканів), так і антропогенного (утворюються в різноманітних галузях промисловості тощо).

Розміри озонових дір залежать від цілої низки чинників. Насамперед, це географічний пояс, домінуючі метеорологічні умови, сезон року, вплив на кількість Оксигену в стратосфері різноманітних чинників і процесів (зокрема, запусків космічних об'єктів і польотів реактивних літаків), підвищений вміст в стратосфері озоноруйнівних речовин, а також ще інші причини [10, 11].

Усім озоновим дірам притаманна мінливість: їхні розміри то збільшуються, то зменшуються, спостерігаються великі варіації. Одним із пояснень поширення озонових дір: широке застосування в промисловості та побуті фреонів, що широко використовуються в промисловості та побуті (холодильному обладнанні, аерозольних балончиках та ін.), які при потрапленні в стратосферу з висхідними потоками повітря здатні під впливом УФ-випромінювання розпадатися з вивільненням атомів Хлору, які діють як дуже сильний каталізатор, розкладаючи озон до Оксигену. Озон здатний руйнувати і такі сполуки як фторовані, бромовані, йодовані похідні ациклічних вуглеводнів, тетрахлорметан, оксиду нітрогену (NO), нітрату хлору (ClNO<sub>3</sub>) та ін.

Безумовно, зменшення вмісту озоноруйнівних речовин в стратосфері, де формується озоновий шар, позитивно впливає на його існування. Це сприяло посиленню контролю за використанням промисловості та побуті озоноруйнівних речовин в низці країн, в тому числі і в Україні [12]. В той же час утворення і розширення озонових дір, яке пов'язують з діяльністю людини (антропогенними причинами), не узгоджується з деякими фактами. Так, зокрема, озонові діри існують (виникають) переважно над південною півкулею Землі, а не над північною, де більше промислово розвинутих країн. Існування озонових дір, як свідчать результати досліджень – явище природне, яке існувало задовго до широкого застосування хлорвуглеводнів та інших озоноруйнівних речовин. З'ясування причин виникнення та існування озонових дір потребує подальших досліджень.

Стосовно загального вмісту озону в стратосфері Землі необхідно відмітити, що цей газ постійно утворюється і руйнується в природному циклі, але його загальна кількість в стратосфері Землі стабільна. Людство поки що не впливає суттєво на ріст і розвиток водоростей в океані, які є основним постачальником O<sub>2</sub> на нашій планеті, а також взагалі на УФ-випромінювання Сонця. Водночас, суттєве підвищення в стратосфері озоноруйнівних речовин, безумовно, може порушити цей баланс.

Випромінювання УФ-спектру, внаслідок малої енергії квантів і високої здатності до поглинання, має малу проникаючу здатність, але в залежності від потоку густини енергії та часу дії здатне як позитивно, так і негативно впливати на організми. В лабораторних умовах джерелами неіонізуючого УФ-випромінювання є низка створених пристроїв

(УФ-лампи, УФ-лазери та ін.), а основні об'єкти дослідження їх впливу – мікроорганізми, культури тканин, а також шкіряні покриви тіла, рогівка ока експериментальних тварин, поверхневі тканини рослин. При встановленні лікувальних властивостей визначених доз УФ-випромінювання досліджується вплив цих променів на внутрішні органи експериментальних тварин за використання УФ-світловодів, які передають випромінювання від їхнього джерела до органу.

Поглинання УФ-випромінювання біомолекулами визначається, в основному, хімічними групами їх складових частин. Так, наприклад, наявність у білках ароматичних амінокислот (головним чином триптофану і тирозину) обумовлює поглинання УФ-випромінювання в області з максимумом біля 280 нм. Адсорбція УФ-випромінювання нуклеїновими кислотами визначається, в основному, пуриновими і піримідиновими основами, які входять в ДНК і РНК, в діапазоні 280–240 нм з максимумом біля 230 нм [9].

До поверхні Землі доходить неіонізуюче УФ-випромінювання Сонця. В Таблиці 2 наведені основні можливі біологічні ефекти прояву довготривалої дії неіонізуючого УФ-випромінювання на організм людини в залежності від довжини хвиль [1].

Водночас неіонізуюче УФ-випромінювання у визначених санітарно-гігієнічних нормах може спричинювати фотореактивацію – репарацію уражених біологічних систем.

Це, зокрема, загальнооздоровча дія (насамперед підвищення імунітету і опірності до інфекцій), прояв протизапальної і безпечної дії при низькій захворюваності (неврити, неврології, радікуліти, міозити, бронхіти), сприяння лікуванню шкірних захворювань і деяких форм туберкульозу [5–7]. Одним із позитивних наслідків дії неіонізуючого УФ-випромінювання є фотобіосинтез вітаміну D, який приймає участь в регуляції обміну Кальцію і фосфатів в організмі [9]. При цьому для запобігання шкідливої дії УФ-випромінювання перебування на відкритому сонячному опроміненні повинно бути обмеженим.

Ультрафіолетове випромінювання при використанні, наприклад, ртутних ламп низького тиску або інших, широкого застосовується для знезараження повітря і дезінфекції приміщень [13], стерилізації продуктів харчування (наприклад, молока), знезараження води тощо.

Безумовно, від УФ-випромінювання існує ціла низка захисних прийомів. Професіональні працівники з джерелами ультрафіолету захищаються спеціальними одягом, масками, окулярами, екранами тощо. Для пересічних людей рекомендовано ряд правил: не перебувати тривалий час на сонці, засмагати треба помірно і користуватися сонцезахисними засобами (кремами, лосьйонами, спреями та ін.), обирати легкий вільний одяг з натуральних тканин, який захищає шкіру від сонця тощо.

## Значення довжин хвиль неіонізуючого УФ-випромінювання, які здатні ініціювати негативні біологічні ефекти

| Довжина хвилі, нм | Зареєстрований ефект                                                                                                                         |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 260–220           | Взаємодія з ДНК, наслідком чого може бути мутагенез. Фотокон'ютивіти (запалення слизової оболонки повік та передньої частини очного яблука). |
| 270–275           | Фотокератит (запалення рогівки ока).                                                                                                         |
| 280               | Взаємодія з білками.                                                                                                                         |
| 295               | Еритема (почервоніння) шкіри, що є одним із симптомів запалення.                                                                             |
| 305               | Виникнення катаракти (втрата прозорості, помутніння рогівки і/або кришталика ока).                                                           |
| 310               | Канцерогенез (в основному злоякісні пухлини шкіри – меланома та немеланомний базальноклітинний і плоскоклітинний рак шкіри).                 |
| 345               | Пігментація шкіри.                                                                                                                           |

**Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження.** Іонізуюче УФ-випромінювання ( $\lambda=200\text{--}10\text{ нм}$ ) у загальних проявах біологічної дії подібне до дії радіоактивних випромінювань внаслідок малої енергії (6–120 еВ) і високої здатності до поглинання біомолекулами, це УФ-випромінювання має невелику проникаючу здатність. Іонізуюче УФ-випромінювання Сонця та інших космічних об'єктів до поверхні Землі не доходить, оскільки воно поглинається озоновим шаром стратосфери. Неіонізуюче УФ-випромінювання

( $\lambda>200\text{ нм}$  і до 400 нм) Сонця досягає поверхні Землі. Воно, крім загальнооздоровчого ефекту, сприяє лікуванню деяких захворювань. Однак за перевищення визначеного максимально допустимого рівня здатне в залежності від довжини хвилі, густини потоку енергії, терміну дії, чутливості об'єктів опромінення тощо проявляти низку негативних впливів на біоту, в тому числі на людину. Тому необхідно беззаперечно дотримуватися правил поведінки на відкритому Сонці та при роботі з джерелами УФ-випромінювання.

## Література

1. Кутлахмедов Ю. О., Войціцький В. М., Хижняк С. В. Радіобіологія: підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2011. 543 с.
2. Мельничук Д.О. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики / Д.О. Мельничук та ін. Київ: ЦП «Компринт», 2016. 289 с.
3. ISO 21348:2007. Definition of solar irradiances spectral categories.
4. Hockberger P. E. History of Ultraviolet. Photobiology for Humans, Animals and Microorganisms. *Photochemistry and Photobiology*. 2002. 76 (6). P. 561–569.
5. Hu S., Ma F., Collado-Mesa F., Kirsner R.S. UV radiation, latitude and melanoma in US Hispanics and blacks. *Arch. Dermatology*. 2004. № 140 (7). P. 819–824.
6. Сухан В. С. Світлолікування: методичні рекомендації. Ужгород: ФОП Береза А. Е., 2012. 32 с.
7. Шевченко А. Ф. Основи медичної і біологічної фізики. Київ: «Медицина», 2008. 655 с.
8. Войціцький В. М., Рудич В. В. Феномен життя: походження, суть, удосконаленість, тривалість. Історія людства. Видання друге. Київ: «Принтеко», 2021. 189 с.
9. Шелест З. М., Войціцький В. М., Гайченко В. А., Байрак О. М. Біологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Вид-во «Кондор», 2007. 760 с.
10. Лановенко О. Г., Остапівщина О. О. Атмосфера: словник-довідник. Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2013. 342 с.
11. Лановенко О. Г., Остапівщина О. О. «Діра» озонна: словник-довідник. Херсон: ПП Вишемирський, 2013. 70 с.
12. Постанова Кабінету Міністрів України № 1411 від 29.12.2007 р. «Перелік озоноруйнуючих речовин, експорт та імпорт яких підлягає ліцензуванню» з додатками стосовно кожнорічного уточнення переліку товарів, експорт та імпорт яких підлягає ліцензуванню та квот.
13. Наказ МОЗ України № 882 від 06.05.2021 р. «Санітарно-протиепідемічні правила і норма використання ультрафіолетового бактерицидного випромінювання для знезараження повітря та дезінфекції поверхонь в приміщеннях закладів охорони здоров'я та установ / закладів надання соціальних послуг / спеціального захисту населення».

## ІНТЕГРАЦІЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У ОСВІТНІ ПРОГРАМИ ПІДГОТОВКИ ЕКОЛОГІВ

Бондаренко Л.І., Волошина Н.О., Шевченко В.Г., Лаврінченко В.М.

Український державний університет імені Михайла Драгоманова  
вул. Пирогова, 9, 02000, м. Київ  
[voloshynanatali@gmail.com](mailto:voloshynanatali@gmail.com)

Одним із ключових напрямків переходу до сталого розвитку є інтегрування Цілей сталого розвитку (ЦСР) в освітню складову підготовки здобувачів вищої освіти. Фахова підготовка майбутніх екологів через призму концепції збалансованого економічного, екологічного та соціального вимірів дозволяє сформувати фахові компетентності і програмні результати навчання відповідно до викликів сучасності та потреб повоєнного відновлення України. Серед механізмів інтегрування провідне місце займає наскрізне наповнення освітніх програм і освітніх компонентів циклу фахової підготовки елементами, що розкривають значення ЦСР, їх завдання та критерії при підготовці на освітніх рівнях бакалавра, магістра та доктора філософії (PhD). **Метою статті** є проаналізувати зміст освітньо-професійних і освітньо-наукових програм підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 101 Екологія Українського державного університету імені Михайла Драгоманова та інтеграцію в них Цілей сталого розвитку. **Методологія дослідження** базується на аналізі відповідності освітніх програм відповідно до Стратегії сталого розвитку України до 2030 року. **Наукова новизна роботи** полягає в аналізі освітніх програм підготовки здобувачів вищої освіти зі спеціальності 101 Екологія в Українському державному університеті імені Михайла Драгоманова відповідно до узгодженості між змістом і моделлю реалізації в контексті ЦСР. Для оцінки освітньої програми стосовно наявності елементів, що забезпечують ЦСР використали мапування, виділено етапи навчання та запропоновано структурно-логічну схему поетапного опанування знань через освітні компоненти на кожному з рівнів вищої освіти. Такий підхід дозволяє здобувачу набутти, поглибити і застосовувати набуті компетентності та програмні результати навчання на усіх етапах навчання та за майбутньої практичної професійної діяльності. *Ключові слова:* стратегія сталого розвитку, цілі, освітніх програм, екологія.

**Integration of sustainable development goals into the educational program of the training of environmentalists. Bondarenko L., Voloshyna N., Shevchenko V., Lavrinenko V.**

One of the key directions of the transition to sustainable development is the integration of the Sustainable Development Goals (SDGs) into the educational component of higher education students' training. Professional training of future ecologists through the prism of the concept of balanced economic, environmental and social dimensions allows for the formation of professional competencies and program learning outcomes in accordance with the challenges of modernity and the needs of post-war reconstruction of Ukraine. Among the integration mechanisms, the leading place is occupied by the end-to-end filling of educational programs and educational components of the professional training cycle with elements that reveal the meaning of the SDGs, their tasks and criteria in training at the educational levels of bachelor, master and doctor of philosophy (PhD). **The aim of the article** is to analyze the content of educational-professional and educational-scientific programs for training higher education students in the specialty 101 Ecology of the Mykhailo Dragomanov Ukrainian State University and the integration of the Sustainable Development Goals into them. **The research methodology is based** on the analysis of the compliance of educational programs with the Strategy for Sustainable Development of Ukraine until 2030. **The scientific novelty** of the work lies in the analysis of educational programs for the training of higher education applicants in the specialty 101 Ecology at the Mykhailo Dragomanov Ukrainian State University in accordance with the consistency between the content and the implementation model in the context of the SDGs. To assess the educational program in terms of the presence of elements that ensure the SDGs, mapping was used, stages of training were identified and a structural and logical scheme of phased mastery of knowledge through educational components at each level of higher education was proposed. This approach allows the applicant to acquire, deepen and apply the acquired competencies and program learning outcomes at all stages of training and in future practical professional activities. *Key words:* sustainable development strategy, goals, educational programs, ecology.

Сьогодення України характеризується чисельними соціальними, економічними та екологічними викликами. Військові дії на території країни посилюють навантаження на всі сфери, спричинивши значні економічні втрати, знищення інфраструктури, погіршення екологічної ситуації, кризу в соціальній сфері, міграцію населення та зростання гуманітарних потреб [1]. Проте, незважаючи на складні обставини, Україна активно проводить реформи, спрямовані на подолання

цих проблем та гармонізацію національної політики відповідно до міжнародних стандартів. Одним із ключових напрямків розвитку є орієнтація досягнення Цілей сталого розвитку (ЦСР), проголошених резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй від 25 вересня 2015 року № 70/1, визначених Указом Президента України від 30 вересня 2019 року № 722, які розглядаються як універсальні рекомендації для розбудови сталого майбутнього [2, 3].

Реалізація ЦСР забезпечує досягнення балансу між соціальним добробутом, економічним зростанням та захистом навколишнього середовища. Україна, як член світової спільноти, взяла на себе зобов'язання інтегрувати принципи сталого розвитку в усіх сферах державної політики.

Досягнення Україною ЦСР є не лише міжнародними зобов'язаннями, але й необхідною умовою для створення стійкого суспільства. Пріоритетними завданнями стали забезпечення якісної освіти, зниження нерівності, захисту довкілля, а також розвитку економіки, заснованої на інноваціях і раціональному використанні ресурсів. Це складне завдання, яке потребує ефективної співпраці між урядом, громадськими організаціями, бізнесом та академічною спільнотою.

Одним із важливих механізмів реалізації ЦСР є інтеграція різних принципів у галузі, включаючи економіку, політику, технології та освіту. Такий механізм дозволяє забезпечити системний підхід до вирішення соціальних, економічних та екологічних проблем. Інституційна співпраця, модернізація законодавства, впровадження екологічно чистих технологій та інновацій у виробництво є основними напрямками роботи. Важливим аспектом є просвітництво громадян і підвищення обізнаності про Цілі сталого розвитку, що забезпечує широку підтримку їх реалізації.

**Виклад основного матеріалу.** Особливе місце в досягненнях ЦСР займає освіта, яка виступає потужним інструментом для формування екологічної, соціальної та економічної свідомості. Воробієнко П.П. зазначав: «Організацію освіти в інтересах сталого розвитку доцільно починати з інформування суспільства про сталий розвиток загалом і ЦСР зокрема та ввести відповідний матеріал у навчальні програми всіх рівнів освіти – від дошкільної освіти до аспірантури включно» [4].

Освітні програми (ОП), за якими ведеться підготовка здобувачів у закладах вищої освіти (ЗВО) має забезпечувати набуття здобувачами вищої освіти компетентностей, направлених на досягнення глобальних цілей сталого розвитку до 2030 року. Досягнення ЦСР має бути задекларовано у стратегічних документах ЗВО, а також як складова внутрішньої системи забезпечення якості вищої освіти; зміст освітніх компонентів забезпечує набуття здобувачами вищої освіти компетентностей, направлених на досягнення цілей сталого розвитку [5].

Зміст освітніх програм, які реалізуються при підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальністю 101 Екологія в Українському державному університеті імені Михайла Драгоманова забезпечує набуття здобувачами вищої освіти компетентностей, направлених на досягнення глобальних цілей сталого розвитку до 2030 року. Підготовка майбутніх екологів в Українському державному універси-

теті імені Михайла Драгоманова здійснюється для бакалаврського та магістерського освітніх рівнів за освітньо-професійними програмами «Екологія» та «Управління екоризиками та біозахистом» відповідно та третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти – за освітньо-науковою програмою «Екологія».

Освітні програми, орієнтовані на досягнення ЦСР, включають міждисциплінарний підхід, компетентності та програмні результати навчання для розвитку критичного мислення, усвідомлення відповідальності за майбутні покоління, формують екологічну і соціально відповідальну поведінку. Особливу увагу у контексті підготовки фахівців спеціальності 101 Екологія приділяють тим ЦСР, які мають виражену екологічну складову (екологічно чисті технології, збереження природних ресурсів, екосистем суші та ін.). Це дозволяє майбутнім фахівцям не лише адаптуватися до сучасних викликів, але й активно впливати на їх подолання.

Освітній процес побудований таким чином, щоб майбутні здобувачі поступово отримували і поглиблювали свої знання, розуміли значення, завдання і критерії кожної ЦСР та вміли їх досягати в майбутній практичній діяльності.

Навчання за освітніми програмами спеціальності 101 Екологія в Українському державному університеті імені Михайла Драгоманова здійснюється наскрізно на кожному рівні здобуття вищої освіти: першому (бакалаврському), другому (магістерському) і третьому (освітньо-науковому). Кожен з освітніх компонентів циклу фахової підготовки включає тему або її частину, де висвітлюються окремі ЦСР, їх завдання та критерії.

Для змістовної оцінки узгодженості між змістом і моделлю реалізації освітньої програми з ЦСР використовують мапування. Мапування освітніх програм за ЦСР ООН дозволяє закладам вищої освіти (ЗВО) узгодити свої освітні пропозиції з глобальними викликами сталого розвитку. Цей процес може допомогти вищим навчальним закладам продемонструвати свій внесок у досягнення ЦСР, покращити свої освітні програми та підготувати студентів до вирішення складних глобальних проблем [6].

Можна виділити декілька етапів, які проходять здобувачі, під час навчання на освітній програмі, де інтегровано принципи сталого розвитку, такі як ознайомчий або теоретичний, аналітичний, практичний, проєктний, критичний або рефлексний, фінальний (узагальнення і застосування) (табл. 1).

Теоретичний та аналітичний етап є базовими для знайомства і вивчення сталого розвитку, адже саме на цих етапах здобувачі отримують фундаментальні знання, знайомляться з законодавчою базою, вчаться аналізувати та оцінювати вплив діяльності людини на довкілля.

На практичному і проєктному етапі здобувачі навчаються застосовувати свої теоретичні знання,

Таблиця 1

## Етапи навчання в аспекті досягнення Цілей сталого розвитку при підготовці еколога

|    | Назва етапу                             | Опис етапу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Освітній рівень              | Назва дисциплін                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Ознайомчий або теоретичний              | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Здобувачі знайомляться з базовими концепціями сталого розвитку, історією їх виникнення, принципами та цілями, визначеними ООН.</li> <li>– Вивчають правові та нормативні аспекти сталого розвитку на національному та міжнародному рівнях.</li> <li>– Аналізують основні глобальні виклики, такі як зміна клімату, зменшення біорізноманіття, виснаження ресурсів та соціальна нерівність.</li> </ul> | Бакалавр                     | «Екологія»,<br>«Охорона навколишнього середовища»,<br>«Метеорологія і кліматологія»,<br>«Екологія рослин і тварин»,<br>«Екологія людини»,<br>«Вступ до спеціальності»,<br>«Корпоративна еколого-соціальна відповідальність»,<br>«Екологічна епідеміологія та епізоотія»,<br>«Техноекологія і екологічна безпека» |
| 2. | Аналітичний                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Здобувачі вчаться аналізувати сучасний стан екологічних, економічних і соціальних процесів у контексті сталого розвитку.</li> <li>– Освоюють методи оцінки впливу діяльності людини на навколишнє середовище.</li> <li>– Вивчають статистичні та аналітичні дані для виявлення проблем і можливостей сталого розвитку.</li> </ul>                                                                     | Бакалавр                     | «Екологічна систематологія та статистика»,<br>«Методи вивчення об'єктів природного середовища»,<br>«Оцінка впливу на довкілля»,<br>«Моделювання і прогнозування стану довкілля»,<br>«Ландшафтна екологія з основами ґрунтознавства»,<br>«Радіоекологія»,<br>«Урбоекологія»,<br>«Основи біотехнологій»            |
| 3. | Практичний                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Виконання практичних завдань, пов'язаних із розробкою та впровадженням екологічно сталих рішень.</li> <li>– Участь у польових дослідженнях, екологічних експертизах та оцінці впливу на довкілля.</li> <li>– Проведення екологічних проєктів на місцевому рівні, спрямованих на вирішення актуальних проблем у громадах.</li> </ul>                                                                   | Бакалавр                     | «Екологічне просвітництво»,<br>«Нормування антропогенного навантаження на довкілля»,<br>«Моніторинг довкілля»,<br>«Екологічне підприємництво»,<br>«Екологічний менеджмент»,<br>Загально-екологічна практика,<br>Практика з охорони навколишнього природного середовища, Практика з моніторингу довкілля          |
| 4. | Проектний                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Здобувачі беруть участь у міждисциплінарних проєктах, спрямованих на досягнення окремих цілей сталого розвитку.</li> <li>– Розробка стратегій і планів дій для вирішення конкретних екологічних, соціальних чи економічних проблем.</li> <li>– Взаємодія з експертами, організаціями та установами, що займаються питаннями старого розвитку.</li> </ul>                                              | Магістр                      | «Організація наукових досліджень»,<br>«Стратегія сталого розвитку»,<br>«Системний аналіз якості довкілля»,<br>«Управління екологічними ризиками»,<br>«Екологічний контроль в умовах євроінтеграції»,<br>«Екологічна стандартизація і сертифікація»                                                               |
|    |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | PhD                          | «Екологічні студії (за темами дисертаційного дослідження)»<br>Відновлення трансформованих екосистем                                                                                                                                                                                                              |
| 5. | Критичний або рефлексний                | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Здобувачі виконують критичний аналіз отриманих знань і навичок у контексті реальних проблем сталого розвитку.</li> <li>– Оцінюють ефективність застосованих рішень та можливих напрямків їх вдосконалення.</li> <li>– Проводиться робота з підготовки рекомендацій для подальшої інтеграції принципів сталого розвитку у професійну діяльність.</li> </ul>                                            | Магістр                      | Науково-дослідницька практика,<br>Виробнича практика,<br>Переддипломна практика.                                                                                                                                                                                                                                 |
|    |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | PhD                          | «Екологічні студії (за темами дисертаційного дослідження)»<br>Відновлення трансформованих екосистем<br>Оцінка антропогенного впливу на лісові екосистеми                                                                                                                                                         |
| 6. | Фінальний (узагальнення і застосування) | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Узагальнення досвіду здобувачів.</li> <li>– Демонстрація здобутих компетентностей під навчання.</li> <li>– Підготовка до застосування принципів сталого розвитку у професійній діяльності, зокрема у впровадження інноваційних екологічних технологій.</li> </ul>                                                                                                                                     | Бакалавр/<br>Магістр/<br>PhD | Захист курсових, дипломних, магістерських робіт.<br>Виробнича практика.<br>Проєктна діяльність.<br>Професійна діяльність.                                                                                                                                                                                        |



на змодельованих ситуаціях, та проєктах, котрі використовують реальні дані. Наприклад, під час вивчення у першому семестрі освітнього компонента «Екологія людини», студенти-бакалаври здобувають знання стосовно особливостей способу життя, які відповідають потребам сталого розвитку. Освітній компонент «Техноекологія та екологічна безпека» знайомить здобувачів з механізмами водозбереження, енергозбереження та ощадливого використання інших ресурсів. Це важливо для досягнення ЦСР-6, ЦСР-7, ЦСР-9, ЦСР-12, ЦСР-13, ЦСР-14. Вивчення освітнього компонента «Охорона навколишнього середовища» важливе для досягнення ЦСР-15 «Захист екосистем суші» та ЦСР-14 «Збереження морських ресурсів».

На заключних, критичному та фінальному етапах, здобувачі набувають компетентностей необхідних для вирішення поставлених завдань та у майбутній професійній діяльності. Варто зазначити, що дисципліна «Стратегія сталого розвитку» вивчається в першому семестрі освітнього рівня магістр, й має систематизуючий та узагальнюючий характер, адже здобувачі попередньо володіють основними теоретичними знаннями та навичками розв'язання змодельованих задач. Перевагою наскрізної інтеграції ЦСР в освітні програми визначено охоплення окремих питань в кожному ОК й охоплює всі ЦСР з різних аспектів.

Інтеграція стратегії сталого розвитку в освітні програми за спеціальністю 101 Екологія є ключовим для підготовки фахівців, здатних реагувати на глобальні виклики сучасності, такі як зміна клімату, виснаження природних ресурсів та соціальна нерівність. Цей підхід забезпечує міждисциплінарне формування компетентностей для гармонійного

поєднання економічних, екологічних і соціальних аспектів розвитку. Структурно-логічні схеми ОП орієнтовані на поетапне ознайомлення і розуміння ЦСР, їх завдань і критеріїв, сприяють усвідомленню відповідальності за майбутнє покоління і формують екологічну та соціально відповідальну поведінку. Вони також створюють основу для впровадження інноваційних рішень, що враховують як локальні, так і глобальні потреби суспільства. Таким чином, інтеграція принципів сталого розвитку в освіту є необхідним кроком для формування покоління фахівців, здатних забезпечити гармонійний розвиток суспільства та природи. В Україні цей процес є одним із пріоритетів, що сприяє не лише реалізації міжнародних зобов'язань, але й побудові стійкого майбутнього для країни.

**Висновки.** Важливим аспектом у підготовці фахівців за спеціальністю 101 Екологія на усіх освітніх рівнях здобуття вищої освіти є набуття здобувачами вищої освіти компетентностей і програмних результатів навчання, направлених на досягнення Цілей сталого розвитку. Багаторічний досвід підготовки екологів у Українському державному університеті імені Михайла Драгоманова дозволив сформувати наскрізну систему підготовки направлену на досягнення Глобальних цілей сталого розвитку до 2030 року через інтеграцію компонентів ЦСР в освітні програми, кожен освітній компонент циклу фахової підготовки, практики, підготовку курсових і кваліфікаційних робіт. Розроблено етапи навчання за ОП в аспекті досягнення ЦСР при підготовці майбутнього еколога, практика та науковця, що дозволило підтвердити поступовість і логічність опанування знань, набуття навичок для їх застосування на кожному з наступних рівнів навчання та в практичній діяльності.

### Література

1. Сталый розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. IX Міжнародний молодіжний конгрес, 28-29 березня 2024, Україна, Львів : зб. матер. – Електрон. дан. – Київ : Яроченко Я. В., 2024. – 246 с.
2. УКАЗ Президента УКРАЇНИ № 722/2019 Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825>
3. United Nations. General Assembly. (2015, October 21). Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. 70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: <https://bit.ly/2Htkylf>
4. Воробієнко П.П. Роль освіти в досягненні Цілей сталого розвитку ООН. *Вісник НАІПН України*, 2023, 5(1) – С 1–8.
5. Роз'яснення щодо застосування Критеріїв оцінювання якості освітньої програми: методичний посібник [Електронне видання] / А. Бутенко, Г. Денискіна, О. Єременко, О. Книш, І. Сімшаг, О. Требенко. – Київ : Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, 2024. – 127 с. URL: [https://www.kdu.edu.ua/Documents/zastosuv\\_krit\\_yakosty\\_op.pdf](https://www.kdu.edu.ua/Documents/zastosuv_krit_yakosty_op.pdf)
6. Рекомендації до мапування освітніх програм за Цілями сталого розвитку ООН у Сумському Національному аграрному університеті. 2024. URL: <https://snau.edu.ua/wp-content/uploads/2024/10>

## ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПРОВЕДЕННЯ ПОЗАКЛАСНОЇ РОБОТИ З БІОЛОГІЇ

Люленко С.О., Небикова Т.А.

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

вул. Садова, 2, 20300, м. Умань

[lulencoso@gmail.com](mailto:lulencoso@gmail.com)

Здійснено огляд концепцій позакласної роботи, розроблених провідними педагогами минулого й сучасності. Особливу увагу приділено розвитку пізнавального інтересу, формуванню творчих здібностей учнів і навичок самостійної роботи. Розкрито роль учителя у формуванні в учнів відповідальності, дисциплінованості й любові до природи.

Дослідження охоплює методику організації позакласної роботи: спостереження, експериментальна діяльність, створення гербаріїв, проведення досліджень у куточках живої природи, на навчально-дослідних ділянках тощо. Обґрунтовано значення гурткової діяльності у формуванні в учнів наукового світогляду та виявленні обдарованих школярів.

Результати дослідження спрямовані на удосконалення позакласної роботи, що сприяє гармонійному розвитку школярів, підвищенню їхньої навчальної мотивації, зміцненню фізичного здоров'я та формуванню екологічної свідомості.

У статті досліджено особливості організації та проведення позакласної роботи з біології в загальноосвітніх навчальних закладах. Позакласна робота визначена як одна з ключових форм навчання, що сприяє поглибленню знань, розвитку пізнавального інтересу учнів, формуванню їхньої самостійності та творчих здібностей. Розглянуто історичний і сучасний контекст цього питання, зокрема внесок Я. Коменського, В. Сухомлинського, С. Русової та інших педагогів у розробку основ організації позакласної роботи.

Окреслено три основні форми позакласної діяльності з біології: індивідуальну, гурткову та масову, а також детально описано методику їхнього проведення. У статті акцентується увага на важливості роботи вчителя у формуванні інтересу до природи та дослідницької діяльності. Наведено приклади застосування практичних завдань, спостережень, екскурсій та експериментів для підвищення рівня предметних знань і виховання екологічної свідомості школярів.

Результати дослідження свідчать, що якісно організована позакласна робота є потужним інструментом формування наукового світогляду учнів, їхньої соціальної активності та гармонійного розвитку. Автор пропонує практичні рекомендації щодо впровадження позакласних заходів у навчальний процес, враховуючи сучасні вимоги до освіти та специфіку викладання біології. *Ключові слова:* позакласна робота, біологія, пізнавальний інтерес, екологічна свідомість, гурткова діяльність, індивідуальна форма роботи.

### **Peculiarities of organizing and conducting extracurricular activities in biology. Liulenko S., Nebykova T.**

The article reviews the concepts of extracurricular activities developed by leading teachers of the past and present. Particular attention is paid to the development of cognitive interest, the formation of students' creative abilities and independent work skills. The role of the teacher in fostering responsibility, discipline and love of nature in students is revealed.

The study covers the methodology of organizing extracurricular activities: observation, experimental activities, creation of herbaria, research in wildlife areas, educational and research plots, etc. The importance of club activities in the formation of students' scientific outlook and the identification of gifted students is substantiated.

The results of the study are aimed at improving extracurricular activities that contribute to the harmonious development of students, increasing their academic motivation, strengthening their physical health and forming environmental awareness.

The article investigates the peculiarities of organizing and conducting extracurricular activities in biology in general education institutions. Extracurricular work is defined as one of the key forms of education that contributes to the deepening of knowledge, development of students' cognitive interest, formation of their independence and creativity. The author considers the historical and modern context of this issue, in particular, the contribution of J. Komensky, V. Sukhomlynsky, S. Rusova and other teachers to the development of the basics of organizing extracurricular activities.

The article outlines three main forms of extracurricular activities in biology: individual, group and mass, and describes in detail the methods of their implementation. The article emphasizes the importance of the teacher's work in fostering interest in nature and research. Examples of the use of practical tasks, observations, excursions and experiments to improve the level of subject knowledge and raise environmental awareness of schoolchildren are given.

The results of the study show that well-organized extracurricular activities are a powerful tool for shaping students' scientific outlook, their social activity and harmonious development. The author offers practical recommendations for the implementation of extracurricular activities in the educational process, taking into account modern requirements for education and the specifics of teaching biology. *Key words:* extracurricular activities, biology, cognitive interest, environmental awareness, group activities, individual form of work.

**Постановка проблеми.** Сучасна система освіти спрямована на формування всебічно розвиненої особистості, здатної до самостійного мислення, творчої діяльності та свідомого ставлення до при-

роди. У цьому контексті особливого значення набуває позакласна робота з біології, яка не лише доповнює основний навчальний процес, але й сприяє розвитку пізнавального інтересу, формуванню еко-

логічної культури та дослідницьких компетентностей учнів.

Попри значний педагогічний потенціал позакласної роботи, її організація часто обмежується формальним проведенням заходів без належного методичного забезпечення або врахування індивідуальних інтересів і потреб школярів. Відсутність системного підходу до позакласної діяльності призводить до низького рівня залученості учнів, що знижує ефективність навчання та виховання.

Це обумовлює необхідність глибокого аналізу сучасних методів організації позакласної роботи з біології, розробки інноваційних форм і підходів до її проведення, а також практичних рекомендацій для вчителів щодо ефективного використання цього інструменту у вихованні екологічно свідомих і науково обізнаних громадян.

**Актуальність дослідження.** Сучасний розвиток суспільства потребує підготовки покоління, яке здатне не лише адаптуватися до швидких змін, а й впливати на них через свідоме прийняття рішень та активну життєву позицію. Формування науково-дослідницьких компетентностей учнів у процесі навчання біології є важливою складовою цього завдання, адже вона сприяє розвитку критичного мислення, творчості, вміння працювати з інформацією та застосовувати знання у реальних життєвих ситуаціях.

Факультативна робота з біології, яка є частиною позакласної діяльності, відкриває широкі можливості для інтеграції науково-дослідницької діяльності в освітній процес. Вона дозволяє поглиблювати знання, розвивати інтерес до природничих наук, формувати екологічну свідомість та виховувати відповідальне ставлення до природи.

Однак на практиці часто спостерігається недостатня увага до методичного забезпечення факультативної роботи, відсутність ефективних інноваційних підходів та системної підтримки з боку педагогів. Це знижує мотивацію учнів до участі у дослідницькій діяльності, обмежує можливості розвитку їхньої наукової компетентності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз наукової літератури свідчить про значну увагу дослідників до проблеми формування науково-дослідницьких компетентностей учнів. У дослідженнях багатьох науковців (Г. Бузова, І. Єрмакова, С. Подмазіна) розглядається сутність компетентнісного підходу в освіті, його роль у розвитку творчих здібностей та критичного мислення учнів.

Зокрема, праці Н. Побірченко та О. Савченко акцентують увагу на значенні дослідницької діяльності як інструменту поглиблення знань і формування інтересу до науки. Дослідники підкреслюють необхідність впровадження в навчальний процес проєктних методів, які дозволяють учням отримувати практичний досвід та навички розв'язання реальних завдань.

У роботах В. Сухомлинського ідеї інтеграції навчального та дослідницького компонентів представлені через педагогіку співробітництва, коли вчитель і учень стають партнерами у процесі пізнання. Цей підхід є важливим для забезпечення індивідуалізації навчання та розвитку в учнів впевненості у власних силах.

Однак питання організації факультативної роботи з біології як засобу формування науково-дослідницьких компетентностей учнів потребує подальшого дослідження. Праці, присвячені факультативним курсам, здебільшого зосереджені на їх змістовому наповненні (Л. Демченко, О. Плахотнік), але недостатньо уваги приділено методичним підходам до формування дослідницьких компетентностей.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на значний науковий інтерес до проблеми формування науково-дослідницьких компетентностей учнів, окремі аспекти цього питання залишаються недостатньо вивченими. Відомо, що ефективність формування дослідницьких компетентностей залежить від індивідуального підходу, проте існує потреба у розробці конкретних моделей адаптації факультативних курсів до різних категорій учнів.

**Мета статті.** Обґрунтування теоретичних та методичних засад формування науково-дослідницьких компетентностей учнів у процесі факультативної роботи з біології, а також розробка практичних рекомендацій щодо організації цієї діяльності з використанням інноваційних технологій та інтерактивних методів навчання.

**Викладення основного матеріалу.** Позакласна робота з біології стає потужним інструментом розвитку науково-дослідницьких компетентностей учнів, сприяючи їхній підготовці до подальшого навчання та професійної діяльності в сучасному суспільстві. Позакласна робота є єдиною нерегламентованою часом сферою виховання, через яку проходять практично всі діти: місце її функціонування – школа, у якій держава так чи інакше регламентує мету, завдання, зміст, методику й діяльність шкільних педагогів, які мають певні правові адміністративні зобов'язання.

Позакласна робота з біології є важливим елементом освітнього процесу, що доповнює уроки, поглиблює знання учнів і сприяє розвитку їхньої науково-дослідницької діяльності. Ефективна організація позакласної роботи передбачає врахування низки особливостей, які стосуються змісту, методів, форм проведення та матеріально-технічного забезпечення.

Основними цілями позакласної роботи є:

- формування в учнів пізнавального інтересу до вивчення біології;
- встановлення зв'язків і залежностей між окремими елементами та явищами природи; розширення уявлень дітей про єдність природи;

- розвиток самостійності, творчих здібностей;
- формування у дітей бережливого ставлення до природи;
- забезпечення застосування знань на практиці (під час спостережень і експериментів у природі, кабінеті біології, куточку живої природи, на навчально-дослідній ділянці тощо) [3].

Під час проведення позакласної роботи у дітей виховується повага до праці, в тому числі й до фізичної. В учнів, що беруть участь у позакласній роботі, виховується почуття відповідальності за доручену справу, дисциплінованість, діти привчаються виконувати роботу своєчасно. У позакласній роботі відкриваються широкі можливості для виявлення ініціативи, творчості, в учнів розвивається любов до рідної природи. Позакласна робота пов'язана з перебуванням на свіжому повітрі, зміцнює дітей фізично, загартовує їх організм, включає в себе ряд заходів з охорони природи.

Найголовнішою умовою організації позакласної роботи є керівна роль учителя. Завдання вчителя полягає в тому, щоб формувати в дітей стійкий інтерес до природи, захоплення різноманітними дослідженнями. Щоб зацікавити школярів, учитель має досконало знати природу рідного краю і бути готовим відповісти на будь-яке запитання дитини. Разом з тим він повинен багато чого вміти: спостерігати, аналізувати результати спостережень і використовувати їх у своїй навчальній роботі; проводити найпростіші польові дослідження, складати гербарій рослин, виготовляти колекції корисних копалин, гірських порід, ґрунтів, комах; проводити дослід з рослинами, тваринами, правильно планувати й обробляти пришкольну ділянку, організовувати догляд за тваринами.

На сьогоднішній день позакласна робота вважається найважливішим чинником розкриття здібностей учнів та створення цілісної системи пошуку та виховання творчо обдарованих особистостей. Вміло організована школою позакласна робота здатна не лише виховувати та вдосконалювати закладене в дітях природою, виправляти небажані соціальні відхилення в їхній поведінці та свідомості, а й створювати потребу в постійному саморозвитку та надавати можливості для самореалізації в сучасних умовах.

Організовуючи позакласну роботу у школі більшість керівників і методистів розуміють спеціальні заходи, які проводяться в позаурочний час і мають зміст, не завжди передбачений навчальною програмою, специфічні форми, методи та прийоми проведення.

Саме тому завданням позакласної роботи, за висловленням В. Сухомлинського, є:

- збагачення й розширення знань учнів, створення, інтелектуального фону, що сприяє свідомому і глибокому засвоєнню програмного матеріалу;
- поглиблення набутих на уроках знань, розвиток умінь і навичок усного й письмового мовлення;

- виховання ініціативи, самостійності, творчих здібностей учнів, їх пізнавальних інтересів; забезпечення виховної спрямованості предмета, що вивчається, формування почуття патріотизму.

Позакласна робота з біології проводиться в 3 формах:

#### 1. Індивідуальна форма передбачає:

- спостереження за ростом і розвитком окремих рослин, способами поширення плодів і насіння, птахами в куточку живої природи і вдома;
- самостійну роботу учнів у кутку живої природи, в кабінеті біології;
- позакласне читання книг про природу, які розкриватимуть перед учнями захоплюючий світ живої природи, сприятимуть вихованню бережливого ставлення та любові до рослин і тварин;
- реферування літератури, підготовку доповідей, написання творів, складання кросвордів, загадок тощо.

Завдання можуть мати практичну спрямованість, наприклад, зібрати різноманітні культурні рослини або бур'яни, приготувати гербарій.

Позакласне читання займає важливе місце у процесі вивчення біології. Залучення дітей до цього виду роботи не тільки розширює їх кругозір з навчального предмета, але й зумовлює розвиток самостійності та формування бажання і вміння працювати з книжкою. Щоб керувати цією діяльністю, учитель повинен бути добре обізнаний з дитячою науково-популярною літературою, а також пам'ятати, що ефективність позакласного читання забезпечується при дотриманні ряду вимог [1].

Організовуючи спостереження за живими об'єктами, вчитель повинен допомогти дітям намітити об'єкти, скласти конкретний план роботи, організувати систематичне керівництво та облік роботи.

#### 2. Гурткова робота – насамперед, це різноманітні гуртки.

Мета гуртка – зацікавити учнів предметом, поглибити і розширити їхні знання.

Гурткова робота спрямована на формування стійкого пізнавального інтересу до вивчення біології, наукового світогляду учнів, поглиблення та усвідомлення теоретичних знань, виробку в них навичок спостереження, проведення експерименту підготовку їх до майбутньої трудової діяльності.

У різних закладах середньої освіти функціонують різноманітні гуртки, як-то: юних натуралістів, квітників, садівників, зоологів, агрохіміків, «асистентів» кабінету біології тощо. Організовуючи гурток учитель біології повинен, насамперед, враховувати інтереси учнів, місцеві умови і досвід керівників гуртків. МОН України рекомендує Програми гуртків різного профілю на 1 або 2 роки навчання.

Основним документом у роботі гуртка є план навчально-виховної роботи, що складається керівником на I і II півріччя та на період літніх канікул відповідно до програми. План охоплює теоретичні

й практичні заняття, бесіди, підсумкові заняття, підготовку і проведення масових заходів, екскурсій. В окремому розділі планується масова і суспільно-корисна робота. Важливо планувати роботу гуртків відповідно до навчальної програми з біології для загальноосвітніх навчальних закладів, з урахуванням вікових особливостей членів гуртка [4].

**3. Масова** – охоплює учнів усього класу, декількох класів, або навіть, цілої школи і передбачає проведення різноманітних масових заходів.

До масової позакласної роботи належать різні позакласні предметні заходи: тематичні вечори, свята, тематичний перегляд науково-популярних і художніх фільмів про природу, КВК (клуб веселих та кмітливих), вікторини, виставки робіт учнів, конкурси («Осінній букет»), акції («Нагодуємо пташок узимку» чи «Посади дерево»), кампанії («День птахів»), тижні біології тощо. Також вони можуть проводитися з метою ознайомлення всіх учасників освітнього процесу з підсумками роботи учнів у гуртках, на ділянці тощо. Гуртківці доповідають про свою роботу та її результати. Доповіді супроводжуються демонстрацією результатів дослідницьких робіт учнів: малюнками, фотографіями, таблицями, колекціями тощо.

Виставки робіт учнів – це найцікавіша і дуже корисна форма фіксації робіт дітей. Виставка повинна мати чітко поставлену мету, визначену тему. Восени демонструються результати літніх робіт учнів, дослідів на ділянці та в кутку живої природи; взимку – роботи юннатів; навесні – самостійні роботи учнів за рік. До кожного експонату потрібно додати стислу анотацію, щоб кожний відвідувач міг самостійно ознайомитись з експонатом. Виставки проводяться на теми «Що доводять наші досліді?», «Догляд за рослинами», «Розвиток рослин» тощо. Доцільно виділити із числа юннатів учнів-екскурсоводів.

На виставку запрошуються батьки, учні інших шкіл. Слід організувати облік відвідувачів. Після закінчення виставки проводяться відкриті збори гуртка юннатів, на яких кращі експонати преміюють книгами, рослинами, приладами.

Із завданнями охорони природи безпосередньо пов'язані такі заходи, як озеленення школи, села, міста, проведення різних кампаній, наприклад «Дня птахів», «Тижня саду», «Місячника лісу» тощо. Велике значення мають роботи з озеленення. Вони привчають дітей бережливо ставитись не лише до своїх насаджень, а й до природних.

Відповідно до мети і завдань у педагогіці визначено функції позакласної роботи – навчальна, виховна й розвивальна. Враховуючи специфіку позакласної роботи і функції мають свої особливості.

Позакласна робота може слугувати ефективним засобом диференціації навчання і виховання за умови дотримання відповідної регламентації навчального плану і навіть компенсувати його недоліки, які іноді

важко усунути в межах навчальної діяльності через її значну насиченість обов'язковими заняттями.

Величезне значення в позакласній роботі має розвивальна функція, яка полягає у виявленні й розвитку індивідуальних здібностей, можливостей та інтересів учнів завдяки їх залученню до активної участі у відповідній діяльності. Помітивши, що дитина чимось цікавиться, педагог може ознайомити з додатковою цікавою інформацією з цього питання, запропонувати літературу, дати доручення, яке лежить в області інтересів учня, створити такі умови, в яких учень отримує схвалення дитячого колективу за свою компетентність з даного питання, отже, педагог відкриває нові можливості дитині і тим самим зміцнює його інтереси [2].

Мета, функції і завдання позакласної роботи впливають на відбір її змісту. Зміст позакласної роботи представляє собою адаптований соціальний досвід, емоційно пережиті і реалізовані в особистому досвіді дитини різноманітні аспекти людського життя: наука, мистецтво, література, техніка, взаємодія між людьми, мораль.

**Головні висновки.** Позакласна робота з біології має велике значення для формування у школярів глибоких знань з цієї дисципліни, розширення їхнього кругозору та розвитку науково-дослідницьких компетентностей. Це дозволяє учням отримати додаткові знання, які не завжди можна охопити в межах стандартних уроків. Успішність позакласної роботи залежить від ретельного планування та організації. Важливо правильно вибирати теми, адаптовані до інтересів учнів, враховувати їхні здібності та створювати сприятливу атмосферу для творчої діяльності.

Інтерактивні методи та форми роботи, такі як екскурсії, проєкти, клуби і гуртки, є ефективними інструментами, які сприяють глибшому засвоєнню матеріалу та розвитку практичних навичок. Залучення учнів до активної діяльності допомагає їм зрозуміти важливість біології в реальному житті.

Залучення до позакласної роботи фахівців з наукових та екологічних організацій, а також використання сучасного обладнання значно підвищує ефективність занять і дозволяє учням працювати з реальними науковими даними.

Загалом позакласна робота з біології є важливим компонентом загальної освітньої діяльності, який сприяє розвитку творчих, пізнавальних і дослідницьких навичок учнів, готуючи їх до участі в наукових проєктах і пошуку нових рішень для вирішення екологічних проблем.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використані для розробки та впровадження нових навчальних програм, курсів і методичних рекомендацій, спрямованих на розвиток навичок організації позакласної роботи з біології.

**Література**

1. Богданова О.К. Сучасні форми і методи викладання біології в школі. Харків: Основа, 2003. 80 с.
2. Вивчаємо рідний край. Програми гуртків юних екологів і дослідників природи для позашкільних установ і загальноосвітніх шкіл. Мелітополь: Запоріжжя, 1999.
3. Кизенко В.І. Особливості застосування методів навчання на факультативних заняттях. *Біологія і хімія в школі*. 2002. № 5. С. 6–13.
4. Ярошенко О.Г. Групова навчальна діяльність школярів: Теорія і методика. Київ: Партнер, 1997. 193 с.

## ЕКОЛОГІЧНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ УЧНІВ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ КУЛЬТУРИ

Павлишак Я.Я., Коссак Г.М., Бриндзя І.В.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

вул. Стрийська, 3, 82100, м. Дрогобич

pavlyshak2210@ukr.net, gr\_kossak@ukr.net, i.bryndzia@dspu.ua

Формування високого рівня екологічної культури залежить від ефективної екологічної освіти, яка на порозі третього тисячоліття стала необхідною складовою гармонійного, збалансованого, сталого розвитку. Відповідно до стратегії розвитку екологічної освіти, одним з найважливіших пріоритетних напрямків є комплексний підхід до екологічного виховання, що сприятиме бережному ставленню до навколишнього середовища і як результат – підвищить загальнодержавний рівень екологічної культури. Вимоги суспільства до освіти зумовлюють потребу підготовки екологічно грамотного випускника школи, відповідального за стан природного середовища. Сучасна парадигма освіти ставить в основу освітньої діяльності розвиток життєво важливих компетенцій, зокрема і екологічної компетентності особистості та суспільства.

Екологічна компетентність виявляється в систематичному прийнятті рішень щодо врахування екологічних наслідків власної діяльності, що чинить певний вплив на довкілля. Основою екологічної компетентності є екологічні знання, досвід практичної діяльності в довкіллі.

У статті проаналізовано особливості системного формування екологічної компетентності в урочній та позакласній роботі, як ефективного засобу набуття учнями екологічної свідомості. Розкрито систему педагогічних впливів, що включають формування естетичних поглядів і переконань, почуття емпатії у ставленні до природи, гармонійне поєднання теоретичне навчання з практичною пізнавальною діяльністю. Виокремлено системність впровадження елементів екологічної діяльності учнів з біології у позакласній роботі. Експериментальна перевірка проведеного дослідження показала ефективність запропонованих шляхів цілісного поєднання форм навчання з системним застосуванням виховних впливів та екологічної діяльності учнів.

*Ключові слова:* екологічна компетентність, екологічна свідомість, сталий розвиток, освітній процес.

**Environmental competence of secondary school students as a means of forming an environmental culture. Pavlyshak Ya., Kossak G., Bryndzia I.**

The formation of a high level of environmental culture depends on effective environmental education, which on the threshold of the third millennium has become a necessary component of harmonious, balanced, sustainable development. According to the strategy for the development of environmental education, one of the most important priority directions is a comprehensive approach to environmental education, which will promote a careful attitude to the environment and as a result, raise the national level of environmental culture. Society's demands for education determine the need to prepare an environmentally literate school graduate who is responsible for the state of the natural environment. The modern paradigm of education places the development of vital competences, in particular, the ecological competence of the individual and society, as the basis of activity.

Environmental competence is manifested in systematic decision-making regarding the environmental consequences of one's own activities, which have a certain impact on the environment. The basis of ecological competence is ecological knowledge, experience of practical activities in the environment.

The article analyzed the features of system forcing of environmental competence in classroom and extracurricular work, as an effective means of students acquiring environmental awareness. The system of pedagogical influences, including the formation of aesthetic views and beliefs, a sense of empathy in relation to nature, a harmonious combination of theoretical learning with practical cognitive activity is revealed. Systematic implementation of elements of environmental activities of biology students in extracurricular work is singled out. The experimental verification of the conducted research showed the effectiveness of the proposed ways of holistic combination of forms of education with the systematic application of educational influences and environmental activities of students.

*Key words:* environmental competence, ecological consciousness, sustainable development, educational process.

**Постановка проблеми.** Сьогодні, у такий складний для українського народу час, формування свідомого ставлення до об'єктивної реальності є основним пріоритетом діяльності освітніх закладів. Молода людина має набувати громадянської свідомості, особистісного досвіду, реалізувати себе у суспільному житті, самостверджуватися у соціумі.

Слід зазначити, що відповідно до стратегії розвитку екологічної освіти, одним з найважливіших пріоритетних напрямків є комплексний підхід до екологічного виховання, що сприятиме бережному ставленню до навколишнього середовища і як

результат – підвищить загальнодержавний рівень екологічної культури [13].

**Актуальність дослідження.** Однією зі складових сталого розвитку суспільства є екологічна компетентність. Важливість формування екологічної компетентності є актуальним на сьогоднішній час, у зв'язку із збройною агресією проти України. Варварське знищення, забруднення агресором екосистем та соціосистем, визначає не тільки пріоритет перемоги над ворогом, а відновлення зруйнованих об'єктів довкілля та проживання людей, інтенсивного залучення молоді до розробки й реалізації соціальних й екологічних дій.

Дані ідеї у повному обсязі окреслені у Концепції нової української школи, а саме: уміння розумно, бережливо та виважено користуватися природними багатствами в рамках сталого розвитку, усвідомлювати роль навколишнього середовища для життя і здоров'я людини [10] та реалізуються на основі прийнятого Міністерством освіти і науки України Закону України «Про повну загальну середню освіту», де у статті 15 зазначено: спрямованість на формування екологічної культури і дбайливого ставлення до довкілля [3] та включено у Державний стандарт базової середньої освіти як одна із ключових компетентностей, а саме: екологічна компетентність, що передбачає усвідомлення екологічних основ природокористування, дотримання раціонального використання природних ресурсів, розуміння важливості збереження природи для забезпечення сталого розвитку суспільства [1].

Системне впровадження екологічної освіти через екологічне виховання, сприятиме системному та цілеспрямованому формуванню екологічної культури учнів. Екологічна освіта, як неперервний, цілісний процес навчання, є направлений на розвиток особистості, формування якісної системи наукових та практичних екологічних знань і вмінь, ціннісних орієнтацій, самостійної пізнавальної екологічної діяльності, що забезпечить усвідомлене ставлення до навколишнього природного середовища та визначить один із пріоритетних напрямів організації освітнього процесу у закладах загальної середньої освіти.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці практичних методів й форм активізації екологічної цілеспрямованої діяльності учнів у процесі урочної та позаурочної роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження щодо формування екологічної компетентності здобувачів загальної середньої освіти відображені в у працях О. Колонькової [4], Г. Жирської [2], Н. Пустовіт [11], С. Лебідь [7], С. Толочко [14], О. Прокопенко [12] та ін. У цих дослідженнях розглядаються компоненти екологічної культури, технології та методи формування екологічної компетентності для сталого розвитку, поняття екологічної освіти тощо.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Мета дослідження – проаналізувати, розглянути й розробити шляхи цілеспрямованого впливу на формування екологічної компетентності в учнів при організації освітнього процесу з біології як ефективного інструментарію для набуття екологічної свідомості.

**Новизна.** Аналіз науково-методичної літератури з формування екологічної компетентності учнів та розробка шляхів активізації екологічного мислення.

**Виклад основного матеріалу.** Організація освітнього процесу з біології та свідоме формування еко-

логічної компетентності має включати ряд напрямів, а саме: бачення прекрасного та неповторного у живій природі, тобто, естетичних поглядів; не байдужість, співпереживання, виваженість у відношенні до довкілля, тобто, емпатії; усвідомлення збереження природи, тобто, етичних норм і правил, а також екологічних знань та умінь у безпосередній пізнавальній екологічній діяльності, що у кінцевому визначить рівень сформованої екологічної культури особистості.

В основі нашого дослідження ми виокремили основну мету проведення експерименту, а саме, у системному проведенні екологічного виховання для набуття цілісних екологічних компетентностей, що стануть основою формування екологічної свідомості учнів. Експериментальна перевірка результатів впровадження системи методів й заходів для формування екологічної компетентності внаслідок поєднання екологічних впливів на уроках біології та в позакласній роботі, шляхом активізації безпосередньої пізнавальної екологічної діяльності учнів. Даний підхід дозволить підвищити інтерес до проблем довкілля, розвинути почуття емпатії до живих організмів, що оточують нас та визначить можливість подальшої природоохоронної діяльності в напрямі сталого розвитку природи і суспільства. Важливість окреслених завдань реалізувалися у результаті проведення освітньої діяльності у сьомих класах.

У процесі проведення експерименту, основні акценти були спрямовані на цілісну систему екологічних впливів та поєднання їх із практичною екологічною діяльністю. Характерною відмінністю в проведенні експерименту у експериментальному класі була спрямованість на стимуляцію естетичних поглядів та почуття емпатії до живої природи й активну пізнавальну діяльність особливо у позакласній роботі. У контрольному класі усі освітні заходи здійснювалися відповідно вимог освітньої програми, спрямованість була на формування дослідницьких умінь без системних естетичних впливів, формування почуттів емпатії з поєднанням екологічною діяльністю. Аналіз динаміки якісних змін за результатами дослідження проводилися як на початку так і по завершенні проведеного дослідження.

Для ефективної реалізації мети та цілісного впровадження окреслених завдань були проведені попередні зрізи оцінки знань з проблематики дослідження та анкетування, яке визначило рівень сформованості екологічної свідомості в учнів. Для цього були виокремлені наступні параметри, що сприяли аналізу отриманих результатів, а саме: розуміння краси і неповторності живої природи, тобто естетичні екологічні погляди (параметр А); співпереживання за знищення флори і фауни, порушення гармонії довкілля, тобто почуття емпатії (параметр В); формування практичних умінь і навиків безпосередньої особистісної дослідницької екологічної діяльності у напрямі збереження та покращення екологічного стану довкілля (параметр С).



За основу проведення дослідження за визначеними параметрами було взято пізнавальну діяльність учнів на уроках біології та у позакласній роботі.

За результатами проведеного початкового аналізу рівня сформованості екологічної компетентності в учнів, їх осмисленої екологічної діяльності було встановлено, що більшість учнів вважає, що екологічні проблеми мають розв'язувати всесвітні організації та країни у яких вони виникають, що в Україні достатньо своїх проблем, зокрема, відстоювання цілісності та незалежності нашої країни, відповідно від них нічого не залежить, їхня діяльність немає ніякого значення тощо.

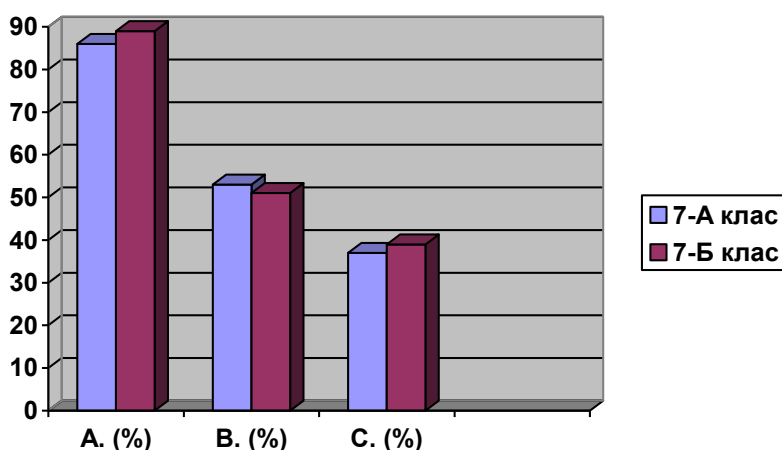
Після обробки даних проведення формуючого експерименту (діаграма 2) були визначили якісні зміни, що відбулися у поглядах та переконаннях учнів експериментального й контрольного класів:

У результаті комплексної системи впровадження методів та шляхів виховного впливу у поєднанні з пізнавальною діяльністю в урочній та позакласній

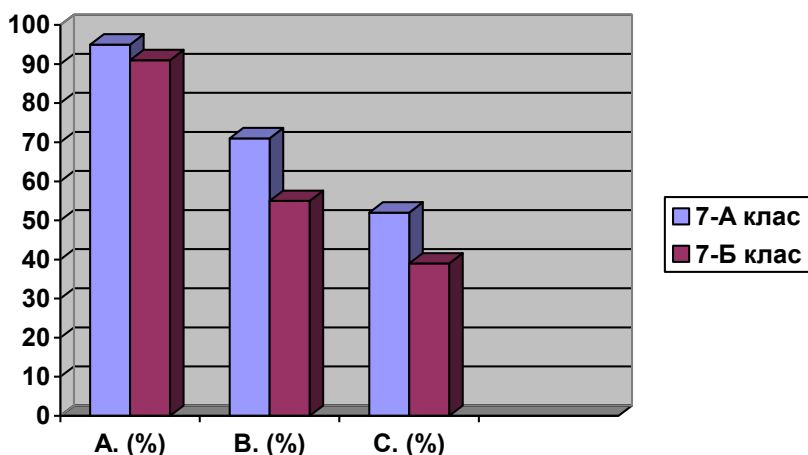
формі навчання, яка спрямовувалася на формування екологічної компетентності у поєднанні з естетичними екологічними переконаннями та почуттям емпатії були отримали наступні результати:

1) завдяки цілісній системі організації позакласної роботи зріс рівень естетичних екологічних поглядів в учнів, відповідно на 9% у експериментальному класі, завдяки походам у природу, розробкою проєктів «Люби і знай свій рідний край» тощо; у контрольному вони практично не змінилися, низький рівень пояснюється тим, що більшість не звертає увагу на красу природи, сприймає її як дійсне, зазначаючи, що є більш вагоміші пріоритети: навчання, користування гаджетами, заняття спортом тощо, що відповідно впливає і на інтерес;

2) значною мірою через безпосереднє спілкування з природою, безпосереднє бачення негативного впливу людини на довкілля та аналіз екологічних проблем у світі стимулювало почуття емпатії відповідно на 14%, тоді як у контрольному класі,



Діаграма 1. Результати констатуючого зрізу у процесі формування екологічної компетентності в учнів у 7 класах



Діаграма 2. Результати формуючого експерименту у процесі формування екологічної компетентності в учнів у 7 класах

даний матеріал сприймався як просто інформація, констатація факту, можливо цікавість, але не емпатичні почуття (покращилися всього на 2%);

3) аналіз спрямованості учнів на вирішення екологічних проблем своєї місцевості (параметр С), завдяки формуванню емпатичних почуттів, відчуття відповідальності за негативний споживацький вплив на довкілля та бажання здійснити природоохоронну діяльність, розв'язати екологічні проблеми хоча б своєму регіоні, що практично відмічалось у всіх учнів, зріс на 15%; у контрольному класі дані отримані у контрольному зрізі практично не змінилися, учні мотивували власну бездіяльність значним навчальним навантаженням, відсутністю вільного часу, відсутністю організованих екологічних заходів, де б вони можливо прийняли участь, заперечуючи себе як організатора цих заходів, зазначаючи, що від них нічого не залежить і їхня екологічна діяльність не вплине на екологічний стан у цілому.

У процесі проведення формуючого експерименту, що проводився під час урочної та позакласної роботи для формування цілісних екологічних поглядів і переконань, дозволив нам виокремити характерні риси, що сформувалися в учнів, які вплинули та визначили їх екологічну культуру, а саме:

1) естетична спрямованість екологічного виховання дозволила цілеспрямовано вплинути на учнів,

споглядання природи з іншої позиції, не споживацької, а естетичної, виявити інтерес до біології в цілому й побачити красу та неповторність оточуючого нас природного середовища;

2) учні даного віку найбільш спрямовані на усвідомлення краси природи і шкоди якої завдає людина їй, формує співпереживання, емпатію, бажання включитися у заходи по відновленню краси природи;

3) поєднання сформованих почуттів з усвідомленням значущості їхньої безпосередньої екологічної діяльності, можливості бути причетним до збереження та відновлення природи різного краю, стимулює самостійну пізнавальну діяльність;

4) цілісність сформованих якостей, визначають молоду людину як особистість, що проявляє самостійність й впевненість у власних силах, судженнях, готовності до природоохоронних дій як організатора і у співпраці з різними партнерами, вираженості власних вчинків і відповідальності за їх наслідки.

**Головні висновки.** Системний, комплексний виховний вплив на учнів у напрямі формування естетичних поглядів, інтересу, емпатії та практичних екологічних дій, поєднуючи усі форми організації освітнього процесу є дієвим засобом формування екологічної компетентності в учнів, набуття ними екологічної свідомості, що найбільш ефективно у перші роки навчання в базовій школі.

### Література

1. Державний стандарт базової середньої освіти. Постанова КМУ № 898 від 30.09.2020 року. [https://osvita.ua/legislation/Ser\\_osv/76886/](https://osvita.ua/legislation/Ser_osv/76886/) (дата звернення: 17.10.2023).
2. Жирська Г. Формування в учнів ціннісного ставлення до природи як компонента екологічної культури. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. 2014. Серія: педагогіка, (2). С. 74–81.
3. Закон України "Про повну загальну середню освіту" (зі змінами, внесеними згідно з Законом № 3482-IX від 21.11.2023). <https://osvita.ua/legislation/law/2232/> (дата звернення: 24.10.2023).
4. Колонькова О.О. Формування екологічної компетентності старшокласників засобами дистанційної освіти. *Теоретико-методичні проблеми виховання дітей та учнівської молоді*: зб. наук. праць. Кам'янець-Подільський, 2007. Вип. 10. Т.1. С. 379–387.
5. Концепція екологічної освіти України *Інформаційний збірник Міністерства освіти і науки України*. 2002. № 7.
6. Качур І. В. Проблеми формування екологічної культури в освітньому середовищі. *Наука. Релігія. Суспільство*, 2011. № 2. С. 209–213.
7. Лебідь С. Г. Екологічна складова змісту освіти для сталого розвитку. *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу Києво-Могилянська академія*. 2009. Сер.: Педагогіка, (112). Вип. 99. С. 25–29.
8. Лук'янова Л. Б., Гуренко О.В. Екологічна компетентність майбутніх фахівців: навч. – метод. посібник. Київ- Ніжин: ПП Лисенко, 2008. 243 с.
9. Лук'янова Л.Б. Екологічна освіта у навчальних закладах: теоретичний і практичний аспекти. К.: Міленіум, 2006. 252 с.
10. Нова українська школа. Концептуальні засади реформування середньої освіти. Міністерство освіти і науки України від 17.08.2016 р. <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20srednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf> (дата звернення: 07.11.2023).
11. Пустовіт Н. А., Пруцакова О.Л., Руденко Л. Д., Колонькова О. О. Формування екологічної компетентності школярів: навч.-метод. посібник. Київ: Педагогічна думка. 2008. 64 с.
12. Прокопенко О., Демидова Т. Екологічне виховання у процесі вивчення біології. *Рідна школа*. 2005. № 3. С. 72–75.
13. Про утворення Міжвідомчої робочої групи з удосконалення системи екологічної освіти в Україні. Наказ Міндовкілля. № 424 від 20.06.2023. <https://mepr.gov.ua/mindovkillya-ta-mon-domovylysy-rozvyvaty-systemy-ekoosvity-v-ukrayini/> (дата звернення: 15.12.2023).
14. Толочко С., Бордюг Н. Методологічні засади формування екологічної компетентності школярів. *Теоретико-методичні проблеми виховання дітей та учнівської молоді*, 2022. 26(2). С. 140–152.
15. Цурман Г. А., Тарасенко, Г. С. Формування екологічної культури особистості в освітньому середовищі. *Еколого-збалансований розвиток суспільства: стан, проблеми, перспективи*. Вінниця: КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти». 2022. (4). С. 125–131.

UDC 502.4:004.9

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.5>

## CONSTRUCTION OF A DIGITAL RELIEF MODEL OF THE DENDROLOGY PARK USING GIS TECHNOLOGIES

Buzina I.M.<sup>1</sup>, Khainus D.D.<sup>1</sup>, Sopova N.V.<sup>1</sup>, Sopov D.S.<sup>2,3</sup>, Cherednychenko I.V.<sup>2</sup>, Havriushenko H.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Biotechnological University  
Alchevskikh str., 44, 61002, Kharkiv

<sup>2</sup>Luhansk Taras Shevchenko National University  
Ivana Banka str., 3, 36003, Poltava

<sup>3</sup>Odesa State Agrarian University  
Kanatnaya str., 99, 65039, Odessa

nezabudka120187@gmail.com, dmitry.khainus@gmail.com, lnau.sopova@gmail.com,  
lnu.sopov@gmail.com, soil911@ukr.net, super\_superanna@ukr.net, lnu.sopov@gmail.com

Geoinformation modeling, including the creation of digital terrain models, is one of the most effective research methods in both environmental and earth sciences. This approach makes it possible to study in detail the natural processes and phenomena occurring in a certain area with high accuracy and detail. Modeling of the nature reserve fund of the State Biotechnological University's arboretum using geographic information systems (GIS) is becoming an indispensable and effective tool for the conservation and rational use of natural resources. It helps to develop optimal territory management strategies and make informed decisions that take into account the environmental, aesthetic, and recreational aspects of the area.

The creation of a digital terrain model of the dendrological park is aimed at identifying and analyzing the main components of the natural environment, assessing their condition and dynamics, taking into account the impact of anthropogenic activities. This approach allows not only to understand the current state of the ecosystem, but also to predict its development in the future. The use of GIS provides the ability to process and analyze a large amount of geospatial data in a complex, which makes it possible to obtain comprehensive and objective information for making decisions on territory management. This, in turn, allows for effective planning of environmental protection measures, preservation of biodiversity and maintenance of ecosystems' sustainability.

Geoinformation technologies open up new prospects for environmental monitoring and research. They allow not only to record the current state of natural systems but also to predict their possible changes under the influence of various factors, including climate change. The use of such methods contributes to the preservation of natural heritage for future generations and ensures the sustainability of ecosystems in response to modern environmental challenges. Thus, geographic information modeling is becoming an important tool for ensuring sustainable development and preserving the natural resources of our planet. *Key words:* dendrological park, GIS technologies, geoinformation modeling, «Surfer» software, digital relief model, 3D model.

**Побудова цифрової моделі рельєфу дендрологічного парку з використанням GIS-технологій. Бузіна І.М., Хайнус Д.Д., Сопова Н.В., Сопов Д.С., Чередниченко І.В., Гавришченко Г.В.**

Геоінформаційне моделювання, зокрема створення цифрових моделей місцевості, є одним із найефективніших методів дослідження як у галузі екології, так і в науках про Землю. Цей підхід надає можливість детально вивчати природні процеси та явища, що відбуваються на певній території, з високою точністю та деталізацією. Моделювання природно-заповідного фонду дендропарку Державного біотехнологічного університету з використанням геоінформаційних систем (ГІС) стає незамінним та ефективним інструментом для збереження та раціонального використання природних ресурсів. Воно сприяє розробці оптимальних стратегій управління територією та прийняттю обґрунтованих рішень, що враховують екологічні, естетичні та рекреаційні аспекти даної місцевості.

Створення цифрової моделі рельєфу дендрологічного парку має на меті виявлення та аналіз основних компонентів природного середовища, оцінку їхнього стану та динаміки з урахуванням впливу антропогенної діяльності. Такий підхід дозволяє не лише зрозуміти поточний стан екосистеми, але й прогнозувати її розвиток у майбутньому. Використання ГІС забезпечує можливість обробки та аналізу великої кількості геопросторових даних у комплексі, що надає можливість отримати всебічну та об'єктивну інформацію для прийняття рішень з управління територією. Це, у свою чергу, дозволяє ефективно планувати заходи з охорони природи, зберігати біорізноманіття та підтримувати стійкість екосистем.

Геоінформаційні технології відкривають нові перспективи для екологічного моніторингу та наукових досліджень. Вони дозволяють не тільки фіксувати поточний стан природних систем, але й передбачати їхні можливі зміни під впливом різних чинників, включаючи зміну клімату. Застосування таких методів сприяє збереженню природної спадщини для майбутніх поколінь, а також забезпечує стійкість екосистем у відповідь на сучасні екологічні виклики. Таким чином, геоінформаційне моделювання стає важливим інструментом для забезпечення сталого розвитку та збереження природних багатств нашої планети. *Ключові слова:* дендрологічний парк, ГІС-технології, геоінформаційне моделювання, програмне забезпечення «Surfer», цифрова модель рельєфу, 3D модель.

**Analysis of research and publications.** Considering the growing relevance of the topic we have raised, this issue attracts the attention of numerous scientists. Researchers specializing in geographic information systems (GIS), environmental modeling, and natural resource management are actively developing new approaches and techniques to effectively use these technologies in creating highly accurate digital terrain models. These models are important not only for the monitoring and conservation of natural ecosystems, but also for the planning and management of areas such as dendrological parks.

Among the Ukrainian and foreign scientists who made a significant contribution to the research of this topic, the following authors should be noted: *Viktor Voytenko* – a well-known specialist in the field of geoinformation systems and remote sensing. He is engaged in the development of new spatial data processing methods, as well as the integration of GIS in various fields of science and industry; *Olena Kiselyova* – specializes in the use of GIS in urban planning and spatial planning. She researches issues of urban planning and develops tools for analyzing and visualizing data about urban areas; *Serhiy Stogniy* is an expert in the field of geoinformation mapping and landscape analysis. His research focuses on the use of GIS for environmental change monitoring and natural resource management; *Yuriy Panasyuk* – specializes in the application of GIS in agriculture and land resources. He actively works on the development of technologies for monitoring agricultural land and optimizing the use of land resources; *Lyudmila Kucher* – develops geoinformation systems for environmental monitoring and assessment of the state of the environment. She actively implements GIS in ecosystem and natural resource management research; *Michael F. Goodchild* is one of the founders in the field of geographic information systems.

His research focuses on theoretical and practical aspects of GIS, including terrain modeling and spatial analysis. He made a great contribution to the development of the concept of "spatial thinking" and the application of GIS in various fields of science; *Dan Wright* is known for his research in environmental modeling and landscape analysis using GIS. He is actively involved in the development of digital relief models (Digital Elevation Models, DEM) and their application in watershed studies and water resources management; *Steven Schenkman* – specializes in integrating ecological models with GIS for natural resource management. His work covers the development of methodologies for assessing landscape changes and forecasting ecosystem services critical to sustainable resource management; *Susan Schmidt* is an expert in environmental modeling and the use of GIS for ecosystem and biodiversity analysis. She develops models that help understand the impact of climate change on natural ecosystems and the possibilities of their preservation; *Paul Zipser* – specializes in the development of algorithms for creating high-precision digital terrain models based on remote sensing data. His research is aimed at improving GIS technologies for more accurate forecasting and management of natural resources.

Their scientific works significantly contribute to the development and implementation of GIS technologies in the practice of natural resource management and biodiversity conservation.

**Methods and theory.** The digital relief model of the dendrological park of the State Biotechnological University (Figure 1) was built with the help of the «Golden Software-Surfer» product [1].

When constructing «Surfer» surfaces, the following principles are ensured (Figure 2).

With the help of various options for overlaying maps, their different placement on one page, you can get the



Fig. 1. Dendrological park of the State Biotechnological University

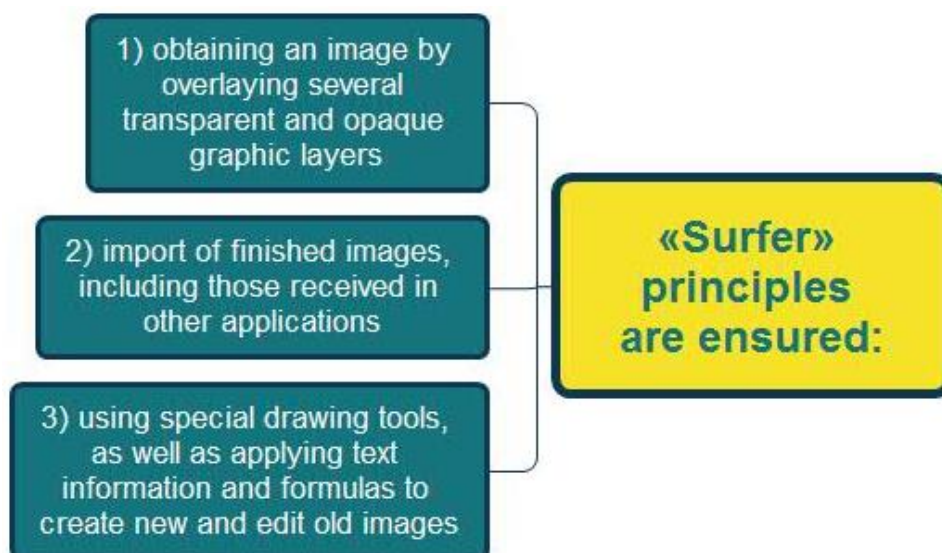


Fig. 2. «Surfer» principles

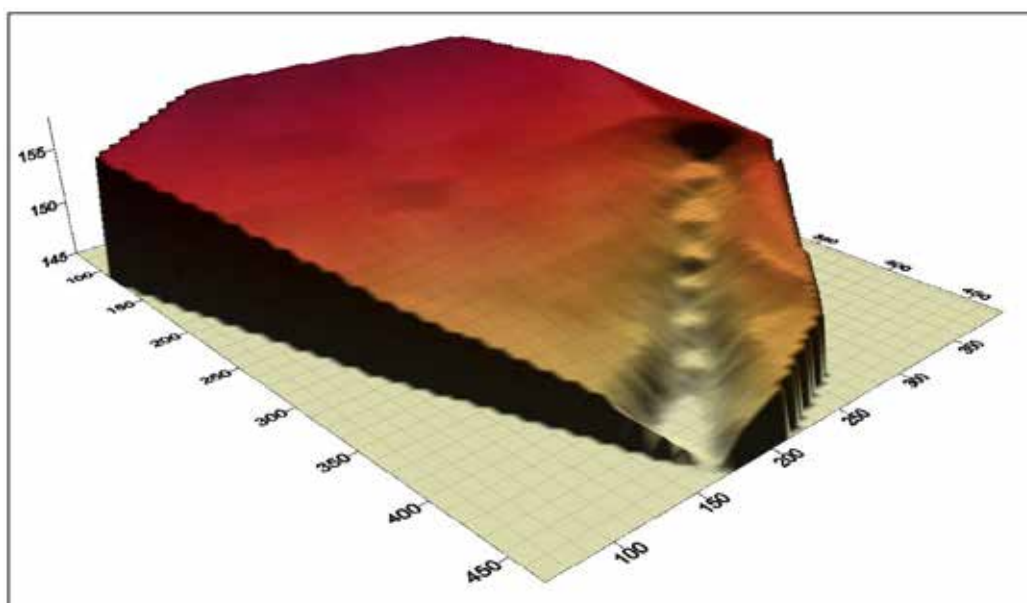


Fig. 3. Digital 3D relief model of a fragment of the territory of the Arboretum of the State Biotechnological University

most diverse options for presenting complex objects and processes. In particular, it is very easy to get various variants of complex maps with a combined image of the distribution of several parameters at once. The user can edit all types of maps using the built-in drawing tools of «Surfer» itself.

**Results.** To study the territory of the arboretum and the manifestations of the processes that take place there, it is necessary to have the widest detail of the topography of the surveyed territory. Figure 3 shows a digital model of the relief (a 3D model of a part of the arboretum was made using the «Surfer» program).

The presented mathematical 3D model can display information about the relief of the nature-reserved terri-

tory of the arboretum, the processes that occur at the time of research, and in some cases, predictions of behavior, certain phenomena [2].

The information obtained from this model can be used during the anti-erosion organization of the arboretum territory [11], the development of territory zoning projects, the organization of the territory of the nature reserve fund, for the optimal placement of the dendrological composition of plants, depending on the value of the steepness of the slopes.

The digital terrain model is intended for interactive visualization and has the effect of presence on the terrain. Similar models are used to justify measures to optimize land use in order to restore and stabilize the



ecological situation, assess the natural and recreational potential of the territory, monitor environmental components, forecast the development of transformational and degradation processes and phenomena in the environment (Figure 4).

The figure shows a part of the arboretum territory with agricultural groups. The use of the «*Surfer*» software package is a powerful tool for creating a digital model of the terrain. The program is an adapted system for creating three-dimensional maps, models, landscape visualization, grid generation and much more. The product allows you to create realistic 3D maps taking into account lighting and shadows, use terrain images in various formats, export the creation of maps in various graphic formats and print in color up to 50 meters diagonally [3].

The advantages of such modeling are various interpolation methods, means of assessing the accuracy and reliability of the built surface, clarification of the obtained results, provide an opportunity to visualize the spread of erosion and its consequences, and accordingly design a system of anti-erosion measures. Given the relevance of this problem, we see the practical application of 3D maps as promising directions for further scientific research [4].

One of the key aspects of modeling is taking into account the biodiversity of the territory. This includes the analysis of the location and distribution of the species composition of flora and fauna, the study of their interrelationships and ecological needs. GIS allows you to simulate these processes in a virtual environment, taking into account various influencing factors, such as climatic conditions, soil cover, relief, and others [11]. This approach makes it possible to ensure a scientifically based strategy for the conservation and development of the biodiversity of the arboretum [5].

In addition, the modeling of the nature reserve fund by means of GIS includes the analysis of the zoning of the territory taking into account various functional purposes [6]. This may include the allocation of zones for the protection of natural complexes, recreational zones for the relaxation of visitors, as well as zones for scientific and educational purposes. Modeling allows you to optimize the location of these zones taking into account their interaction and minimize conflicts between them [7].

The use of GIS also contributes to effective monitoring and control of the nature reserve fund [8]. This includes the systematic collection of data on changes in the ecosystem, the identification of threats and risks, as well as the evaluation of the effectiveness of measures for their prevention and elimination. GIS allows you to automate this process, which allows you to increase the speed and accuracy of the analysis, and also provides the possibility of prompt response to changes in the natural environment [9].

For conducting research on the territory of the dendrological park, samples were taken (Figure 5) from the upper fertile layer of the soil and the content of mobile forms of heavy metals (iron, manganese, zinc, copper, nickel, lead, chromium and cadmium) was determined by the method of atomic absorption spectrometry.

The obtained results showed the following results, the accumulation of elements occurs in the zones of lowering the relief of the area due to the flow of surface and ground water. The most dangerous of them are lead, cadmium, chromium, nickel, the concentrations of which exceed the maximum permissible concentration by 3-4 times, or are on the verge of exceeding it (Table 1).

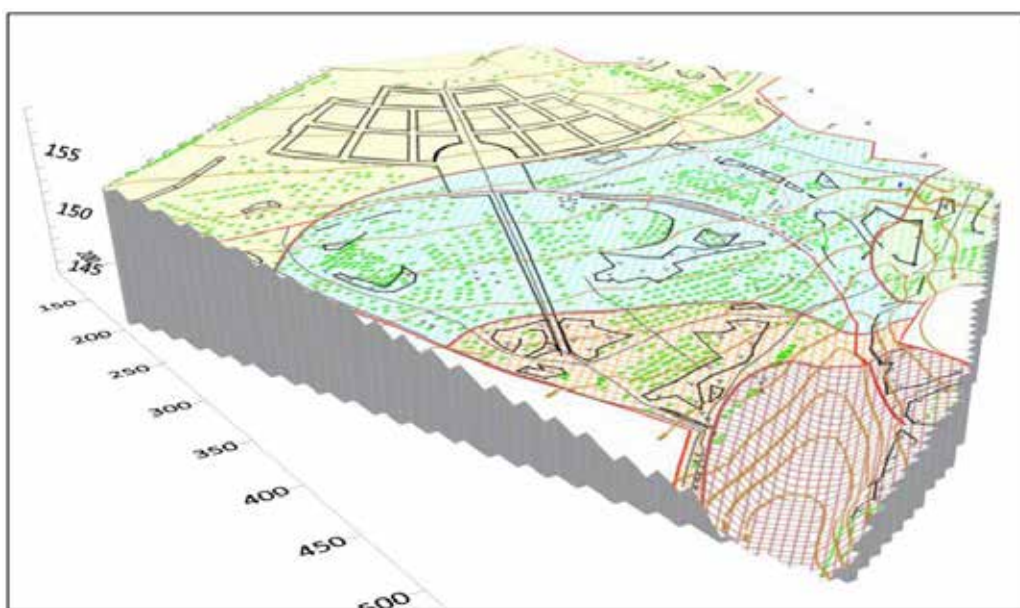


Fig. 4. Digital model of the location of objects on the territory of the arboretum

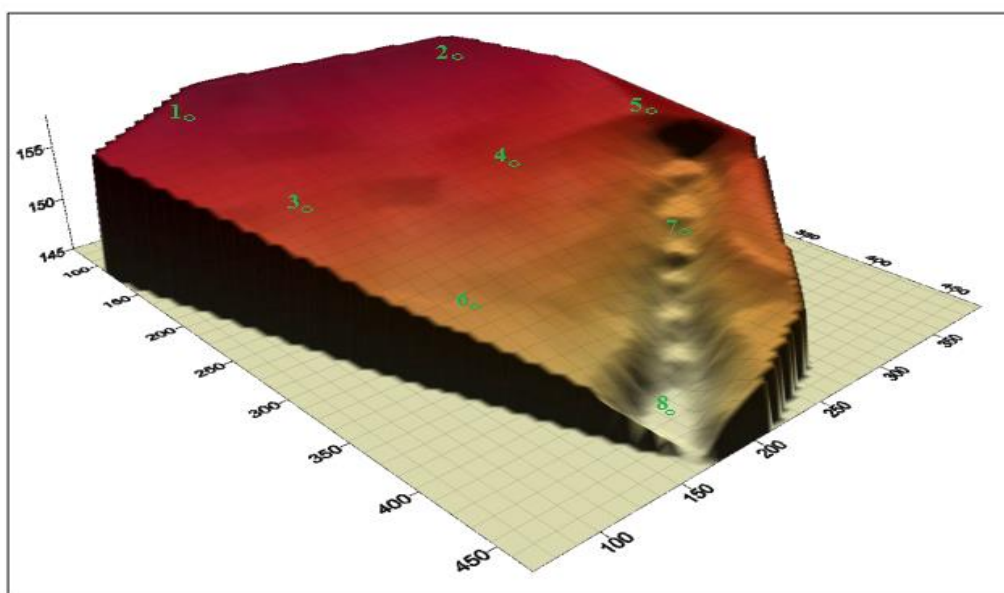


Fig. 5. Digital relief model of the arboretum territory (1, 2... – place and number of soil sample selection)

Table 1

**Concentrations of heavy metals in the studied soils**

| Elements  | Concentration (average value), mg/kg |       |        |        |        |       |        |        |       |
|-----------|--------------------------------------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| №         | 1                                    | 2     | 3      | 4      | 5      | 6     | 7      | 8      | ГДК   |
| Iron      | 3,37                                 | 3,54  | 78,23  | 85,43  | 29,45  | 50,92 | 289,08 | 227,17 | -     |
| Manganese | 40,62                                | 16,43 | 228,97 | 147,85 | 103,94 | 52,57 | 185,15 | 215,45 | 50,00 |
| Zinc      | 1,81                                 | 2,48  | 12,12  | 21,81  | 17,75  | 12,14 | 15,98  | 9,65   | 23,00 |
| Cuprum    | 1,16                                 | 0,86  | 1,15   | 1,16   | 1,28   | 1,17  | 1,67   | 2,23   | 3,00  |
| Nickel    | 2,45                                 | 3,49  | 2,85   | 2,73   | 4,24   | 3,96  | 3,78   | 4,74   | 4,00  |
| Plumbum   | 2,47                                 | 3,75  | 4,53   | 4,89   | 3,59   | 3,18  | 6,52   | 7,12   | 2,00  |
| Chromium  | 1,83                                 | 3,72  | 2,41   | 5,16   | 5,67   | 5,24  | 6,92   | 6,23   | 6,00  |
| Cadmium   | 0,17                                 | 0,19  | 0,52   | 0,63   | 0,63   | 0,42  | 0,57   | 0,73   | 0,70  |

The highest concentrations of heavy metals were found in places of lower terrain, near the highway that borders the park, and in areas with a steep slope. Studies of the influence of the position of the site on various relief elements and exposures on the properties of soils are limited to date [10].

The statistical processing of the obtained results was aimed at revealing the relationship between the content of heavy metals and a number of indicators that could affect their accumulation: distance to the highway, depth of the sample, steepness of the slope and the average height of the sampling point.

**Conclusions.** Thus, GIS modeling of the nature reserve fund of the arboretum is a key tool for ensuring sustainable management and preservation of biodiversity. It makes it possible to analyze the complex relationships between different components of the ecosystem, taking into account various influencing factors, and to develop effective strategies for the management and development of the territory with the minimization of the negative impact on the natural environment.

Given the constant changes in the ecosystem and the growing anthropogenic pressure, modeling becomes an important tool for adapting management strategies and responding to new challenges.

The key advantages of using GIS are its flexibility and scalability. GIS can process large amounts of data from a variety of sources, including satellite imagery, map data, aerial photography, and spatial observations. This allows you to take into account various aspects of the natural environment and carry out a comprehensive analysis of the relationships between them. In addition, GIS allows for high accuracy and reliability of modeling results through the use of geospatial analytical methods and tools. The application of digital research methods has great potential for improving the management and conservation of natural resources.

## References

1. Сайт «Golden Software» URL: <https://www.goldensoftware.com/products/surfer/> (дата звернення: 06.06.2024).
2. Максименко Н. В., Пересадько В. А., Сінна О. І., Клещ А. А., Баскакова Л. В. ІТ-технологія встановлення меж заповідних територій в умовах земельної реформи в Україні. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. Випуск 36. С. 111–122. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-09> (дата звернення: 05.07.2024).
3. Dmytro Khainus, Tetiana Anopriienko, Dmytro Sopov, Alona Iukhno, Mykola Savchenko. Perspectives of three-dimensional modeling of geodetic surveys in the assessment of real estate. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace–2022»*, 3–5 October 2022, Lviv, Ukraine. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590047> (дата звернення: 22.08.2024).
4. Черваньов І. Г. Дослідження рельєфу представниками Харківської геоморфологічної школи. *Український географічний журнал*. 2012. № 4. С. 3–7. URL: [https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-4-03\\_0.pdf](https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-4-03_0.pdf) (дата звернення: 15.07.2024).
5. Голубцов О. Г., Чехній В. М., Фаріон Ю. М. Геоінформаційне картографування та аналіз сучасних ландшафтів для цілей заповідання (на прикладі степової зони України). *Український географічний журнал*. 2018. № 2(102). С. 61–71. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.061> (дата звернення: 10.09.2024).
6. Dmytro Sopov, Iryna Kurychova, Valeriia Usenko, Daryna Lobok, Nadiia Sopova. Analysis of the natural recreation resources of the national nature park «Male Polysya» using GIS technologies. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace–2023»*, 2–4 October 2023, Lviv, Ukraine. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510090> (дата звернення: 21.10.2024).
7. Serhii Mohylnyi, Dmytro Khainus, Nadiia Sopova, Dmytro Sopov, Denys Makieiev. Use of geodesic methods and GIS technologies in monitoring of poly protective forest strips. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace–2023»*, 2–4 October 2023, Lviv, Ukraine. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510074> (дата звернення: 29.10.2024).
8. Сопов Д. С., Кирпичова І. В., Мацай Н. Ю., Чередниченко І. В., Сопова Н. В., Винограденко С. О. Садовий І. І. Використання онлайн-інструментів ГІС для аналізу природних рекреаційних ресурсів. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2024. № 1(52). Т. 1. С. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.есо.1-52.1.8> (дата звернення: 11.11.2024).
9. Кошкалда І. В., Домбровська О. А., Сопов Д. С., Бутов А. М. Геоінформаційні технології у галузевих кадастрах: напрями розвитку. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2021. Том 6. № 4. С. 249–258. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2021-4-30> (дата звернення: 15.11.2024).
10. Trokhymenko G., Litvak S., Litvak O., Andreeva A., Rabich O., Chumak L., Nalysko M., Troshyn M., Komarysta B., Sopov D. Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 5. № 10 (125). 2023. P. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289289> (дата звернення: 27.11.2024).
11. Чередниченко І. В., Лозінська Т. П., Єрмаков В. В. Вплив кліматичних факторів на ерозійні процеси та формування рельєфу. *Просторовий розвиток: Науковий збірник*. 2024. № 8. С. 492–506. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.492-505> (дата звернення: 28.12.2024).



## РОЗПОДІЛ ЗАПАСІВ ГРУБОГО ДЕРЕВОНОГО ДЕТРИТУ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ДРЕВЛЯНСЬКИЙ»

Мартиненко В.В.

Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України  
вул. Метрологічна, 12, 03143, м. Київ  
[martinenko.vasil@ukr.net](mailto:martinenko.vasil@ukr.net)

Останніми роками спостерігається інтенсивне збільшення температури повітря в результаті значних обсягів вуглекислого газу в повітрі. Через різке потепління відбувається погіршення умов навколишнього середовища. Одним із показників погіршення є всихання деревостанів. Подібне явище носить дуже негативні наслідки для середовища. Адже воно зменшує об'єм депонованого вуглецю, що впливає на температуру повітря, збільшує ймовірність виникнення та поширення лісових пожеж, а також зменшує прибутковість для лісогосподарських підприємств.

Метою роботи є розподіл запасів грубого деревного детриту сосни звичайної, що утворився в місцях осередків всихання соснових деревостанів за основними лісотаксаційними показниками, такими як походження, вік, повнота, клас бонітету та типом лісорослинних умов.

В статті представлені результати розподілу запасів грубого деревного детриту сосни звичайної в лісових екосистемах природного заповідника «Древлянський», що утворився в результаті всихання зазначеної деревної породи в проміжку 2017-2024 роках. За даний період загальний запас детриту складає 414755,10 м<sup>3</sup>. Для проведення наступних досліджень по порівнянню об'ємів депонованого вуглецю грубим деревним детритом в осередках всихання та деревостанів без ознак погіршення фітосанітарного стану розподіл відбувався за класами віку, повнотою, бонітетом, а також типами лісорослинних умов та походженням деревостану. Найбільшими запасами по віку мають деревостани IX класу віку, в осередках всихання яких знаходиться 119606,90 м<sup>3</sup> або 28,84%, високоповнотні (0,8-1,0) – 162254,78 м<sup>3</sup> або 62,70%, високопродуктивні (з класом бонітету I-II) – 359072,88 м<sup>3</sup> або 86,57%, свіжих борових (А-2С) та дубово-соснових суборових (В2-дС) умовах – 337424,33 м<sup>3</sup> або 81,36%. За походженням деревостанів запас грубого деревного детриту розподілився наступним чином: штучного походження 187917,35 м<sup>3</sup> або 45,31%, а в природного походження 226837,80 м<sup>3</sup> або 54,69%. Наступним етапом роботи буде порівняння об'ємів депонованого вуглецю деревостанами без ознак погіршення фітосанітарного стану та грубим деревним детритом, що утворився в осередках всихання за досліджуваний період. *Ключові слова:* мортмаса, деревний детрит, лісові екосистеми, біорізноманіття, запас.

### **Distribution of coarse wood detrit of Scottish pine in forest ecosystems of the Drevlyansky Nature Reserve. Martynenko V.**

In recent years, there has been an intensive increase in air temperature as a result of significant amounts of carbon dioxide in the air. Due to sharp warming, environmental conditions are deteriorating. One of the indicators of deterioration is the drying of forest stands. Such a phenomenon has very negative consequences for the environment. After all, it reduces the volume of deposited carbon, which affects air temperature, increases the likelihood of the occurrence and spread of forest fires, and also reduces profitability for forestry enterprises.

The purpose of the work is to distribute the reserves of coarse wood detritus of Scots pine, formed in places of drying out of pine stands, according to the main forest assessment indicators, such as origin, age, completeness, quality class and type of forest vegetation conditions.

The article presents the results of the distribution of stocks of coarse wood detritus of Scots pine in the forest ecosystems of the Drevlyansky Nature Reserve, which was formed as a result of the drying of the specified tree species in the period 2017-2024. For this period, the total stock of detritus is 414755.10 m<sup>3</sup>. To conduct subsequent studies on the comparison of the volumes of carbon deposited by coarse wood detritus in the areas of drying and stands without signs of deterioration of the phytosanitary condition, the distribution was carried out by age classes, completeness, quality, as well as types of forest vegetation conditions and the origin of the stand. The largest reserves by age are in stands of the IX age class, in the centers of drying of which there are 119606.90 m<sup>3</sup> or 28.84%, high-quality (0.8-1.0) – 162254.78 m<sup>3</sup> or 62.70%, highly productive (with a bonity class I-II) – 359072.88 m<sup>3</sup> or 86.57%, in fresh pine (A-2C) and oak-pine sub-pine (B2-dC) conditions – 337424.33 m<sup>3</sup> or 81.36%. By the origin of the stands, the stock of coarse wood detritus was distributed as follows: of artificial origin 187917.35 m<sup>3</sup> or 45.31%, and of natural origin 226837.80 m<sup>3</sup> or 54.69%. The next stage of the work will be a comparison of the volumes of carbon deposited by stands without signs of deterioration of the phytosanitary condition and coarse wood detritus formed in the drying areas during the studied period. *Key words:* dead mass, wood detritus, forest ecosystems, biodiversity, stock.

**Постановка проблеми.** Грубий деревний детрит (ГДД) є одним із компонентів, що знаходиться в лісових екосистемах та виконує ряд важливих екологічних функцій серед яких збереження біорізноманіття, участь в кругообігу вуглецю та поживних речовин, а також збільшує родючість ґрунту.

Однак, роль деревного детриту, його територіальний розподіл, формування та процес розкладання є достатньо вивченим для листяних деревостанів [1-3], але є мало вивченим для хвойних, в тому числі соснових лісів.

**Актуальність дослідження.** В умовах змін клімату та природних дистурбансів (буревії, шкідники,

пожежі) важливо оцінити, як ці фактори впливають на накопичення мертвої деревини та її подальшу роль у стабільності лісових екосистем. Мертва деревина відіграє важливу роль у процесах поглинання та вивільнення вуглецю, що є актуальним у контексті глобальних змін клімату. Визначення її запасів і розкладу сприятиме розумінню вуглецевого балансу лісових екосистем Полісся. Розподіл і запаси визначають стан лісу та можливості його природного відновлення, який відіграє ключову роль у підтриманні біорізноманіття, кругообігу речовин і збереженні екосистемних функцій

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Стаття написана в рамках фундаментального дослідження за темою «Стратегічна еколого-економічна оцінка сукцесійно-трансформаційних процесів екосозологічно раритетних водно-болотних, торфових і лісових екосистем України за глобальних змін клімату» (ДР № 0121U108822 (2021-2025 рр.) та є частиною власної дисертаційної роботи «Трансформація лісових екосистем природного заповідника «Древлянський» [4] на отримання наукового ступеня доктор філософії (екологія).

**Мета досліджень.** Метою даних досліджень є з'ясування розподілу ГДД на ділянках з погіршеним фітосанітарним станом (осередки всихання) за основними лісотаксаційними показниками (походження, клас віку та бонітету, повнота деревостану) для встановлення об'ємів депонованого вуглецю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із сучасних основоположників вивчення процесу утворення, розподілу та структури мортмаси та грубого деревного детриту є Білоус А.М. [1-3]. Наукові дослідження пов'язані із питанням відпаду деревної рослинності листяних лісів саме в зоні Полісся. Окрім Білоуса А.М. даною тематикою також займалися та займаються Володимиренко В.М. [5], а Чорнобров О.Ю. [6], Фурдичко О.І. [7], Тимочко І.Я. [8] проводив дослідження на територіях об'єктів природно-заповідного фонду.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Зона Полісся є однією із найбільших територій місцезростання сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), що дає можливість проводити подібний розподіл по всій зоні. Однак, такий процес є мало результативним на територіях лісгосподарського підприємства, через те, що на таких територіях проводяться лісгосподарські заходи пов'язані із зменшенням кількості поваленої деревини на відміну від природоохоронних територій, де будь-яка господарська діяльність заборонена або має певні обмеження.

Деревний детрит є одним із осередків панування мікроорганізмів та місць оселищ безхребетних. Окрім цього, ГДД через значний проміжок часу розпочне процес розкладання. Даний фактор як раз і залежить від гігротопних умов, адже в чим вологі-

ших умовах знаходиться стовбур поваленого дерева, тим швидше він буде розкладатися.

На даний час однією із екологічних проблем світового значення є глобальне потепління, яке пов'язано із значними об'ємами накопиченого вуглекислого газу в навколишньому середовищі. Значні об'єми вуглецю депонуються саме деревостаном із нормальним фітосанітарним станом в порівнянні із погіршеними умовами. Подібних досліджень по депонуванню вуглецю сухостійними деревостаном наявні, а порівняння об'ємів депонованого вуглецю деревостанів із нормальним та погіршеним фітосанітарним станом відсутні.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Дослідження сприятимуть уточненню просторового розподілу та динаміки накопичення ГДД як компонент кругообігу органічних речовин та вуглецю в лісових екосистем.

Розподіл ГДД може бути використаний для моніторингу природних процесів та оцінювання впливу факторів навколишнього середовища на процес розкладання мертвої деревини.

Результати дослідження по розподілу ГДД будуть відігравати одну із ключових ролей у прийнятті управлінських рішень в галузі охорони навколишнього середовища, що впливатиме на процес збереження біорізноманіття.

Отримані дані можуть бути використані для вдосконалення математичних моделей динаміки детриту, що допоможе прогнозувати зміни вуглецевого балансу лісових екосистем у зв'язку з глобальними змінами клімату.

**Виклад основного матеріалу.** В 2017 році на території лісових екосистем природного заповідника «Древлянський» розпочався процес масового всихання соснових деревостанів. Як результат даного процесу розпочався процес накопичення поваленої деревини. За період 2017-2024 років об'єм поваленої деревини в осередках всихання соснових деревостанів за даними дистанційного зондування землі та лісотаксаційних описів складає 284518,17 м<sup>3</sup>.

Розподіл запасів ГДД сосни звичайної за походженням деревостану представлений в табл. 1.

Таблиця 1  
Розподіл запасів ГДД сосни звичайної  
за походженням деревостану

| Походження | Запас, м <sup>3</sup> |                               |
|------------|-----------------------|-------------------------------|
|            | Загальний             | На 1 га сухостійної території |
| Штучне     | 187917,30             | 101,72                        |
| Природне   | 226837,80             | 78,94                         |

Згідно з аналізом, запас ГДД у природних соснових лісах значно перевищує відповідні показники в штучних насадженнях. Загальний запас у природних лісах становить 226837,80 м<sup>3</sup>, тоді як у штуч-

них – 187917,30 м³. Проте середній запас ГДД на 1 га сухостійної території є вищим у природних лісах (101,72 м³), ніж у природних (78,94 м³). подібна різниця в об'ємах деревини пояснюється тим, що середній запас на 1 га в штучних деревостанах є більшим в середньому на 5%.

Розподіл запасів ГДД за класами бонітету деревостану представлено в табл. 2.

Таблиця 2

**Розподіл запасів грубого деревного детриту сосни звичайної за класами бонітету деревостану**

| Бонітет | Запас, м³ |                               |
|---------|-----------|-------------------------------|
|         | Загальний | На 1 га сухостійної території |
| Iб      | 525,05    | 22,63                         |
| Ia      | 9376,11   | 73,28                         |
| I       | 184090,77 | 96,82                         |
| II      | 174982,11 | 105,67                        |
| III     | 44285,35  | 58,19                         |
| IV      | 1330,05   | 30,93                         |
| V       | 165,71    | 55,23                         |

Запаси ГДД значною мірою залежать від бонітету деревостану. Найбільші обсяги спостерігаються в насадженнях I (184090,77 м³) та II класу бонітету (174982,11 м³) в яких зосереджено 44,39 та 42,19% запасів сухостійних дерев, що може бути зумовлено

високою продуктивністю цих лісів і, відповідно, значною кількістю деревної біомаси (105,67 та 96,92 м³\*га<sup>-1</sup> відповідно), а також значними площами таксаційних виділів [9] з даними класами. Водночас у лісах низької продуктивності (V клас бонітету) запас ГДД суттєво менший (165,71 м³ або 0,04%), що вказує на обмежене накопичення мертвої деревини та одиничними випадками всихання соснових деревостанів в низьких за класами бонітету.

Запаси ГДД також значно варіюють залежно від умов зростання деревостану, що представлено в табл. 3.

Найбільший запас зафіксовано у свіжих борах (A2-с) – 170491,64 м³ (41,11%) і свіжих дубово-соснових борах (B2-дС) – 166932,69 м³ (40,25%), що пояснюється значними площами розташування даних типологічних умов [10], сприятливими умовами для росту дерев та їх подальшого природного відмирання.

Найменші запаси ГДД представлено в сірих та мокрих чорновільхових сугрудах (С4-Влч та С5-Влч), де загальний запас не перевищує 254,76 та 30,16 м³ або 0,06 та 0,01% відповідно, через те, що в зазначених умовах сосна зростає як супутня деревна порода з часткою участі в деревостані 1-3 одиниці, а процес всихання відбувається з меншою інтенсивністю через достатню кількість вологи.

Із підвищення повноти деревостану зростанням запасів ГДД (табл. 4). Так, у деревостанах із повною 0,4 запасом ГДД стало лише 533,54 м³ (0,21%), тоді

Таблиця 3

**Розподіл запасів грубого деревного детриту сосни звичайної за типами лісорослинних умов деревостану**

| Тип лісорослинних умов |                                          | Запас, м³ |                               |
|------------------------|------------------------------------------|-----------|-------------------------------|
|                        |                                          | Загальний | На 1 га сухостійної території |
| A1-с                   | Сухий бір                                | 12490,89  | 98,35                         |
| A2-с                   | Свіжий бір                               | 170491,64 | 112,17                        |
| A3-с                   | Вологий бір                              | 705,16    | 88,14                         |
| A4-с                   | Сирий бір                                | 84,20     | 42,10                         |
| B1-дС                  | Сухий дубово-сосновий суббір             | 240,68    | 30,08                         |
| B2-дС                  | Свіжий дубово-сосновий суббір            | 166932,69 | 88,94                         |
| B3-дС                  | Вологий дубово-сосновий суббір           | 59134,06  | 83,88                         |
| B3-дсО                 | Вологий дубово-сосновий суббір осушений  | 139,51    | 23,25                         |
| B4-дС                  | Сирий дубово-сосновий суббір             | 1718,35   | 21,21                         |
| B4-дсО                 | Сирий дубово-сосновий суббір осушений    | 37,90     | 18,95                         |
| B5-бС                  | Мокрий березово-сосновий суббір          | 192,84    | 24,11                         |
| С2-гдС                 | Свіжий грабово-дубово-сосновий сугрудок  | 1009,12   | 12,01                         |
| С3-гД                  | Вологий грабово-дубовий сугрудок         | 0,33      | 0,33                          |
| С3-гдС                 | Вологий грабово-дубово-сосновий сугрудок | 1172,72   | 27,92                         |
| С4-Влч                 | Сирий чорновільховий сугрудок            | 254,76    | 6,89                          |
| С4-гдС                 | Сирий грабово-дубово-сосновий сугрудок   | 120,14    | 17,16                         |
| С5-Влч                 | Мокрий чорновільховий сугрудок           | 30,16     | 7,53                          |

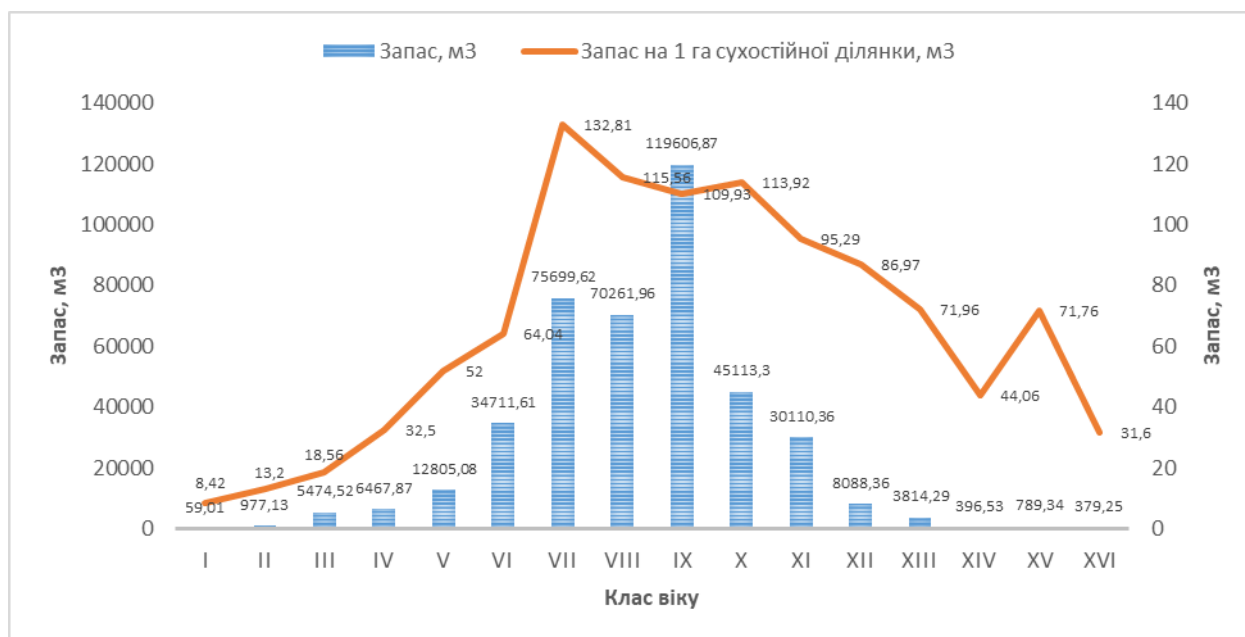


Рис. 1. Розподіл запасів грубого деревного детриту сосни звичайної за класами віку деревостану

Таблиця 4  
Розподіл запасів грубого деревного детриту сосни звичайної за повнотами деревостану

| Повнота | Запас, м³ |                               |
|---------|-----------|-------------------------------|
|         | Загальний | На 1 га сухостійної території |
| 0,4     | 533,54    | 35,57                         |
| 0,5     | 4541,32   | 56,07                         |
| 0,6     | 17210,50  | 59,35                         |
| 0,7     | 74254,99  | 79,59                         |
| 0,8     | 17324,80  | 96,27                         |
| 0,9     | 133581,70 | 103,31                        |
| 1,0     | 11348,28  | 106,06                        |

як у високоповнотних деревостанах (0,8-1,0) запас сухостійних дерев сосни складає 162254,78 м³ або 62,70%. Це ознака про важливу роль густоти насаджень у формуванні запасів детриту.

Також, ще одним головним показником формування ГДД є вік деревостану (рис. 1) в якому він формується, що на пряму впливає на кількісний показник.

З розподілу запасів сухостійної деревини за класом віку найменшими запасами представлені деревостани до I-II та XIV-XVI класів віку (1036,14 та 1565,12 м³ або 0,25 та 0,38%). Такі низькі показники пояснюються тим, що в деревостанах I-II к.в. запас

деревостанів є доволі низьким, а в XIV-XVI – через невелику кількість насаджень, в яких відбувся процес всихання. Найбільшими запасами ГДД представлені деревостани IX к.в. 119606,87 м³ або 28,84%, через значні площі деревостанів, що представлені даним класом, а також високим показником продуктивності в оптимальних умовах зростання.

**Головні висновки.** Результати дослідження показують, що розподіл запасів ГДД сосни звичайної у природному заповіднику «Древлянський» суттєво залежить від походження, продуктивності, екологічних умов та повноти деревостану. Найбільші обсяги ГДД характерні для насаджень високої продуктивності та сприятливих лісорослинних умов, тоді як у менш продуктивних і зволжених ділянках запаси значно нижчі. Отримані дані можуть бути використані для оцінки стану лісових екосистем, прогнозування змін у вуглецевому балансі та розробки природоохоронних заходів.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Перспективним напрямком продовження дослідження за даною темою буде порівняння об'ємів депонованого вуглецю ГДД в місцях всихання соснових деревостанів та за подібних таксаційних показників, але без процесу погіршення фітосанітарного стану соснових насаджень, для встановлення впливу процесу всихання на температурний режим певної території.

### Література

- Білоус А. М., Котляревська У.М. Структура біомаси вільхових насаджень Українського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(9). С. 14-18.
- Білоус А.М. Запас сухоюю і захаращеності м'яколистяних лісів Українського Полісся. Наукові доповіді НУБіП України. 2013. No 4. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd\\_2013\\_4\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2013_4_15)
- Білоус А.М., Котляревська У.М. Біомаса вільхових лісів Українського Полісся: Монографія. Київ: НУБіП України, 2018. 240 с.

4. Мартиненко В.В. Трансформація лісових екосистем природного заповідника «Древлянський»: дис. ... д.ф.: 101. Київ, 2024. 253 с.
5. Володимиренко В.М., Котляревська У.М., Сурай В.А., Клочко В.М. Мортмаса лісових екосистем у сучасному екоресурсному вимірі. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. 26(5). С. 188-194. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260529>.
6. Чорнобров О.Ю., Христецька М.В. Лісівничо-екологічні особливості розподілу запасів поваленої мертвої деревини у лісових Канівського Придніпров'я. Агроєкологічний журнал. 2023. № 4. С. 53-64. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293753>.
7. Фурдичко О.І., Чорнобров О.Ю., Соломаха І.В., Тимочко І.Я., Безроднова О.В. Оцінювання запасів грубого деревного детриту у лісових екосистемах національного природного парку «Слобожанський». Наукові доповіді НУБіП України. Біологія, біотехнологія, екологія. 2021. № 1 (89) DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovid2021.01.00>.
8. Чорнобров О.Ю., Христецька М.В. Лісівничо-екологічні особливості розподілу запасів поваленої мертвої деревини у лісових Канівського Придніпров'я. Агроєкологічний журнал. 2023. № 4. С. 53-64. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2023.293753>.
9. Мартиненко В.В., Конішук В.В. Особливості динаміки змін у лісовому фонді природного заповідника «Древлянський». *Збалансоване природокористування*. 2020. № 2. С. 92-100. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212607>.
10. Мартиненко В.В., Конішук В.В. Типологічна характеристика вкритих лісовою рослинністю деревостанів природного заповідника «Древлянський». *Агроєкологічний журнал*. 2020. № 3. С. 33-40. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2020.211524>.

---

# ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

---

УДК 504.064.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.7>

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ЯК МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АВТОТРАНСПОРТОМ

Галактіонов М.С., Бредун В.І.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава

[nikolay@galaktionov.com](mailto:nikolay@galaktionov.com)

У статті досліджується проблема впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря у міських умовах, зокрема в промислових регіонах, таких як Кривий Ріг. Автомобільний транспорт є одним із головних джерел забруднення, що обумовлює необхідність розробки нових підходів до управління транспортними потоками з метою мінімізації викидів шкідливих речовин. Висвітлено ключові аспекти проблеми, включаючи утворення заторів, неефективні режими роботи двигунів та недостатню інтеграцію екологічних критеріїв у системи регулювання руху.

Основна увага приділена розробці комплексної схеми управління якістю повітря, яка базується на інтеграції сучасних інструментів моніторингу, прогнозування та управління транспортними потоками. Система передбачає використання системи моніторингу забруднення повітря, погодних умов та характеристик дорожнього руху. Отримані дані аналізуються для розробки оперативних та стратегічних управлінських рішень, що спрямовані на зменшення екологічного навантаження.

У роботі наголошено на важливості впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS), які дозволяють оперативно регулювати дорожній рух та перенаправляти транспортні потоки залежно від рівня забруднення та трафіку. Серед інших заходів виділено розвиток інфраструктури для екологічно чистого транспорту, зокрема електромобілів і велосипедів, стимулювання використання альтернативних видів палива, покращення громадського транспорту та популяризацію «зелених зон» у містах.

Результати дослідження підкреслюють важливість переходу від традиційних методів оптимізації руху, які орієнтовані виключно на зменшення заторів і часу в дорозі, до більш збалансованого підходу, що враховує екологічні наслідки. Запропонована схема управління якістю повітря забезпечує комплексне вирішення екологічних та транспортних проблем і є адаптивною до умов великих міст із промисловим навантаженням. Її впровадження дозволить не лише зменшити рівень забруднення повітря, але й підвищити ефективність транспортної системи, поліпшити якість життя мешканців і сприяти сталому розвитку.

Таким чином, у статті визначено пріоритети для вдосконалення транспортної політики, що включають інтеграцію екологічних критеріїв, розвиток альтернативних видів транспорту, підвищення енергоефективності та застосування сучасних цифрових технологій для регулювання дорожнього руху. *Ключові слова:* забруднення повітря, оптимізація транспортних потоків, викиди автотранспорту, інтелектуальні транспортні системи, екологічний вплив, міський трафік.

### **Optimization of traffic flows as a method for reducing air pollution from vehicles. Halaktionov M., Bredun V.**

This article examines the impact of vehicles on air quality in urban areas, particularly in industrial regions such as Kryvyi Rih. Vehicular transport is one of the main sources of pollution, necessitating the development of new approaches to traffic management aimed at minimizing emissions of harmful substances. Key aspects of the problem are highlighted, including traffic congestion, inefficient engine operating modes, and insufficient integration of environmental criteria into traffic regulation systems.

The main focus is on developing a comprehensive air quality management scheme based on the integration of modern tools for monitoring, forecasting, and traffic management. The system includes the use of air pollution monitoring systems, weather conditions, and traffic characteristics. The collected data is analyzed to develop operational and strategic management decisions aimed at reducing environmental burdens.

The study emphasizes the importance of implementing intelligent transportation systems (ITS) that allow for real-time regulation of traffic and redirection of flows depending on pollution levels and traffic density. Among other measures, the development of infrastructure for environmentally friendly transport, such as electric vehicles and bicycles, promotion of alternative fuel use, improvement of public transport, and the establishment of "green zones" in cities are highlighted.

The results of the study underline the need to transition from traditional methods of traffic optimization, which focus solely on reducing congestion and travel time, to a more balanced approach that considers environmental impacts. The proposed air quality management scheme provides a comprehensive solution to environmental and traffic challenges and is adaptable to the conditions of large industrial cities. Its implementation will not only reduce air pollution levels but also enhance the efficiency of the transport system, improve residents' quality of life, and contribute to sustainable development.

Thus, the article identifies priorities for improving transport policy, including the integration of environmental criteria, the development of alternative transport modes, increased energy efficiency, and the application of modern digital technologies for traffic regulation. *Key words:* air pollution, traffic flow optimization, vehicle emissions, intelligent transportation systems, environmental impact, urban traffic.

**Постановка проблеми.** Автотранспорт є одним із основних джерел забруднення атмосферного повітря, особливо в міських умовах. В Україні, де частка автомобільних викидів становить близько 40% від загального обсягу забруднення атмосфери, ця проблема набуває особливої гостроти [1]. Важливо зазначити, що, на відміну від викидів стаціонарних джерел, які зосереджені в промислових районах, викиди від автотранспорту концентруються переважно у великих містах. У промислових центрах, таких як Кривий Ріг, сукупний негативний вплив від промислових підприємств та автомобільного транспорту призводить до надзвичайно високого рівня забруднення, що створює серйозні екологічні ризики для здоров'я мешканців та стану довкілля [2]. Постійне зростання кількості автомобілів на вулицях міст та утворення заторів лише погіршують ситуацію, оскільки призводять до збільшення часу роботи двигунів у неефективних, так званих перехідних режимах, що характеризуються підвищеною витратою палива та, відповідно, більшими викидами шкідливих речовин в атмосферу. Серед основних джерел забруднення, пов'язаних з експлуатацією автотранспорту, слід виділити вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння, випаровування палива, а також частинки пилу, що утворюються внаслідок зносу шин та дорожнього покриття [3].

**Актуальність дослідження.** Актуальність дослідження впровадження заходів зі зменшення впливу автотранспорту на екологічну ситуацію зумовлена глобальною проблемою зміни клімату та забруднення повітря, що негативно впливає на здоров'я людей. В Україні, де викиди автотранспорту складають значну частину загального забруднення, ця проблема особливо гостра у великих містах, таких як Кривий Ріг, з їхнім промисловим навантаженням та специфічною транспортною інфраструктурою. Тому дослідження, спрямовані на зменшення цього впливу, є важливими для покращення екологічної ситуації, зміцнення енергетичної безпеки та досягнення цілей сталого розвитку [4].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження відповідають пріоритетним напрямкам розвитку безпечного, екологічно чистого та енергоефективного транспорту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій підтверджує високу актуальність проблеми якості атмосферного повітря та впливу на нього автотранспорту. Ця тема широко висвітлюється в багатьох наукових працях, що свідчить про її важливість для суспільства.

Існуючі дослідження охоплюють різні аспекти впливу автотранспорту на довкілля та здоров'я населення [5]. Зокрема, підкреслюється, що стрімка автомобілізація міст призводить до негативних наслідків, таких як ускладнення функціонування

дорожньої інфраструктури та посилення забруднення навколишнього середовища [6]. Важливим фактором впливу також визнається стан дорожньої інфраструктури, застарілість якої призводить до численних заторів у містах, що додатково погіршує екологічну ситуацію [7].

Значна увага приділяється вивченню систем моніторингу викидів транспортних засобів та пошуку шляхів вирішення проблем, пов'язаних з впливом автотранспорту на атмосферу [8]. Підкреслюється, що впровадження сучасних систем моніторингу дозволяє більш детально аналізувати викиди та своєчасно реагувати на зміни екологічної ситуації шляхом впровадження відповідних заходів.

Ряд джерел підтверджує, що автотранспорт є одним з найбільших чинників забруднення атмосферного повітря, особливо в мегаполісах [9].

**Невирішені аспекти проблеми.** Системи регулювання та оптимізації дорожнього руху історично були спрямовані насамперед на забезпечення безпечного, ефективного та комфортного пересування. Це означає, що основні зусилля концентрувалися на зменшенні заторів, збільшенні пропускної здатності доріг та скороченні часу перебування в дорозі. Однак, в умовах зростаючої екологічної кризи, такий однобічний підхід стає неприйнятним. Ігнорування екологічної складової призводить до того, що оптимізація руху, спрямована виключно на збільшення пропускної здатності, може супроводжуватися збільшенням викидів забруднюючих речовин, погіршенням якості повітря та негативним впливом на здоров'я населення. Тому інтеграція екологічних критеріїв у планування та управління дорожнім рухом є не просто бажаною, а життєво необхідною.

**Наукова новизна.** Розробка нових методів оптимізації транспортних потоків, прогнозування забруднення та модернізації транспортної інфраструктури.

**Практична значущість.** Можливість застосування результатів дослідження для розробки конкретних заходів та програм на місцевому та національному рівнях.

**Результати дослідження.** Система регулювання та оптимізації дорожнього руху є важливим елементом управління транспортною інфраструктурою в містах, зокрема й у Кривому Розі. Її основна мета – забезпечити максимально безпечне, швидке та комфортне пересування для водіїв і пасажирів. Традиційно такі системи зосереджені на вирішенні проблем заторів, покращенні пропускної здатності доріг, а також мінімізації часу, який витрачається на пересування [10].

Транспортні системи великих міст, включаючи Кривий Ріг, зазнають значних труднощів через застарілі методи управління дорожнім рухом, що не відповідають сучасним вимогам ефективності та безпеки, а також через постійне збільшення кількості транспортних засобів. Це призводить до перевантаження інфраструктури, частих заторів, збільшення тривало-

сті поїздок та погіршення якості повітря, що особливо відчутно для промислово розвиненого Кривого Рогу. Застарілі підходи, що базуються на статичних графіках роботи світлофорів або незмінних маршрутах, вже не здатні ефективно регулювати динамічні транспортні потоки великих міст. Збільшення кількості автомобілів, особливо приватних, створює додаткове навантаження на дорожню мережу Кривого Рогу, яка часто не встигає адаптуватися до цих змін.

В багатьох містах, у тому числі й в Кривому Розі, впроваджують сучасні технології, такі як інтелектуальні транспортні системи (ITS), автоматичне управління світлофорами, мобільні додатки для планування маршрутів тощо [11].

Проте під час проектування та реалізації подібних систем, екологічна складова нерідко відходить на другий план або зовсім не враховується. Це є суттєвою прогалиною, особливо в умовах сучасних викликів, пов'язаних із глобальною кліматичною кризою та дедалі більшою загазованістю повітря в містах, що є актуальним і для Кривого Рогу з його потужним промисловим комплексом. Міські транспортні мережі стають одним із головних джерел викидів парникових газів, оксидів азоту, дрібнодисперсних частинок (PM) та інших шкідливих речовин, які негативно впливають на здоров'я людей і стан навколишнього середовища, створюючи додаткове навантаження на екологію міста.

Зосереджуючись виключно на ефективності руху, транспортні системи, часто сприяють збільшенню інтенсивності трафіку. Наприклад, скорочення часу на дорогу або зменшення заторів зазвичай заохочує більше людей користуватися приватними автомобілями. Це, у свою чергу, призводить до збільшення загальної кількості транспортних засобів на дорогах і, як наслідок, до підвищення рівня викидів, що є проблемою для Кривого Рогу.

Крім того, у багатьох системах регулювання, в тому числі й у Кривому Розі, недостатньо уваги приділяється стимулюванню використання екологічно чистого транспорту. Інфраструктура для електромобілів, велосипедів чи громадського транспорту часто розвивається повільно або є недоступною для значної частини населення. В результаті домінування приватних автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння залишається переважаючою тенденцією, що посилює екологічні проблеми міста.

Таким чином, системи регулювання дорожнього руху, які не враховують екологічну складову, створюють ризик не лише поглиблення екологічних проблем, а й зниження якості життя мешканців міст. Щоб уникнути цього, необхідно змінити підхід до проектування таких систем, зробивши їх більш збалансованими та орієнтованими на сталий розвиток, що є особливо важливим для Кривого Рогу з його складним екологічним станом.

Негативний вплив транспорту на довкілля зумовлює необхідність активізації природоохоронних

заходів та раціонального використання природних ресурсів як на рівні держави, так і на рівні громадськості. Ключовими завданнями у сфері екологічної безпеки транспорту є мінімізація забруднення атмосферного повітря, зменшення шумового та вібраційного впливу, а також запобігання іншим негативним екологічним наслідкам, що є важливими аспектами для покращення екологічної ситуації.

Організаційно-правові заходи передбачають розробку та впровадження ефективних механізмів екологічної політики, забезпечення дотримання природоохоронного законодавства та екологічних стандартів. Це включає встановлення норм і вимог до транспортних засобів, якості палива та мастильних матеріалів, технічного оснащення, а також забезпечення належного стану транспортної інфраструктури, що є важливим для міста.

Для зменшення негативного впливу автомобільного транспорту на якість повітря в Кривому Розі необхідно реалізувати комплекс заходів, спрямованих на покращення екологічної ситуації.

Покращення екологічної ситуації в містах потребує комплексного підходу, що поєднує інтеграцію транспортних систем з екологічним моніторингом та прогностичними моделями, розвиток громадського транспорту та стимулювання використання екологічно чистих альтернатив, таких як електромобілі та велосипеди. Така інтеграція дозволяє не тільки враховувати вплив транспорту на якість повітря, але й оперативно реагувати на зміни ситуації. Зокрема, інтелектуальні транспортні системи (ITS), використовуючи дані з екологічних моніторингових станцій, можуть ефективно перерозподіляти транспортні потоки, зменшуючи екологічне навантаження на найбільш забруднені ділянки.

За результатами дослідження розроблена схема управління якістю повітря (рисунок 1).

Запропонована схема являє собою комплексну систему управління, спрямовану на покращення якості повітря та оптимізацію дорожнього руху шляхом інтегрованого підходу до вирішення екологічних і транспортних проблем. Система базується на кількох ключових напрямках.

Першим і основоположним напрямком є моніторинг, який забезпечує постійний контроль за станом повітря та дорожньою ситуацією. Моніторинг охоплює вимірювання концентрацій забруднюючих речовин ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , PM тощо) для ідентифікації критичних зон забруднення, відстеження метеорологічних умов, що впливають на розсіювання забруднень, та оцінку параметрів дорожнього руху, таких як інтенсивність транспортного потоку, швидкість руху та склад транспортних засобів (легкові, вантажні, громадський транспорт). Для ефективного збору даних передбачено використання як стаціонарних постів спостереження, що забезпечують безперервний моніторинг, так і мобільних груп для оперативного збору даних у різних точках міста.



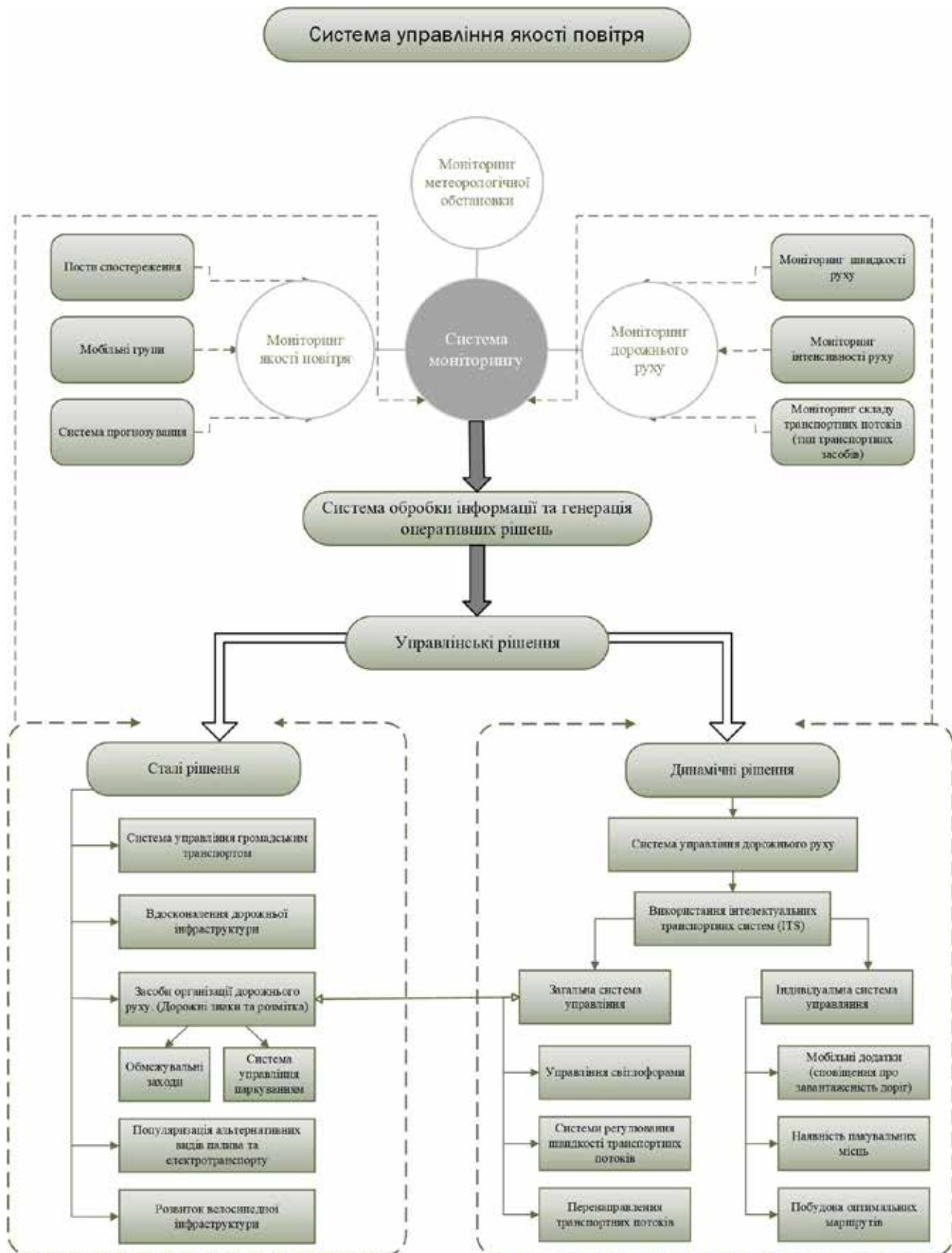


Рис. 1

Важливим елементом системи моніторингу є використання технологій прогнозування, що дозволяють аналізувати та передбачати зміни якості повітря та трафіку.

На основі зібраних даних функціонує система обробки інформації, яка аналізує отримані результати для розробки управлінських рішень. Система генерує як оперативні рішення для адаптивного управління дорожнім рухом та контролю для мінімізації рівня забруднення в режимі реального часу, так і сталі рішення для формування довгострокових стратегій, що стосуються розвитку інфраструктури та зміни транспортної політики. Оперативні рішення включають динамічне регулювання руху та перенаправлення транспортних потоків у відповідь на зміни дорожньої ситуації або рівня забруднення.

Оптимізація дорожньої інфраструктури є ще одним важливим напрямом системи. Для покращення дорожнього руху передбачено використання таких інструментів, як управління громадським транспортом для підвищення ефективності його використання, впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) для автоматизованого регулювання світлофорів та контролю швидкості, оптимізація системи управління паркуванням для раціонального розподілу паркувальних місць, а також організація дорожнього руху за допомогою дорожніх знаків, розмітки та обмежень швидкості.

Окремим та важливим аспектом є екологічна складова, яка передбачає популяризацію альтернативних видів транспорту, таких як електромобілі та велосипеди, шляхом стимулювання їх використання та розвитку відповідної інфраструктури, зокрема створення безпечних умов для велосипедистів. Також передбачено впровадження обмежувальних заходів, таких як створення «зелених зон» та обмеження руху для транспортних засобів із високими викидами.

Загалом, схема являє собою комплексну багаторівневу систему управління, що інтегрує інстру-

менти моніторингу, прогнозування, аналізу та впровадження рішень для досягнення головної мети – зниження негативного впливу транспорту на якість повітря, підвищення ефективності міського руху та забезпечення сталого розвитку транспортної інфраструктури.

**Висновок.** Запропонована схема управління якістю повітря та оптимізації дорожнього руху є комплексною системою, яка поєднує моніторинг, прогнозування, аналіз даних та впровадження рішень. Її ключова мета – зменшення негативного впливу транспорту на екологічну ситуацію, особливо в умовах промислово навантажених міст, таких як Кривий Ріг.

Основні напрями системи включають:

- Постійний моніторинг якості повітря, метеорологічних умов та параметрів дорожнього руху;
- Використання сучасних інструментів для аналізу та прогнозування, що дозволяють ідентифікувати критичні зони забруднення та розробляти ефективні рішення;
- Інтеграцію екологічних критеріїв у процес планування транспортної інфраструктури;
- Оптимізацію дорожньої мережі з акцентом на розвиток громадського та екологічно чистого транспорту.

Впровадження таких систем дозволяє не лише знизити рівень забруднення атмосферного повітря, але й підвищити ефективність міського руху, покращити якість життя мешканців та сприяти сталому розвитку. Особливо важливо, що система враховує специфічні потреби промислових регіонів, де концентрація забруднень є найбільшою.

Для досягнення максимального ефекту необхідно забезпечити активну співпрацю між органами місцевого самоврядування, науковими установами та громадськістю, а також реалізувати відповідні організаційно-правові та технічні заходи. Це сприятиме створенню екологічно безпечного та комфортного середовища для життя.

### Література

1. Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні – Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – офіційний сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-prirodno-goseredovysshha-v-ukrayini/>.
2. Галактіонов М., Ганошенко О. Аналіз стану атмосферного повітря у місті Кривий Ріг та вклад автотранспорту у забруднення міста. ACADEMIC JOURNAL series: industrial machine building, civil engineering. 2022. Vol. 1, no. 58. P. 149–154.
3. Vehicle emissions and urban air quality: 60 years of progress / T. J. Wallington et al. Atmosphere. 2022. Vol. 13, no. 5. P. 650. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos13050650>.
4. 17 Цілей сталого розвитку | Global Compact. Global Compact. URL: <https://globalcompact.org.ua/tsili-stijkogo-rozvytku/>.
5. Zhang K., Batterman S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. Science of the total environment. 2013. Vol. 450–451. P. 307–316. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.074>.
6. Abdel Wahed Ahmed M. M., Abd El Monem N. Sustainable and green transportation for better quality of life case study greater Cairo – Egypt. HBRC journal. 2020. Vol. 16, no. 1. P. 17–37. URL: <https://doi.org/10.1080/16874048.2020.1719340>.
7. Son J., Park M., Park B. B. The effect of age, gender and roadway environment on the acceptance and effectiveness of Advanced Driver Assistance Systems. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour. 2015. Vol. 31. P. 12–24. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.03.009>.

8. Status of atmospheric air pollution in Ukraine prior to the full-scale russian invasion. Part 1: ground-level content of pollutants / M. V. Savenets et al. Ukrainian hydrometeorological journal. 2023. No. 31. P. 69–87. URL: <https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.05>.
9. Mobile monitoring of air pollution in cities: the case of Hamilton, Ontario, Canada / J. Wallace et al. Journal of environmental monitoring. 2009. Vol. 11, no. 5. P. 998. URL: <https://doi.org/10.1039/b818477a> (date of access: 15.01.2025).
10. Кривенчук Ю., Бойків М., Бойків Р. Інформаційна система автоматичного регулювання алгоритму роботи світлофора. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2023. Vol. 329, no. 6. P. 199–203. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-329-6-199-203>.
11. Kliuiev S. A., Sihonin A. E., Tsymbal S. V. Development of intelligent transport systems. Journal of Mechanical Engineering and Transport. 2024. Vol. 18, no. 2. P. 80–86. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-80-86>

## УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ НА НАСЛІДКИ АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН ЛАНДШАТІВ

Гончарук В.В.<sup>1</sup>, Парахненко В.Г.<sup>1</sup>, Юровчик В.Г.<sup>2</sup>, Сопов Д.С.<sup>3</sup>, Сопова Н.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
вул. Садова, 2, 20300, м. Умань

<sup>2</sup>Луцький фаховий коледж рекреаційних технологій і права  
вул. Карбишева, 2, 43023, м. Луцьк

<sup>3</sup>Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»  
вул. Івана Банка, 3, 36003, м. Полтава

<sup>4</sup>Державний біотехнологічний університет  
вул. Алчевських, 44, 61002, м. Харків

[vladparachnenko@ukr.net](mailto:vladparachnenko@ukr.net), [gvitalii1975@gmail.com](mailto:gvitalii1975@gmail.com), [Yurovschik@ukr.net](mailto:Yurovschik@ukr.net),  
[lnu.sopov@gmail.com](mailto:lnu.sopov@gmail.com), [lnau.sopova@gmail.com](mailto:lnau.sopova@gmail.com)

Управління екологічною безпекою України є одним із найважливіших напрямів державної політики, особливо в умовах інтенсивних антропогенних змін ландшафтів. Незворотні екологічні процеси, спричинені урбанізацією, промисловим виробництвом, сільським господарством та військовими діями, значно впливають на стан довкілля, що ставить перед суспільством і державою складні виклики.

Основними проблемами сучасного етапу є деградація ґрунтів, зменшення лісових масивів, забруднення водних ресурсів та повітря, зниження біорізноманіття та опустелювання територій. Особливої уваги потребують наслідки воєнних дій, які призвели до руйнування природних екосистем, забруднення ґрунтів важкими металами, нафтовими продуктами, токсичними речовинами, що значно ускладнює процеси відновлення.

Сучасна екологічна політика України спрямована на посилення екологічного контролю, розширення природоохоронних територій, впровадження екологічних стандартів у промисловості та сільському господарстві, розвиток відновлюваної енергетики та екологічно безпечних технологій. Важливими напрямками є також активізація міжнародного співробітництва, залучення інвестицій у природоохоронні проекти та екологічна освіта населення.

Ефективне управління екологічною безпекою потребує комплексного підходу, що включає правове регулювання, екологічний моніторинг, використання інноваційних технологій з відновлення ландшафтів, впровадження принципів сталого розвитку та підвищення екологічної свідомості населення.

Таким чином, екологічна безпека України потребує інтегрованого підходу, що поєднує наукові досягнення, державне управління та активну участь громадськості. Збереження природних ресурсів, відновлення екосистем і формування екологічної культури населення є ключовими умовами для забезпечення стійкого розвитку країни та майбутніх поколінь.

У статті розглядаються сучасні виклики, пов'язані з антропогенними змінами ландшафтів в Україні, аналізуються їх наслідки для екологічної безпеки та пропонуються шляхи мінімізації негативного впливу на довкілля [1]. *Ключові слова:* антропогенні зміни ландшафтів, руйнування природних екосистем, управління екологічною безпекою, відновлення екосистем.

**Management of environmental safety in Ukraine: today's challenges to the consequences of anthropogenic changes in landscapes.**  
**Goncharuk V., Parakhnenko V., Yurovchik V., Sopov D., Sopova N.**

Managing Ukraine's environmental security is one of the most important areas of state policy, especially in the context of intensive anthropogenic landscape changes. Irreversible ecological processes caused by urbanisation, industrial production, agriculture and military operations have a significant impact on the environment, which poses complex challenges to society and the state.

The main problems of the current stage are soil degradation, reduction of forests, water and air pollution, reduction of biodiversity and desertification. Particular attention should be paid to the consequences of military actions that have led to the destruction of natural ecosystems, soil contamination with heavy metals, oil products, and toxic substances, which significantly complicates the restoration process.

Ukraine's current environmental policy is aimed at strengthening environmental control, expanding protected areas, introducing environmental standards in industry and agriculture, and developing renewable energy and environmentally friendly technologies. Other important areas include intensifying international cooperation, attracting investment in environmental projects, and public environmental education.

Effective environmental safety management requires a comprehensive approach that includes legal regulation, environmental monitoring, the use of innovative technologies for landscape restoration, the implementation of sustainable development principles, and raising environmental awareness.

Thus, Ukraine's environmental security requires an integrated approach that combines scientific achievements, public administration and active public participation. Conservation of natural resources, restoration of ecosystems and formation of an ecological culture of the population are key conditions for ensuring sustainable development of the country and future generations.

The article discusses the current challenges associated with anthropogenic landscape changes in Ukraine, analyses their consequences for environmental safety and suggests ways to minimise the negative impact on the environment [1]. *Key words:* anthropogenic landscape changes, destruction of natural ecosystems, environmental safety management, ecosystem restoration.

**Постановка проблеми.** Екологічна безпека є одним із ключових пріоритетів сталого розвитку України, особливо в умовах інтенсивних антропогенних змін ландшафтів. Вплив людської діяльності на природне середовище призводить до значних екологічних загроз, серед яких деградація ґрунтів, забруднення водних ресурсів, зменшення біорізноманіття, ерозійні процеси та зміна клімату. Окрім цього, військові дії на території країни значно посилюють екологічні проблеми, завдаючи серйозних збитків природним екосистемам.

Основною проблемою є незбалансоване природокористування, що супроводжується масовим вирубуванням лісів, розорюванням земель, забрудненням промисловими відходами та інтенсифікацією урбанізаційних процесів. Це спричиняє дестабілізацію екологічної рівноваги, підвищення ризиків екологічних катастроф та зниження якості життя населення.

Важливим викликом є недосконалість законодавчої бази та слабкий контроль за дотриманням екологічних норм, що ускладнює ефективне управління природними ресурсами. Також спостерігається недостатнє фінансування екологічних програм, що стримує реалізацію заходів із запобігання екологічним загрозам та ліквідації їх наслідків [2].

З огляду на це, постає необхідність розробки комплексного підходу до управління екологічною безпекою, який би враховував сучасні виклики та передбачав інтеграцію наукових досягнень, екологічного моніторингу, цифрових технологій та ефективної державної політики. Тільки за умови системного підходу та активної участі держави, бізнесу та громадськості можна досягти екологічної стійкості та мінімізувати негативні наслідки антропогенної трансформації ландшафтів України.

**Актуальність дослідження.** Проблема управління екологічною безпекою України на тлі антропогенних змін ландшафтів є надзвичайно актуальною в умовах сучасних викликів, пов'язаних із глобальними екологічними кризами, зростаючою індустріалізацією, урбанізацією та військовими конфліктами. Активна господарська діяльність людини призводить до порушення екологічної рівноваги, що має довгострокові негативні наслідки для стану довкілля, здоров'я населення та економічної стабільності держави.

Зміни ландшафтів, спричинені антропогенними факторами, зокрема інтенсивною сільськогосподарською діяльністю, нераціональним використанням природних ресурсів, масштабним вирубуванням лісів, забрудненням водойм та ґрунтів, призводять до деградації екосистем та зменшення біорізноманіття. Особливу загрозу становлять наслідки воєнних дій на території України, які спричиняють значне забруднення територій токсичними речовинами, руйнування природних середовищ існування та зміну водного балансу.

Особливої уваги потребує удосконалення законодавчої бази, посилення екологічного контролю, залучення інвестицій у природоохоронні проєкти та підвищення рівня екологічної свідомості населення. Важливим аспектом є впровадження сучасних технологій моніторингу довкілля, зокрема супутникового спостереження, цифрових аналітичних платформ та штучного інтелекту, що дозволить оперативно оцінювати стан навколишнього середовища та прогнозувати потенційні загрози [3].

Таким чином, дослідження у сфері управління екологічною безпекою України є необхідним для розробки дієвих механізмів мінімізації негативних наслідків антропогенної трансформації ландшафтів та забезпечення сталого розвитку країни. Реалізація таких заходів сприятиме збереженню природних ресурсів, покращенню екологічної ситуації та підвищенню якості життя майбутніх поколінь.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження, присвячене управлінню екологічною безпекою України у контексті антропогенного впливу на ландшафти, є надзвичайно актуальним як у науковому, так і у практичному аспектах. З огляду на зростаючі екологічні виклики, зумовлені урбанізацією, промисловим розвитком, сільськогосподарською діяльністю та збройними конфліктами, необхідність розробки ефективних підходів до збереження довкілля та сталого розвитку стає нагальною.

У науковому аспекті дане дослідження має зв'язок із такими важливими завданнями: оцінка екологічного стану ландшафтів – аналіз сучасних змін у природних територіях під впливом господарської діяльності та військових дій.

Розробка методів моніторингу та прогнозування змін ландшафтів – використання геоінформаційних систем, дистанційного зондування Землі та математичних моделей для визначення рівня антропогенного впливу.

Адаптація міжнародного досвіду до українських реалій – вивчення передових світових практик управління екологічною безпекою та їх імплементація в українську законодавчу та управлінську сферу.

Підтримки державних екологічних програм – удосконалення нормативно-правової бази та розробка механізмів екологічного контролю та оцінки впливу на довкілля.

Підвищення екологічної свідомості населення – проведення інформаційних кампаній, освітніх програм та залучення громадськості до збереження природних ресурсів.

Таким чином, авторський доробок сприяє як теоретичному обґрунтуванню проблеми, так і її практичному вирішенню, забезпечуючи комплексний підхід до управління екологічною безпекою України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Управління екологічною безпекою України в умовах

антропогенних змін ландшафтів є предметом численних наукових досліджень та публікацій. Вчені та фахівці зосереджують увагу на вивченні впливу людської діяльності на природні комплекси та розробці стратегій мінімізації негативних наслідків.

Згідно з даними Енциклопедії Сучасної України, антропогенні зміни охоплюють зміни клімату, ґрунтів, водойм, а також тваринного та рослинного світу, спричинені господарською діяльністю людини. Ці зміни можуть мати як позитивні, так і негативні наслідки, залежно від характеру та інтенсивності впливу.

У 2023 році відбулася XVII Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави», де було представлено низку досліджень, присвячених управлінню екологічною безпекою в умовах антропогенних змін ландшафтів. Учасники конференції обговорювали сучасні виклики та пропонували шляхи їх подолання [4].

Дослідження також охоплюють питання класифікації та оцінки антропогенних ландшафтів. Зокрема, в Енциклопедії Сучасної України зазначається, що антропогенний ландшафт – це місцевість, змінена діяльністю людини в процесі виконання нею соціально-економічних функцій та використання певних технологій природокористування. В Україні, у зв'язку зі значним освоєнням території, ландшафти переважно антропогенні.

Важливим напрямом досліджень є впровадження систем екологічного управління відповідно до міжнародних стандартів, таких як ISO 14001. У публікації «Система екологічного управління: сучасні тенденції та перспективи» розглядаються основні принципи сучасних моделей екологічного управління, історія їх виникнення та розвитку, а також рекомендації щодо розроблення та впровадження систем екологічного управління згідно з ISO 14001:2015.

Таким чином, сучасні дослідження зосереджені на вивченні впливу антропогенних факторів на ландшафти України та розробці ефективних механізмів управління екологічною безпекою. Впровадження міжнародних стандартів, таких як ISO 14001, є перспективним напрямом для забезпечення сталого розвитку та мінімізації негативних наслідків антропогенної діяльності.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на численні дослідження у сфері управління екологічною безпекою України, низка аспектів залишається недостатньо вивченою або потребує оновлення в контексті сучасних викликів. Означена стаття зосереджується на таких не вирішених раніше питаннях: вплив військових дій на екологічну безпеку та ландшафтні зміни, бойові дії на території України спричинили значні екологічні проблеми, такі як руйнування природних екосистем, забруднення ґрунтів та водних ресурсів токсичними

речовинами, знищення лісових масивів і природоохоронних територій. Однак комплексний аналіз масштабів та довгострокових наслідків цього впливу все ще потребує додаткових досліджень.

Дослідження вказують на наявність екологічного законодавства та програм з охорони довкілля, проте їхня ефективність залишається дискусійним питанням. Важливо оцінити рівень впровадження цих заходів та виявити прогалини, що ускладнюють їхню реалізацію.

У світовій практиці активно використовуються супутниковий моніторинг, штучний інтелект та великі дані для аналізу екологічних змін. В Україні ці методи лише починають впроваджуватися, і необхідно визначити перспективи їх адаптації до місцевих умов [5].

Дослідження показують, що залучення громадян до природоохоронних заходів підвищує ефективність екологічної політики. Проте механізми активної взаємодії між владою, бізнесом і суспільством потребують подальшого удосконалення.

Таким чином, стаття спрямована на розкриття нових аспектів управління екологічною безпекою України, що враховують сучасні виклики, зокрема наслідки антропогенного втручання та збройного конфлікту. Аналіз цих проблем дозволить сформулювати більш ефективну стратегію сталого розвитку та відновлення довкілля.

**Новизна:** даного дослідження полягає у застосуванні інтеграційного підходу, що об'єднує сучасні методи моніторингу, математичного моделювання та геоінформаційних систем для комплексного аналізу змін ландшафтів. Новизна також полягає в адаптації міжнародного досвіду через розробку рекомендацій, що базуються на кращих світових практиках управління екологічною безпекою, пристосованих до українських умов. Новизна дослідження відзначається практичною орієнтованістю, що включає пропозиції щодо удосконалення державної екологічної політики та впровадження конкретних заходів з реабілітації порушених територій [6].

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Методологічне та загальнонаукове значення дослідження управління екологічною безпекою України в умовах антропогенного впливу на ландшафти полягає у комплексному підході до аналізу, оцінки та прогнозування екологічних ризиків. Це дослідження сприяє розвитку сучасних екологічних методологій, які базуються на міждисциплінарному підході та враховують природні, техногенні та соціальні фактори [7].

Таким чином, це дослідження має не лише практичне, а й значне науково-теоретичне значення, сприяючи розробці ефективних рішень для збереження довкілля та сталого розвитку України.

**Виклад основного матеріалу.** Екологічна безпека є однією з ключових складових сталого розвитку держави, оскільки стан довкілля безпосеред-

ньо впливає на якість життя населення, економічну стабільність та соціальне благополуччя. В Україні антропогенні зміни ландшафтів досягли критичних масштабів через урбанізацію, інтенсивне сільське господарство, промислову діяльність, а також військові дії. Це призводить до деградації екосистем, зменшення природних ресурсів, забруднення ґрунтів, води й повітря, а також до глобальних кліматичних змін.

У зв'язку з цим актуальним є питання розробки ефективної системи управління екологічною безпекою, що передбачає використання інноваційних технологій моніторингу, удосконалення законодавчої бази, міжнародну співпрацю та активне залучення громадськості до екологічної діяльності.

Використання пестицидів, гербіцидів та мінеральних добрив сприяє хімічному забрудненню ґрунтів і водних ресурсів. Надмірне розорювання земель та осушення боліт сприяє ерозії, опустелюванню та втраті природного біорізноманіття [5].

Незаконні вирубки лісів та зменшення площ заповідних територій негативно впливають на кліматичні умови, сприяють зміні водного балансу та підвищують ризик стихійних лих, таких як повені та зсуви.

Вибухи, руйнування інфраструктури, витоки токсичних речовин та руйнація природних екосистем є серйозними наслідками воєнного конфлікту. Забруднення ґрунтів важкими металами та нафтопродуктами, руйнування водних ресурсів та загибель флори й фауни створюють загрозу для екологічної безпеки країни.

На державному рівні в Україні діють екологічні програми та законодавчі ініціативи, спрямовані на збереження довкілля. Проте ефективність реалізації цих заходів залишається низькою через низку факторів: брак ефективного моніторингу екологічної ситуації, слабка координація між державними органами та недосконалість механізмів відповідальності призводять до масових порушень природоохоронного законодавства.

Державні екологічні програми часто не мають належного фінансового забезпечення, що ускладнює реалізацію проєктів з відновлення екосистем та екологічного контролю.

В Україні лише частково використовуються сучасні методи моніторингу, такі як супутниковий контроль, великі дані та штучний інтелект, що могли б забезпечити оперативне реагування на екологічні загрози.

Для підвищення ефективності управління екологічною безпекою необхідно впровадити низку заходів:

посилення державного контролю за дотриманням екологічних стандартів, удосконалення системи штрафів за забруднення довкілля та активізація міжнародної співпраці у сфері природоохоронної діяльності [8].

Впровадження екологічно безпечних технологій у промисловості та сільському господарстві, підтримка зеленої енергетики та стимулювання використання відновлюваних ресурсів.

Управління екологічною безпекою України є складним і багатогранним процесом, що потребує системного підходу та інтеграції наукових, технологічних і соціальних рішень. Враховуючи сучасні виклики, необхідно посилити екологічний контроль, вдосконалити законодавчу базу, розширити використання цифрових технологій та активізувати участь громадськості у природоохоронній діяльності.

**Головні висновки.** Управління екологічною безпекою України є одним із ключових стратегічних завдань держави, оскільки природні ресурси, здоров'я населення та економічна стабільність безпосередньо залежать від ефективності екологічної політики. Антропогенні зміни ландшафтів, спричинені інтенсивним природокористуванням, промисловим розвитком, військовими діями та зміною клімату, створюють серйозні виклики, що вимагають комплексного та науково обґрунтованого підходу до їхнього вирішення.

Проведене дослідження показало, що основними загрозами для екологічної безпеки України є: деградація ґрунтів та земельних ресурсів. Надмірне розорювання земель, використання агрохімікатів та знищення природної рослинності призводять до ерозії, втрати родючості та опустелювання значних територій.

Промислові скиди, неправильне поводження з відходами, забруднення поверхневих і підземних вод створюють загрози для питного водопостачання та функціонування екосистем [9].

Руйнування природних середовищ існування, браконьєрство та зміни клімату сприяють зникненню багатьох видів флори та фауни.

Воєнні дії та їхній екологічний вплив. Вибухи, знищення інфраструктури, потрапляння у довкілля небезпечних речовин, пожежі та руйнація лісів завдають значної шкоди екосистемам і потребують довготривалих заходів з відновлення.

**Кліматичні зміни.** Підвищення середньорічної температури, зменшення кількості опадів, екстремальні погодні явища та порушення водного балансу є наслідками як глобальних процесів, так і локальних антропогенних впливів.

Аналіз державної політики показав, що в Україні існує нормативно-правова база у сфері екологічної безпеки, проте її реалізація стикається з рядом проблем:

**Недостатній екологічний контроль.** Через брак фінансування та ефективних механізмів моніторингу екологічні порушення часто залишаються без належного реагування.

**Обмежене використання цифрових технологій.** У світі активно впроваджуються супутниковий моні-

торинг, аналітика великих даних та автоматизовані системи управління довкіллям, тоді як в Україні їх застосування залишається на початковому рівні.

*Недостатнє фінансування природоохоронних програм.* Державні екологічні проєкти не мають належного фінансування, що обмежує можливості їхньої реалізації.

*Низька екологічна свідомість населення.* Громадяни часто не мають достатньої інформації про стан довкілля та можливі шляхи його покращення, що знижує рівень участі у природоохоронних ініціативах.

Для підвищення рівня екологічної безпеки та мінімізації наслідків антропогенних змін ландшафтів необхідно впровадити такі заходи:

*Посилення екологічного законодавства.* Потрібно розширити систему екологічного контролю, збільшити відповідальність за екологічні порушення та забезпечити ефективне виконання природоохоронних норм.

Отже, управління екологічною безпекою України вимагає системного та комплексного підходу, що враховує як глобальні екологічні тенденції, так і специфіку місцевих природних умов. Для ефективного вирішення проблем, пов'язаних із антропогенними змінами ландшафтів, необхідно розробити та реалізувати довгострокові стратегії сталого розвитку, які охоплюють правове регулювання, інноваційні технології моніторингу, фінансову підтримку природоохоронних ініціатив та активну участь громадськості.

Впровадження запропонованих заходів дозволить мінімізувати негативний вплив людської діяльності на навколишнє середовище, сприятиме збереженню

природних ресурсів, покращенню екологічної ситуації та забезпечить стабільний розвиток країни у довгостроковій перспективі.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Сучасний стан екологічної безпеки України зумовлений комплексом факторів, серед яких одними з ключових є антропогенні зміни ландшафтів. Урбанізація, промислове та сільськогосподарське освоєння територій, неконтрольоване використання природних ресурсів призводять до деградації екосистем, зниження біорізноманіття та погіршення якості життя населення.

Наукові дослідження дозволяють визначити екологічно вразливі території та розробити рекомендації щодо їх раціонального використання. Зокрема, це стосується регулювання забудови, створення буферних зон між промисловими об'єктами та житловими кварталами, відновлення зелених насаджень у містах і збереження природних екосистем.

На основі проведених досліджень можна розробити та впровадити нові системи екологічного моніторингу. Використання супутникових даних, дронів, геоінформаційних систем (GIS) та біоіндикаторів дозволить оперативно відстежувати зміни в довкіллі, прогнозувати наслідки впливу людини та запобігати екологічним катастрофам.

Аналіз змін ландшафтів унаслідок антропогенного впливу може допомогти у впровадженні принципів сталого розвитку та переході до «зеленої» економіки. Зокрема, це включає розвиток екологічного сільського господарства, впровадження технологій енергоефективності, використання альтернативних джерел енергії та мінімізацію відходів.

### Література

1. Система екологічного управління: сучасні тенденції та перспективи розвитку [уклад. О. В. Шевчук]. Київ: ДЕА післядипломної освіти та управління, 2017. 120 с.
2. Екологічна безпека держави: тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, 20 квітня 2023 року. Київ: НАУ, 2023. 150 с.
3. Петренко І. М. Антропогенні зміни ландшафтів України та їх вплив на екологічну безпеку: монографія. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. 256 с.
4. Сидоренко О. В. Управління екологічною безпекою в умовах антропогенного навантаження на ландшафти: монографія. Дніпро: ДНУ, 2018. 312 с.
5. Коваленко Т. П. Екологічна безпека та сталий розвиток ландшафтів України: збірник наукових праць. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2019. 220 с.
6. Гончарук Л. В. Антропогенний вплив на ландшафти та шляхи його мінімізації: навчальний посібник. Одеса: ОНУ імені І. І. Мечникова, 2020. 180 с.
7. Мельник Р. С. Сучасні проблеми екологічної безпеки України в контексті антропогенних змін ландшафтів: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Тернопіль: ТНПУ, 2021. 200 с.
8. Дмитренко В. О. Моніторинг антропогенних змін ландшафтів та їх вплив на екологічну безпеку: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук. Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2017. 150 с.
9. Збірник наукових праць "Екологічна безпека та природокористування". Запоріжжя: ЗНУ, 2022. Вип. 30. 240 с.
10. Бойко М. П. Антропогенні ландшафти та їх екологічна безпека: монографія. Чернівці: ЧНУ імені Юрія Федьковича, 2015. 270 с.



## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАБРУДНЕНЬ АТМОСФЕРИ ТА КУМУЛЯТИВНИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ МІСТА ЧЕРКАСИ

Жицька Л.І.<sup>1</sup>, Хоменко О.М.<sup>1</sup>, Папач В.В.<sup>2</sup>, Видра Н.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет

бульв. Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси

<sup>2</sup>Державна установа «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб

Міністерства охорони здоров'я України»

вул. Захисників України, 3, 18005, м. Черкаси

zhytska\_lyudmila@ukr.net, o.khomenko@chdtu.edu.ua, vladimir.papah@gmail.com, vydra\_nataliia@ukr.net

Розглянуто актуальні питання щодо безпеки атмосферних забруднень та ролі автотранспорту у канцерогенних і неканцерогенних ризиках для здоров'я населення міста Черкаси. Обґрунтовано, що забруднення атмосферного повітря та накопичення в ньому забруднень, особливо високих рівнів SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>O, CO та ПАВ, спричиняє широкий спектр проблем зі здоров'ям респіраторної системи й смертності від хвороб органів дихання. В роботі використано результати особистого контролю атмосферних забруднень на території міста, які показали перевищення концентрацій деяких токсикантів у 25–50% відібраних проб. Зазначено, що антропогенне забруднення приземного шару канцерогенними сполуками, зокрема ПАВ на окремих територіях селітебних зон міста, може зумовити розвиток новоутворень, імуносупресивних станів організму, прискорити мутагенні зміни і призвести до скорочення тривалості життя людей. Проведені розрахунки на основі методики «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря» показують, що створюються умови з формування високих кумулятивних ризиків для здоров'я. Встановлено також чітку тенденцію щодо збільшення рівня захворюваності населення респіраторними та алергічними захворюваннями, мутагенних новоутворень. Акцентується увага на тому, що існуюча система контролю забруднень є недосконалою, а порушення умов дотримання безпечності картерних викидів, що містять ПАВ та інші токсичні речовини, в сучасних умовах становить загрозу екологічній безпеці. Така ситуація потребує встановлення суворих правил і чіткої організації системи контролю за їх дотриманням. Висвітлюються напрямки практичного застосування результатів дослідження. *Ключові слова:* екологічна безпека, забруднення атмосфери, кумулятивний вплив, канцерогенні та неканцерогенні ризики, динаміка захворювання, методи контролю.

**Environmental assessment of atmospheric pollution and cumulative risks to the health of the city Cherkasy. Zhytska L., Khomenko O., Papach V., Vydra N.**

The article considers topical issues of air pollution safety and the role of motor vehicles in carcinogenic and non-carcinogenic risks to the health of the population of Cherkasy. It is substantiated that air pollution and the accumulation of contaminants in the air, especially high levels of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>O, CO and PAH, causes a wide range of respiratory health problems and mortality from respiratory diseases. The paper uses the results of personal monitoring of atmospheric pollution in the city, which showed an excess of concentrations of some toxicants in 25–50% of the samples taken. It is noted that anthropogenic pollution of the surface layer with carcinogenic compounds, in particular, PAH in certain areas of the city's urban areas, can cause the development of neoplasms, immunosuppressive conditions of the body, accelerate mutagenic changes and lead to a reduction in human life expectancy. The calculations based on the methodology «Assessment of carcinogenic and non-carcinogenic risks to public health from chemical air pollution» show that conditions are being created for the formation of high cumulative health risks. There is also a clear trend towards an increase in the incidence of respiratory and allergic diseases and mutagenic tumors. It is emphasized that the existing pollution control system is imperfect, and violation of the conditions for compliance with the safety of crankcase emissions containing PAH and other toxic substances in the current conditions poses a threat to environmental safety. This situation requires the establishment of strict rules and a clear organization of a system to monitor compliance with them. The article highlights the areas of practical application of the research results. *Key words:* environmental safety, atmospheric pollution, cumulative impact, carcinogenic and non-carcinogenic risks, disease dynamics, control methods.

**Постановка проблеми.** Державна екологічна політика України завжди була спрямована на збереження навколишнього середовища, захист життя і здоров'я населення від негативного впливу забруднень, досягнення гармонії у взаємодії суспільства та природи, охорону і раціональне її використання та відновлення [1]. Одним із основних життєво важливих сегментів навколишнього середовища є атмосферне повітря. Незважаючи на те, що спостерігається тенденція до зменшення об'ємів викидів від стаціо-

нарних джерел забруднення та індексу забруднення атмосфери (ІЗА), якість повітря міст не стала кращою, а ризики для погіршення стану здоров'я населення зросли. Державою ухвалено цілий ряд нормативно-правових актів, зокрема Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 року № 827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» [2]. Також

у жовтні 2023 року набув чинності Закон України «Про систему громадського здоров'я» № 2573-IX, відповідно до статті 5 якого до заходів щодо захисту здоров'я та забезпечення санітарно-епідемічного благополуччя населення в системі громадського здоров'я віднесено здійснення державного нагляду (контролю) [3], особливо у промислових містах та густонаселених пунктах. До підвищення рівня забруднення повітря внесла свої корективи і військова агресія росії на території нашої країни, концентрація населення і особистого транспорту у місцях зосередження суб'єктів переселення.

Аналіз вітчизняної медико-демографічної ситуації висвітлює різні аспекти негативного впливу несприятливих факторів природного й антропогенного характеру в регіонах України на динаміку захворюваності, інвалідизації, тривалості життя та смертності населення. Забруднення атмосферного повітря та накопичення в ньому шкідливих речовин, особливо високих рівнів  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{O}$  та  $\text{CO}$ , спричиняє широкий спектр проблем зі здоров'ям респіраторної системи від її легкого подразнення до порушення функції легень й проявляється у зростанні показників захворювання на туберкульоз і смертності від хвороб органів дихання [4, 5]. Тому якість атмосферного повітря і здоров'я населення за рахунок оцінки показників канцерогенних і неканцерогенних ризиків та їх кумулятивної дії повинні стати пріоритетними у здійсненні програми екологічної безпеки населення.

**Актуальність дослідження.** Місто Черкаси відноситься до міст, у якому автотранспортні підприємства, промисловість та енергетика є основними забруднювачами атмосферного повітря. Не останнє місце у викидах забруднюючих речовин до атмосферного повітря займає переробна промисловість, експлуатація підприємств паливозабезпечення, приватний транспорт та АЗС [6], що призводить до концентрації забруднень і парникового ефекту в атмосфері. Окрім цього, антропогенне забруднення приземного шару канцерогенними сполуками, зокрема поліциклічними ароматичними вуглеводнями (ПАВ) на окремих територіях селітебних зон міста, може зумовити розвиток новоутворень, імунодепресивних станів організму, прискорити мутагенні зміни і призвести до скорочення тривалості життя людей [7]. Проведені міжнародною науковою спільнотою моніторингові та епідеміологічні дослідження доводять, що численні негативні ефекти для здоров'я, в тому числі захворювання та смерть від респіраторної та серцево-судинної патології, спричиняються саме забрудненням атмосферного повітря та обумовлені горінням палива на стаціонарних установках, технологічними процесами в промисловості та викидами автотранспорту [8–10]. В попередніх наших дослідженнях оцінено вплив викидів на здоров'я населення [11].

**Мета роботи.** Провести екологічну оцінку канцерогенних і неканцерогенних ризиків для здоров'я

населення внаслідок хімічного забруднення атмосферного повітря міста Черкаси.

**Методи дослідження.** Були використані загально-наукові підходи: аналіз, синтез, порівняння, оцінювання, узагальнення. Зокрема, дослідження проведено у декілька етапів: перший – проведення власних експериментальних досліджень щодо відбору проб повітря у атмосфері міста Черкаси на перехрестях вулиць із найбільшим транспортним рухом і лабораторного аналізу наявності хімічних речовин, що виконані впродовж 2022–2023 рр. за загальноприйнятими методиками, та розрахунки максимально – разових і середньодобових концентрацій забруднень [12]; другий – розрахунок канцерогенних і неканцерогенних ризиків відповідно до існуючих рекомендацій за методикою [13] (визначення коефіцієнту небезпеки, використовуючи рівні впливу й референтні концентрації забруднень,  $\text{мг/м}^3$ ) на основі отриманих результатів та імовірності розвитку неканцерогенних та канцерогенних ефектів внаслідок одночасного надходження в організм усіма можливими шляхами хімічних речовин, що мають схожий механізм дії (кумулятивний ризик); третій – узагальнення отриманих показників та їх порівняння з даними щодо захворюваності населення міста.

Для первинної підготовки таблиць та проміжних розрахунків використовували пакет Microsoft Excel.

**Новизна.** Вперше було використано методику розрахунку неканцерогенних і канцерогенних ризиків для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря саме для міста Черкаси та розглянуто причинно-наслідковий зв'язок забруднення атмосфери із зростанням первинних захворювань населення міста.

Результати дослідження можуть бути використані для пошуку шляхів скорочення об'ємів забруднювальних речовин в атмосфері, контролю транспортних викидів, формування комплексних комунікативних профілактичних програм стосовно співпраці між різними секторами та можливістю використання передових профілактичних заходів закладами охорони здоров'я, виявлення вагомості негативного впливу додаткових ризиків, пов'язаних, зокрема, з війною.

**Результати досліджень.** Контроль стану повітря міста відносять до ключових ланок існуючої системи моніторингу оточуючого середовища. Отримані ж, наразі, показники надають чітку інформацію стосовно рівня забрудненості цього важливого компонента довкілля, який в першу чергу, безпосередньо впливає на здоров'я великої маси населення. Для дослідження токсикантів у атмосфері по території міста було визначено 14 точок відбору відповідно до напрямків рози вітрів. Відібрані в трикратній послідовності за допомогою пересувних постів спостереження, проби досліджувались у лабораторії санітарно-гігієнічного контролю Державної установи «Черкаський обласний центр контролю та про-

філактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України», з використанням сучасних методів аналізу [2, 13–16]. Проводилась статистична обробка результатів досліджень, що представлені в таблиці 1.

Аналіз даних виявив перевищення максимально разових значень концентрацій забруднювачів за наявності формальдегіду, бензину і у деяких випадках за наявності оксидів нітрогену. Значення концентрацій

Таблиця 1

## Визначені показники концентрацій забруднень в атмосфері міста Черкаси

| Найменування точок відбору проб (перехрестя вулиць) | Інгредієнт        | ГДК <sub>мр</sub> , мг/м <sup>3</sup> | Результати дослідження шкідливих речовин, мг/м <sup>3</sup> |                         |                          |
|-----------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
|                                                     |                   |                                       | Середня концентрація                                        | Мінімальна концентрація | Максимальна концентрація |
| Проспект хіміків – Чорновола                        | Оксид карбону     | 5,0                                   | 3,0                                                         | 2,0                     | 5,0                      |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,03                                                        | 0,025                   | 0,035                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,010                                                       | 0,08                    | 0,12                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 6,0                                                         | 3,0                     | 8,0                      |
| Булвар Шевченка – Чорновола                         | Оксид карбону     | 5,0                                   | 4,00                                                        | 1,10                    | 7,00                     |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,03                                                        | 0,026                   | 0,039                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,10                                                        | 0,085                   | 0,12                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 4,00                                                        | 1,09                    | 7,0                      |
| Площа 700-річчя – булвар Шевченка                   | Оксид карбону     | 5,0                                   | 4,0                                                         | 1,09                    | 8,0                      |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,03                                                        | 0,025                   | 0,041                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,10                                                        | 0,08                    | 0,12                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 4,0                                                         | 1,09                    | 7,0                      |
| Смілянська – булвар Шевченка                        | Оксид карбону     | 5,0                                   | 3,00                                                        | 1,1                     | 7,0                      |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,032                                                       | 0,024                   | 0,038                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,09                                                        | 0,06                    | 0,011                    |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 4,0                                                         | 1,09                    | 7,00                     |
| Смілянська – Вернигори                              | Оксид карбону     | 5,0                                   | 2,0                                                         | 1,12                    | 5,00                     |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,03                                                        | 0,022                   | 0,043                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,03                                                        | 0,08                    | 0,12                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 3,00                                                        | 1,08                    | 7,00                     |
| Смілянська – Благовісна                             | Оксид карбону     | 5,0                                   | 4,00                                                        | 1,11                    | 8,00                     |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,032                                                       | 0,026                   | 0,039                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,09                                                        | 0,07                    | 0,12                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 4,00                                                        | 1,11                    | 8,00                     |
| Вулиця Сумгайтська 124/126                          | Оксид карбону     | 5,0                                   | 1,0                                                         | 1,12                    | 5,00                     |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,03                                                        | 0,023                   | 0,042                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,09                                                        | 0,07                    | 0,11                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 3,00                                                        | 1,08                    | 7,00                     |
| Перша міська лікарня – Дахнівська                   | Оксид карбону     | 5,0                                   | 1,0                                                         | 1,11                    | 5,00                     |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,03                                                        | 0,023                   | 0,042                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,09                                                        | 0,07                    | 0,11                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 3,00                                                        | 1,08                    | 7,00                     |
| Надпільна – Пастерівська                            | Оксид карбону     | 5,0                                   | 5,0                                                         | 2,12                    | 5,00                     |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,032                                                       | 0,024                   | 0,039                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,09                                                        | 0,07                    | 0,11                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 3,00                                                        | 2,00                    | 7,00                     |
| Припортова – Амброса                                | Оксид карбону     | 5,0                                   | 2,0                                                         | 1,08                    | 6,00                     |
|                                                     | Формальдегід      | 0,035                                 | 0,033                                                       | 0,022                   | 0,035                    |
|                                                     | Діоксид нітрогену | 0,20                                  | 0,07                                                        | 0,05                    | 0,11                     |
|                                                     | Бензин            | 5,0                                   | 3,00                                                        | 1,08                    | 6,00                     |

оксиду карбону на рівні гранично-допустимих концентрацій (ГДК). Разом із цим значення середньодобових концентрацій перевищують гранично – допустимі показники, що продемонстровано на рисунках 1–4.

Приведені рисунки засвідчують перевищення середньодобових концентрацій на вулицях промислового району міста, біля котелень, центру міста та

проспекту Хіміків, що межує з промисловими районами та деяких перехрестях вулиці Смілянської, що також є показником скупчення автотранспорту. Визначені концентрації показують, що є небезпечними для довкілля та здоров'я людей. У зоні їх короткострокового впливу люди можуть відчувати головний біль, нудоту, першіння у горлі, а також

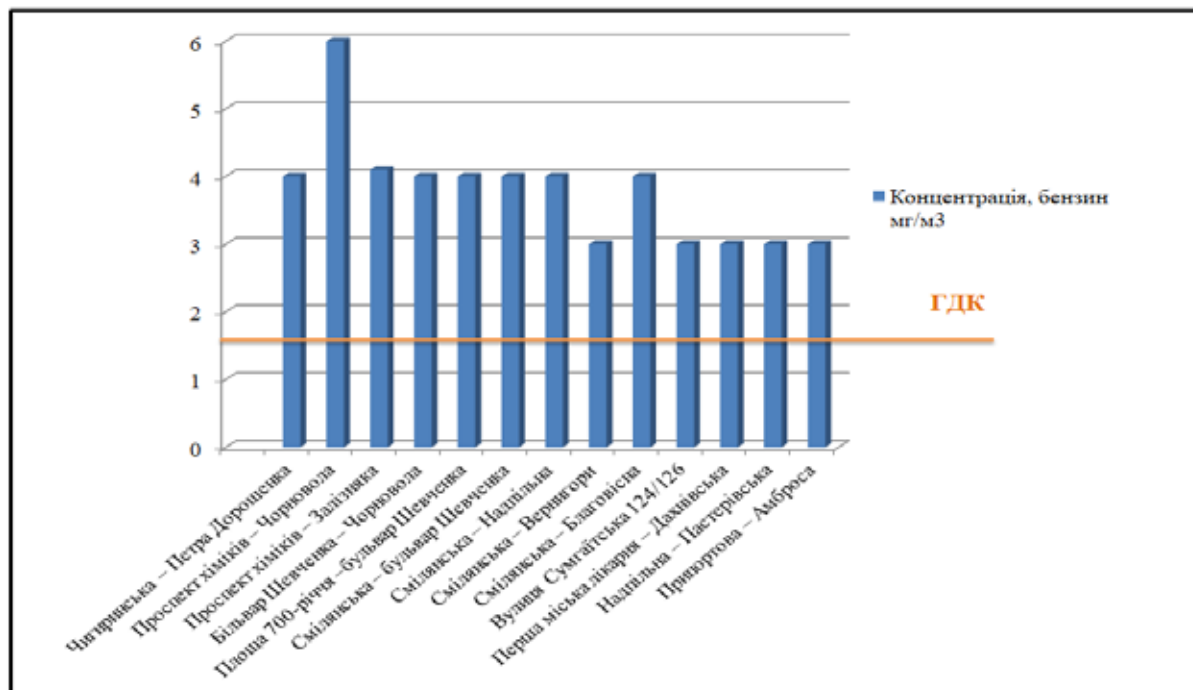


Рис. 1. Середньодобові концентрації бензину у повітрі міста Черкаси

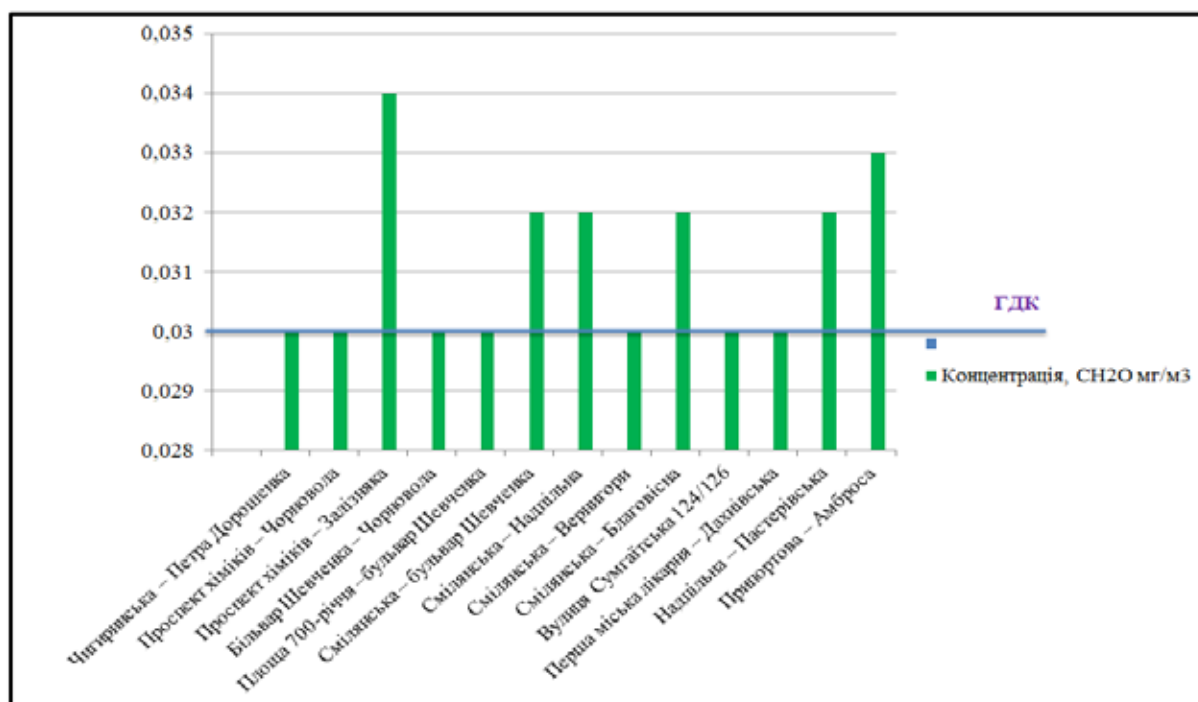


Рис. 2. Середньодобові концентрації формальдегіду у повітрі міста Черкаси

загострення хронічних респіраторних захворювань за умови перманентного впливу зазначених вище концентрацій. Окрім короточасних гострих станів, можуть створюватись умови й відтермінованого впливу, тобто наслідки у погіршенні здоров'я

людини, що проявляється через певний час. Тому важливо передбачати наслідки впливу на основі розрахунку канцерогенного та неканцерогенного ризиків для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря [13].

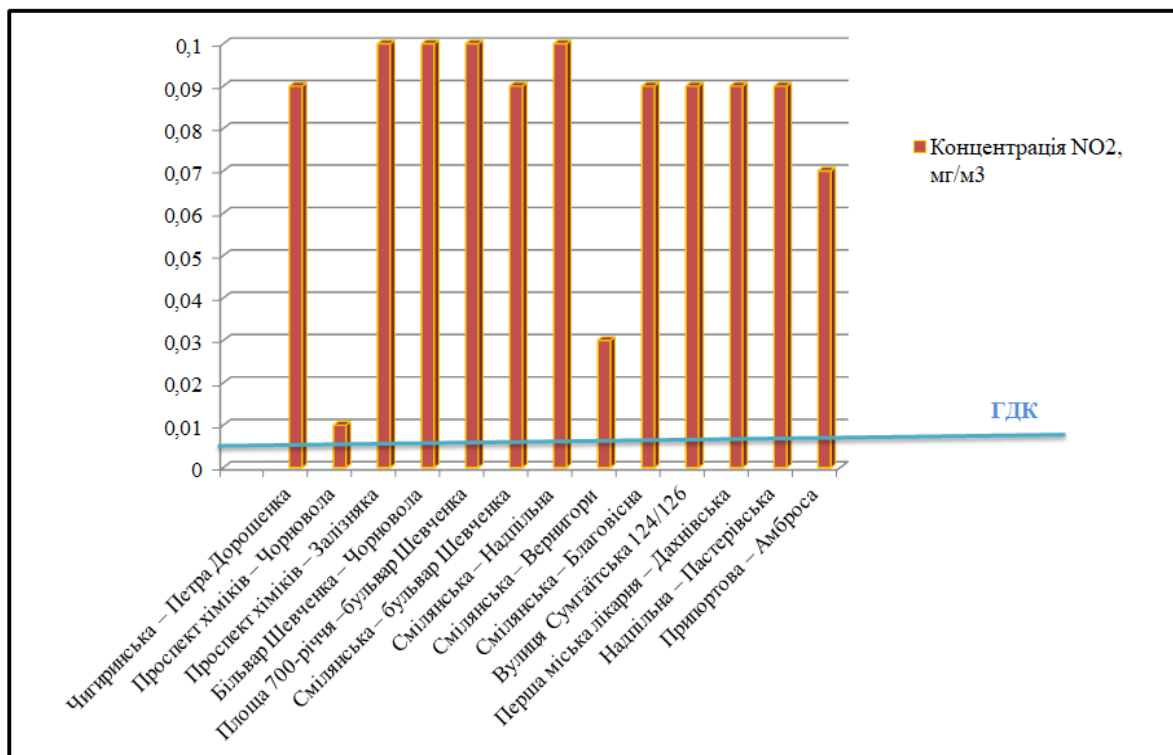


Рис. 3. Середньодобові концентрації діоксиду нітрогену у повітрі міста Черкаси

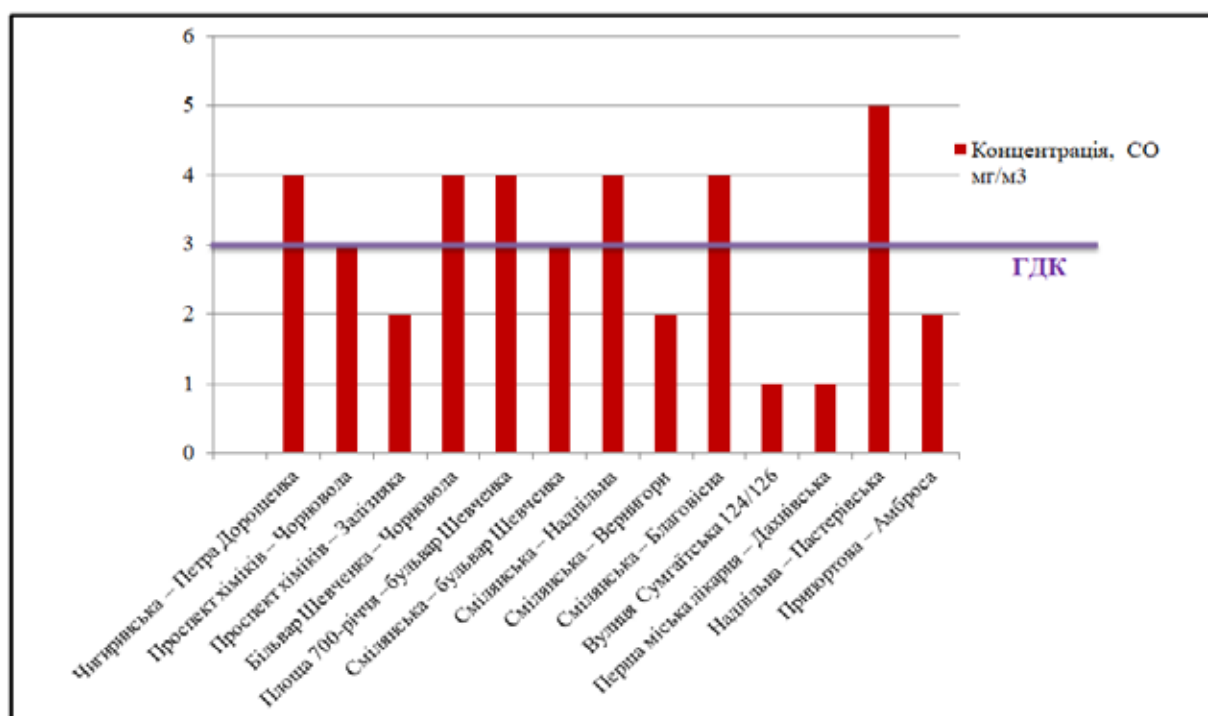


Рис. 4. Середньодобові концентрації оксиду карбону в повітрі міста Черкаси

Класифікація рівнів неканцерогенного ризику на основі середньодобових показників концентрацій за розрахованими коефіцієнтами небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів (HQ) для окремих сполук показує високі показники для  $\text{NO}_2$  і  $\text{CH}_2\text{O}$ . Показники коефіцієнтів для концентрацій бензину мають насторожуюче значення. Рівень неканцерогенних ефектів для зафіксованих концентрацій СО знаходиться в межах допустимого значення. Розраховані нами індекси небезпеки розвитку неканцерогенних ефектів (HI) для групи сполук односпрямованої дії представлено у таблиці 2.

Дані таблиці 2 показують, що особи, які знаходяться в зоні ураження накопиченими токсичним та шкідливими речовинами, до яких, зокрема, віднесено й  $\text{NO}_2$ , мають прямі та опосередковані наслідки для здоров'я. Оскільки під час вдихання ця речовина може легко проникати в організм і до 90% абсорбуватися кров'ю, що є потенційною загрозою для усіх функціональних систем організму. Від потрапляння в організм людини формальдегіду страждають імунна система й органи дихання [17, 18].

У загальному ці речовини впливають на обмін речовин у легенях, збільшують уразливість органів дихання до бактеріальних та вірусних інфекцій і підвищують ризики передчасної смертності.

Незважаючи на те, що така сполука як оксид карбону показала допустимі значення неканцерогенних ризиків за середньостатистичними показниками, проте визначені максимально – разові показники на окремих локаціях можуть негативно позначитись на здоров'ї мешканців. Адже монооксид карбону (чадний газ) проникає через тканини легень у кров й ускладнює постачання кисню до клітин людського організму. Вдихання його разом із повітрям, що містить високі концентрації цього компоненту, спричиняє різного роду реакції людського організму та тканинну гіпоксію. Токсичність цього газу пов'язують із окислювальним стресом для клітин, розвитком запальних процесів, що може призвести до зміни мітохондрій у клітинах, захворювань артерій,

підвищення чутливості органів дихання до впливу інших забруднювальних речовин тощо.

Викликає занепокоєння і той факт, що у атмосфері міста Черкаси виявлено значні концентрації парів бензину, при використанні якого та інших нафтопродуктів й багатокомпонентних природних сумішей, що використовуються автотранспортом та АЗС, в атмосферу можуть потрапляти ПАВ. Адже основна частина ПАВ належить до хімічних канцерогенів, що можуть індукувати злужкісні пухлини молочної залози, м'язових і сполучних тканин. До типових ПАВ також віднесено 7,12-диметилбензантрацен та бенз-(а)-пірен (БП), 20-метилхоланрен, 1,2,5,6-добензантрацен й сполуки, що мають гетероциклічні атоми нітрогену, наприклад 9-метил-3,4-бензакридин та 4-нітрохінолін-N-оксид. Тому їх визначення потребує особливої уваги.

Враховуючи це, нами були визначені також показники канцерогенних ризиків для здоров'я населення. А саме, розраховано середню добову дозу впливу канцерогена LADD на населення міста, де концентрація в атмосферному повітрі становить: формальдегіду – 0,003 мг/м<sup>3</sup>, бензину – 4,0 мг/м<sup>3</sup>.

Величину індивідуального канцерогенного ризику впливу цих концентрацій CR розраховано за формулою:

$$CR = LADD \cdot SF,$$

де SF – коефіцієнт інгалаційного впливу речовин, або фактор канцерогенного потенціалу, які використовуються для розрахунку (додаток 2 методики [14]) й характеризує ступінь розвитку канцерогенного ризику зі збільшенням діючої дози на одну одиницю.

Показник демонструє верхню, консервативну оцінку ризику канцерогенності за очікувану тривалість життя людини (70 років).

Розрахунок CR величини індивідуального канцерогенного ризику впливу концентрацій хімічних речовин, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря за показниками LADD – середніх добових

Таблиця 2

**Розрахунок сумарного неканцерогенного ризику впливу сполук (HI)  
на критичні органи та системи організму**

| Речовина                      | C, мг/м³                 | RfC, мг/м³ | HQ    | Критичні органи                |
|-------------------------------|--------------------------|------------|-------|--------------------------------|
| Азоту діоксид                 | 0,09                     | 0,04       | 3,75  | органи дихання                 |
| Вуглецю оксид                 | 4,0                      | 3,0        | 1,03  | Кров, нервова система          |
| Бензин                        | 4,0                      | 1,5        | 2,02  | печінка                        |
| Формальдегід                  | 0,03                     | 0,003      | 9,6   | Органи дихання, імунна система |
| Сумарні неканцерогенні ризики |                          |            |       | Рівень ризику                  |
|                               | HI загальне              |            | 16,4  | Високий                        |
|                               | HI кров, нервова система |            | 1,03  | Допустимий                     |
|                               | HI органи дихання        |            | 13,35 | Високий                        |
|                               | HI печінка               |            | 2,02  | Насторожуючий                  |

доз канцерогена, мг/(кг·доба) із врахуванням фактору канцерогенного потенціалу речовин відповідно до методики розрахунку показав високий, – неприйнятний для населення показник, що має значення  $>10^{-3}$ . Зокрема сумарний канцерогенний ризик  $CR_{\text{формальдегід+бензин}}$  становить  $3,9 \cdot 10^{-2}$ . Існує висока імовірність розвитку шкідливого ефекту впливу токсичних канцерогенних речовин внаслідок одночасного їх надходження в організм людини усіма можливими шляхами. Схожий механізм дії посилюється формуванням кумулятивного ризику, тому необхідно здійснення заходів із його усунення або зниження.

Аналіз динаміки первинного захворювання населення міста хворобами нервової системи, алер-

гічними захворюваннями та злоякісними новоутвореннями показав їх зростання за останні роки (рисунк 5).

Зростання рівнів первинного захворювання спостерігається також із захворювань системи кровообігу, органів дихання, хвороб шкіри та інших (рисунк 6).

Таким чином, забруднення атмосферного повітря діоксидом нітрогену, формальдегідом, монооксидом карбону та бензином прямо та опосередковано може бути причиною зростання випадків первинного захворювання мешканців міста Черкаси, а також впливати на рівень смертності від інфекційних і вірусних хвороб легеневої системи. Особливо

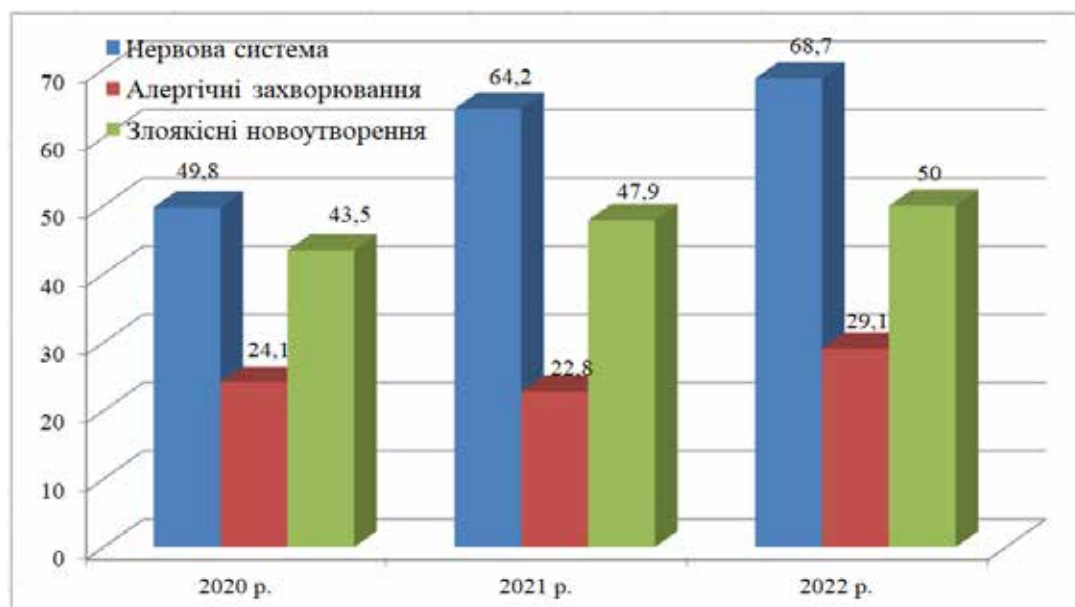


Рис. 5. Динаміка зростання рівнів первинного захворювання мешканців міста Черкаси, випадків на 10 тис. населення

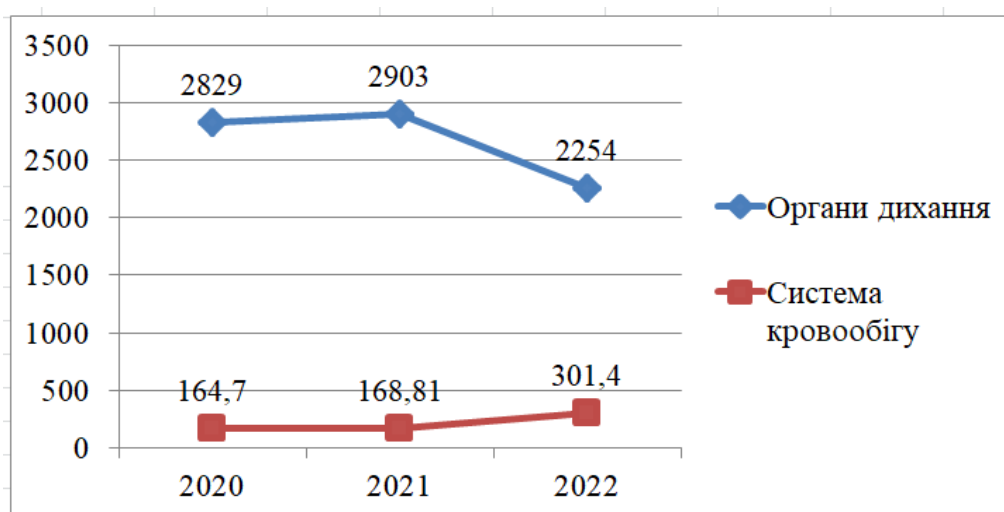


Рис. 6. Динаміка зростання рівнів первинного захворювання органів дихання та системи кровообігу населення міста Черкаси, випадків на 10 тис.

це стосується вразливої категорії населення, до якої належать немовлята, діти та літні люди.

Приведений аналіз динаміки захворюваності є своєрідним індикатором екологічного і соціального благополуччя людей, якості атмосфери міста та рівня антропогенного забруднення повітряного середовища. А розраховані показники неканцерогенних та канцерогенних ризиків для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря є свідченням несприятливого впливу на організм, що може підвищувати ймовірність виникнення захворювання чи смертності. Усунення таких ризиків сприятиме підвищенню рівня національної безпеки.

**Висновки.** Забруднення атмосферного середовища промисловими та автотранспортними викидами представляє останнім часом все більшу небезпеку через зростання ризиків неканцерогенного і канцерогенного впливу на здоров'я людей не тільки через зростання транспортних мереж та кількості автотранспорту, а й через військові дії на території нашої країни. В зв'язку з цим виникає необхідність дослідження рівня забруднення атмосферного повітря та оцінювання ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин.

Також досить актуальним є характеристика індексів небезпеки неканцерогенних ефектів із використанням інгалаційних ефектів референтних концентрацій забруднень для конкретного населеного пункту.

В роботі за показниками LADD – середніх добових доз канцерогена, мг/(кг·доба) з врахуванням фактору канцерогенного потенціалу речовин, визначено величину індивідуального канцерогенного ризику впливу концентрацій хімічних речовин CR – рівень якого класифікували як високий  $>10^{-3}$ , – неприйнятний для здоров'я населення показник. А сумарний кумулятивний канцерогенний ризик  $CR_{\text{формальдегід+бензин}}$   $3,9 \cdot 10^{-2}$  вказує на ймовірність розвитку новоутворень протягом життя людини, що обумовлено впливом потенційного канцерогена. Тому необхідно запровадження превентивних заходів для усунення або ж зниження ризику.

Отримані при дослідженні результати є основою для розробок природоохоронних рекомендацій відносно зменшення викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря міста, в першу чергу це стосується викидів пересувних джерел, та виявлення вагомості негативного впливу додаткових ризиків, пов'язаних, зокрема, з військовою агресією.

### Література

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. № 1264-XI/ Верховна Рада України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення 15.01.2025).
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 року № 827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря»/ Верховна Рада України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення 15.01.2025).
3. Закон України «Про систему громадського здоров'я» від 18.12.2024 р. № 2573-IX/ Верховна Рада України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#Text> (дата звернення 15.01.2025).
4. Мокієнко А.В., Гушук І.В. Щодо визначення детермінант здоров'я. *Актуальні питання громадського здоров'я та екологічної безпеки України (XX Марзєєвські читання): збірник тез доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю* (Київ, 24-25 жовтня 2024 р.). Київ: «Інтердрук», 2024. С. 47-48.
5. Давиденко Г.М., Петросян А.А. Дослідження забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилу: оцінка наслідків. *Вісник ВНМУ «Соціальна медицина, організація охорони здоров'я»*. 2017, № 1. Ч. 1 (Т.21). С. 165-168.
6. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2023 році/ *Управління екології та природних ресурсів Черкаської обласної державної адміністрації*. Черкаси, 2024. 227 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ck-oda.gov.ua/ekologiya/> (дата звернення 15.01.2025).
7. Черниченко І.О., Баленко Н.В., Литвиченко О.М., Бабій В.Ф., Главачек Д.О., Кондратенко О.Є. Вплив деяких хімічних канцерогенів довкілля на захворюваність на гормонозалежні пухлини та можливі механізми його реалізації. *Довкілля та Здоров'я*. 2021. № 2 (99). С. 44-55. <https://doi.org/10.32402/dovkil2021.02.044>.
8. Черниченко І.О., Баленко Н.В., Бабій В.Ф., Литвиченко О.М., Главачек Д.О., Кондратенко О.Є. Захворюваність на рак молочної залози і роль хімічних забруднювачів довкілля (аналіз даних літератури). *Довкілля та Здоров'я*. 2019. № 3 (92). С. 52-60.
9. Ковальов О.О., Ковальов К.О. Атмосферні канцерогени та рак під час війни в Україні. *Спеціалізований медичний портал* [Електронний ресурс]. 2023. 15 травня. Режим доступу: <https://health-ua.com/onkologiya-i-gematologiya/onkologiya/72757-atmosfern-kantserogeni-tarak-pdchas-vjni-vukran> (дата звернення 15.01.2025).
10. Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С. Вплив канцерогенних речовин на безпеку життєдіяльності молоді. *Проблеми формування здорового способу життя у молоді: зб. матеріалів XII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів з міжнар. участю* (Одеса, 03-05 жовтня 2019 р.). Одеса: ОНАХТ, 2019. С. 280-281.
11. Mislyuk O., Khomenko O., Yehorova O., Zhytska L. Assessing risk caused by atmospheric air pollution from motor vehicles to the health of population in urbanized areas Eastern-European. *Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 1 (10), 121, pp. 19-26 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274174>.
12. Перелік методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля, викидів, відходів і скидів, тимчасово допущених до використання Мінприроди. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/perelik\\_metodik\\_vikonannya\\_vimir-3-477206.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/perelik_metodik_vikonannya_vimir-3-477206.pdf)
13. Методичні рекомендації «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря». Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 18 жовтня 2023 року № 1811. – 11 с.



14. Державні медико-санітарні нормативи із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я № 953 від 03.06.2024 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0763-24#n9> та <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0763-24#Text> (дата звернення 15.01.2025).
15. Газоаналізатор з контролю забруднення атмосфери, модель КОЛІОН-1В-02. Настанова з експлуатації ЯРКГ 2.840.003-04 РЄ, 2006. 40 с.
16. РД 52.04.186-89. Настанова з контролю забруднення атмосфери. Чинний до 01.01.2025, наказ Державної служби України з надзвичайних ситуацій від 31.08.2017 № 473.
17. Чугай А.В., Колісник А.В., Дем'яненко О.В., Романенко С.Е. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони північно-західного Причорномор'я. *Вісник національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Екологія*. 2015. Вип. 13. С. 91-97.
18. Сніжко С., Шевченко О., Яценко Ю., Данілова Н. Особливості часових змін концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі міст України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2016. Вип. 2 (35). С. 24-29.

УДК 502.3:551.5(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.10>

## ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ПОВІТРЯНОМУ БАСЕЙНІ МІСТА ЖИТОМИР

Кагукіна А.М., Пацева І.Г.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

ke\_kham@ztu.edu.ua

У статті досліджено взаємозв'язок між метеорологічними параметрами та концентраціями забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир. Аналіз взаємозв'язку між температурою повітря та рівнем забруднюючих речовин є ключовим для розуміння механізмів формування та динаміки забруднення. На основі статистичного аналізу та оцінки кореляційних залежностей встановлено характер впливу температури повітря на концентрації різних забруднювачів. Виявлено позитивну кореляцію між концентрацією СО та температурою повітря ( $r = 0,30$ ), що вказує на тенденцію до збільшення вмісту СО при підвищенні температури. При цьому найбільша варіативність концентрацій СО спостерігається в діапазоні температур від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $20^{\circ}\text{C}$ , що пов'язано з повсякденною активністю міста. Для  $\text{NH}_3$  виявлено слабку позитивну кореляцію ( $r = 0,03$ ), що свідчить про незначний вплив температури на концентрацію цієї речовини. Незначну негативну кореляцію виявлено між температурою та концентрацією  $\text{NO}_2$  ( $r = -0,08$ ), що пояснюється інтенсифікацією викидів у холодний період року та особливостями атмосферних процесів, зокрема температурною інверсією. Дослідження дрібнодисперсних частинок показало наявність негативних кореляційних зв'язків з температурою для  $\text{PM}_{1.0}$  ( $r = -0,26$ ),  $\text{PM}_{2.5}$  ( $r = -0,33$ ) та  $\text{PM}_{10}$  ( $r = -0,31$ ). Ці залежності відображають сезонну специфіку забруднення та вплив метеорологічних умов на процеси розсіювання частинок. Зафіксовано підвищені концентрації дрібнодисперсних частинок при низьких температурах, що пов'язано з появою додаткових джерел викидів у зимовий період та особливостями атмосферних процесів.

Виявлені закономірності мають важливе практичне значення для розробки ефективних заходів з управління якістю повітря в місті. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення системи моніторингу атмосферного повітря, прогнозування рівнів забруднення при різних температурних умовах та планування природоохоронних заходів з урахуванням сезонних особливостей та метеорологічних факторів. Отримані дані також важливі для оцінки потенційних ризиків для здоров'я населення та розробки превентивних заходів щодо зменшення негативного впливу забруднюючих речовин. *Ключові слова:* метеорологічні параметри, забруднюючі речовини, температура повітря, атмосферне повітря, громадське здоров'я, кореляційні залежності, моніторинг якості повітря, СО,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{1.0}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ .

### Interrelation between meteorological parameters and pollutants in the air of Zhytomyr city. Kahukina A., Patseva I.

The article investigates the relationship between meteorological parameters and concentrations of pollutants in the air of Zhytomyr city. The analysis of the relationship between air temperature and pollutant levels is key to understanding the mechanisms of pollution formation and dynamics. Based on the statistical analysis and evaluation of correlation dependencies, the nature of the influence of air temperature on the concentrations of various pollutants is determined. A positive correlation between the CO concentration and air temperature ( $r = 0,30$ ) was found, indicating a tendency to increase the CO content with increasing temperature. At the same time, the greatest variability in CO concentrations is observed in the temperature range from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $20^{\circ}\text{C}$ , which is associated with the daily activity of the city. A weak positive correlation ( $r = 0,03$ ) was found for  $\text{NH}_3$ , which indicates that temperature has little effect on the concentration of this substance. A slight negative correlation was found between temperature and  $\text{NO}_2$  concentration ( $r = -0,08$ ), which is explained by the intensification of emissions in the cold season and the peculiarities of atmospheric processes, in particular, temperature inversion. The study of fine particles showed the presence of negative correlations with temperature for  $\text{PM}_{1.0}$  ( $r = -0,26$ ),  $\text{PM}_{2.5}$  ( $r = -0,33$ ) and  $\text{PM}_{10}$  ( $r = -0,31$ ). These dependencies reflect the seasonal specificity of pollution and the influence of meteorological conditions on the processes of particle dispersion. Increased concentrations of fine particles at low temperatures were recorded, which is associated with the emergence of additional sources of emissions in winter and the features of atmospheric processes.

The identified patterns are of great practical importance for the development of effective measures to manage air quality in the city. The results of the study can be used to improve the air monitoring system, predict pollution levels at different temperature conditions, and plan environmental protection measures taking into account seasonal features and meteorological factors. The data obtained are also important for assessing potential risks to public health and developing preventive measures to reduce the negative impact of pollutants. *Key words:* meteorological parameters, pollutants, air temperature, atmospheric air, public health, correlation dependencies, air quality monitoring, CO,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{1.0}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ .

**Постановка проблеми.** Забруднення атмосферного повітря в міських умовах є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності [1]. Особливої уваги потребує дослідження взаємозв'язку між метеорологічними параметрами та концентраціями забруднюючих речовин, оскільки це дозволяє краще розуміти механізми формування та розповсюдження забруднень у повітряному басейні міста. Місто

Житомир, як промисловий та транспортний центр, потребує детального вивчення цих взаємозв'язків для розробки ефективних заходів з покращення якості атмосферного повітря.

**Актуальність дослідження.** У сучасних умовах інтенсивної урбанізації та зростання антропогенного навантаження на довкілля особливої актуальності набуває дослідження якості атмосферного

повітря у містах та факторів, що впливають на його стан. Вивчення взаємозв'язку метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир є актуальним оскільки розуміння впливу температурних показників на концентрації різних забруднювачів, а саме  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  [2-3],  $\text{PM}_{1.0}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  дозволяє створити ефективну систему прогнозування потенційних ризиків для здоров'я населення та розробити комплекс превентивних заходів. Це особливо важливо для вразливих груп населення, які найбільше потерпають від забруднення атмосферного повітря. Виявлення кореляційних залежностей між метеорологічними умовами та рівнем забруднення має практичне значення для удосконалення системи екологічного моніторингу та оптимізації мережі спостережень за якістю повітря. Дослідження взаємозв'язку метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин дозволяє краще розуміти процеси формування та розсіювання забруднень у міському середовищі в умовах зміни клімату [4], що є необхідним для розробки ефективних заходів з покращення якості атмосферного повітря та захисту здоров'я населення [5].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження взаємозв'язку метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному середовищі міст є актуальним напрямком наукових досліджень, якому присвячено роботи вітчизняних та закордонних вчених [6-11]. Якість повітря в міських районах з часом погіршується через збільшення рівня розподілу забруднюючих речовин,

головним чином через антропогенну діяльність [8]. Атмосферні елементи взаємодіють із забруднювачами складними, багатовимірними способами, впливаючи на якість повітря [7]. Однак, особливості впливу метеорологічних параметрів на забруднення атмосферного повітря в конкретних міських умовах потребують додаткового вивчення, враховуючи локальні кліматичні особливості та специфіку джерел забруднення.

**Виклад основного матеріалу.** Проведено дослідження взаємозв'язку між температурними показниками та концентраціями забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Житомира на основі статистичного аналізу спостережень [12-18] та оцінки їх кореляційних залежностей. Таким чином, було виявлено важливі закономірності, що дають можливість створити якісні рекомендації для покращення якості атмосферного повітря міста.

Було виявлено (Рис. 1) позитивну кореляцію між концентрацією  $\text{CO}$  та температурою  $r = 0,30$ , що вказує на збільшення концентрації  $\text{CO}$  в повітрі та підвищенні температури. Таку тенденцію можна пояснити збільшенням температури повітря при збільшенні концентрації  $\text{CO}$  в атмосферному повітрі міста. Оскільки, коефіцієнт кореляції  $r = 0,30$ , це вказує на слабку позитивну кореляцію. Зв'язок між температурою та концентрацією  $\text{CO}$  існує, але він не є сильним. При низьких температурах від  $-10^\circ\text{C}$  до  $0^\circ\text{C}$  фіксуються низькі концентрації  $\text{CO}$ , також спостерігається менша розсіяність даних, що пов'язано зі зменшеною активністю джерел викидів

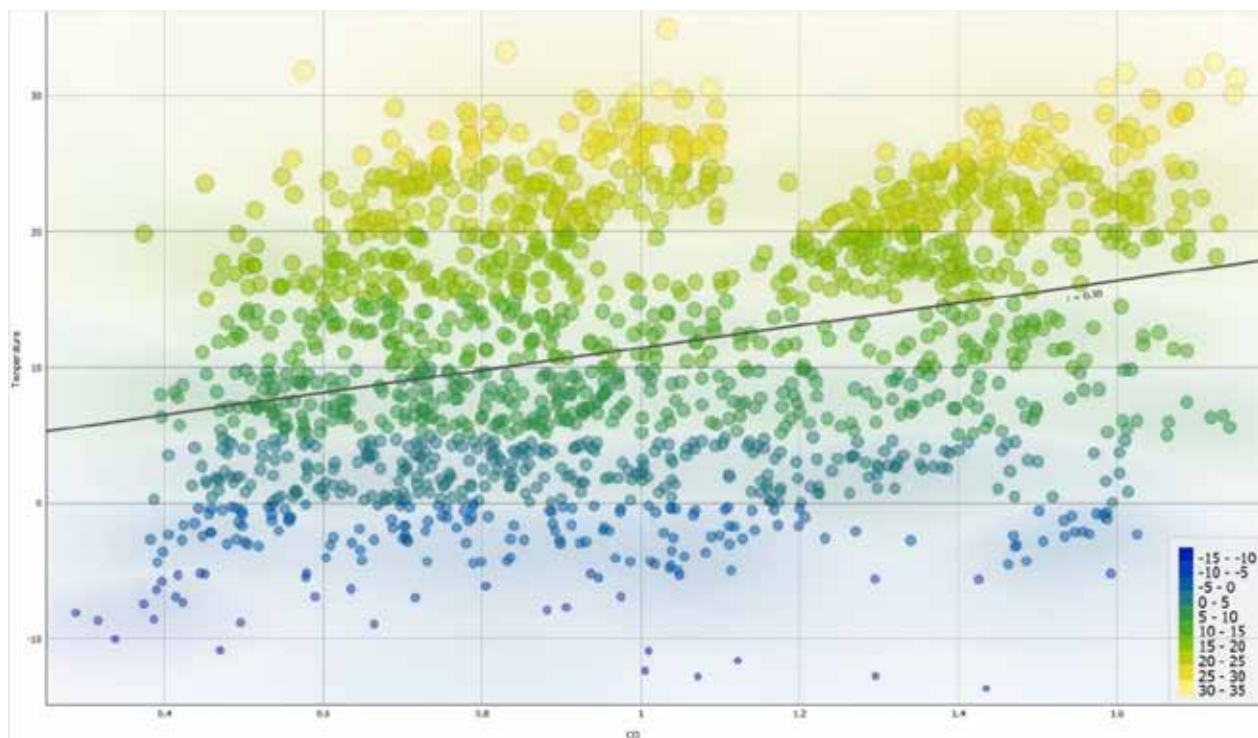


Рис. 1. Температурна динаміка  $\text{CO}$

та кращими умовами для розсіювання забруднень. В діапазоні температур від 0°C до 20°C зафіксовано найбільшу варіативність концентрацій CO, що є типовим явищем для умов міського середовища, через вплив повсякденної активності міста. Досліджено, що підвищені концентрації CO, переважно фіксовані при температурах повітря від 20°C до 35°C. Зумовленість збільшення розкиду концентрацій CO пояснюється, явищем інтенсифікацією міської активності. Підвищення температури може призводити до зміни швидкості хімічних реакцій в атмосфері, формування застійних явищ, можливе утворення острова тепла в місті. Високі температури збільшують ризик формування смогу.

На (Рис. 2) спостерігається слабка позитивна кореляція  $r = 0.03$  між концентрацією  $\text{NH}_3$  та температурою повітря. Таким чином, лінія регресії має незначний позитивний нахил. При низьких температурах, а саме від -10°C до 0°C спостерігається низька концентрація  $\text{NH}_3$ . При температурі 20-35°C є тенденція до збільшення концентрації  $\text{NH}_3$ . При дослідженні залежностей, також було виявлено, що як при низьких температурах, так і при високих температурах повітря можливі значні викиди  $\text{NH}_3$ . Виявлена слабка кореляція вказує, що температура повітря не є визначальним фактором концентрації  $\text{NH}_3$ . Причини появи викидів  $\text{NH}_3$  в атмосферне повітря міста можуть бути промислові викиди, транспортне навантаження, сільськогосподарська діяльність поблизу міста. В таких умовах підвищені

концентрації  $\text{NH}_3$  можуть призводити до погіршення якості повітря, утворення вторинних забруднювачів, негативного впливу на здоров'я населення, закислення опадів та порушення екологічного балансу міських екосистем.

При дослідженні залежностей концентрації  $\text{NO}_2$  та температури повітря (Рис. 3) було виявлено незначну негативну кореляцію  $r = -0.08$ . При збільшенні температури навколишнього середовища кількість  $\text{NO}_2$  знижується. В зимовий період підвищені концентрації  $\text{NO}_2$  можуть свідчити про опалення будинків, довший час роботи двигунів автомобілів. При низьких температурах повітря спостерігається температурна інверсія, яка є перешкодою для розсіювання  $\text{NO}_2$ . Таким чином, хімічні реакції розпаду  $\text{NO}_2$  взимку є повільнішими. В літній період зниження концентрації  $\text{NO}_2$  може забезпечуватися, за рахунок кращого вертикального перемішування повітря та активнішими фотохімічними реакціям розпаду  $\text{NO}_2$ . Також, зменшення рівня  $\text{NO}_2$  може відбуватися за рахунок більш інтенсивної вегетації рослин, які поглинають  $\text{NO}_2$ . Відповідно до виявленої закономірності, можна прогнозувати підвищений ризик респіраторних захворювань взимку та більше навантаження на вразливі групи населення в холодний період. Оскільки в зимовий період спостерігається підвищене навантаження на екосистему міста є ризик кислотних опадів. При певних погодних умовах можливе формування смогу. Все це буде мати вплив на біорізноманіття міста.

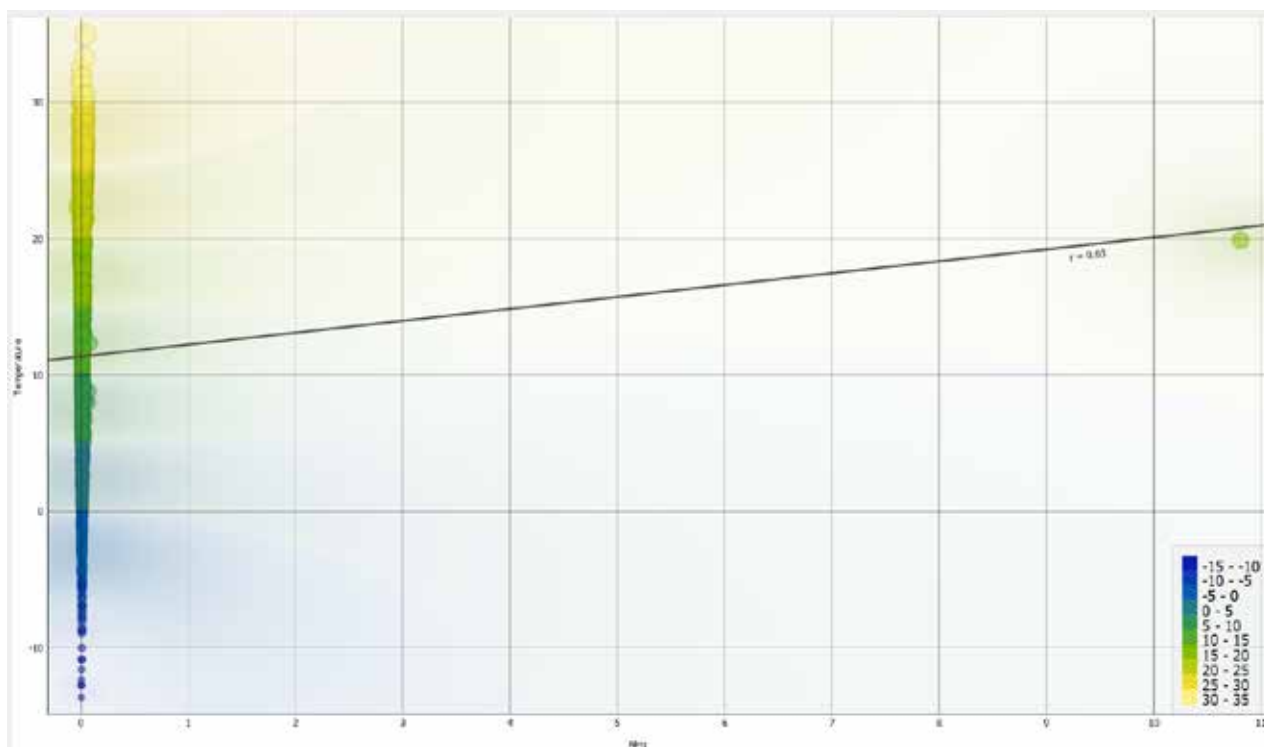
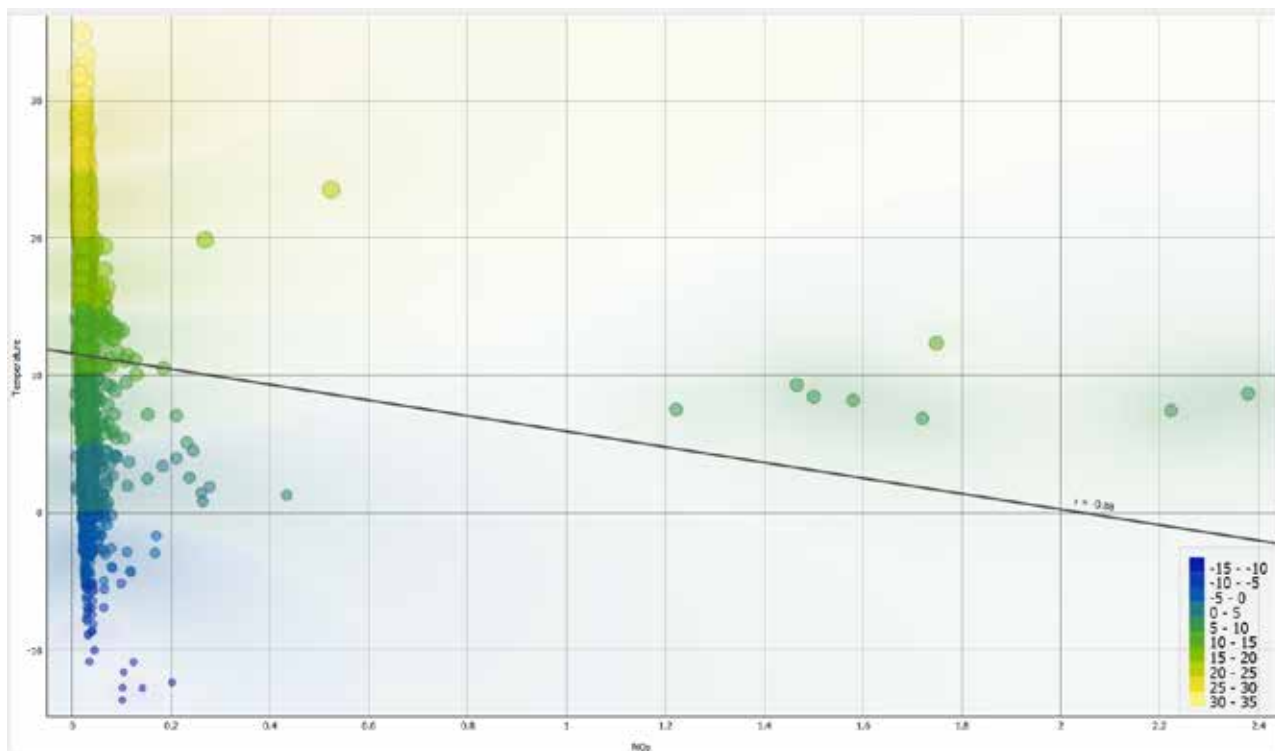


Рис. 2. Температурна динаміка  $\text{NH}_3$

Рис. 3. Температурна динаміка  $\text{NO}_2$ 

На (Рис. 4) спостерігається негативна кореляція  $r = -0,26$  між температурою повітря та концентрацією  $\text{PM}_{1.0}$ . Збільшені концентрації  $\text{PM}_{1.0}$  зафіксовані при низькій температурі повітря. Концентрації  $\text{PM}_{1.0}$  варіюються від 0 до  $100 \text{ мкг/м}^3$ . Зафіксовано випадки високих концентрацій більше  $50 \text{ мкг/м}^3$ , що вказує на ситуації, які потребують особливої уваги. Наявність високих концентрацій  $\text{PM}_{1.0}$ , а саме більше  $50 \text{ мкг/м}^3$  є ризиком виникнення захворюваності серед населення, а саме ризик респіраторних захворювань, серцево-судинних хвороб та появи алергічних реакцій.

На (Рис. 5) наявна негативна кореляція  $r = -0,33$  між температурою та концентрацією  $\text{PM}_{2.5}$  в повітряному басейні міста. Найбільша концентрація обох значень має середні показники. Наявні поодинокі випадки концентрацій  $\text{PM}_{2.5}$  більше  $40 \text{ мкг/м}^3$ . Високі концентрації  $\text{PM}_{2.5}$ , а саме більше  $60 \text{ мкг/м}^3$  зафіксовані при помірних температурах. Дану закономірність можна пояснити появою джерел спалювання в проміжний період, а саме осінь та весна.

На (Рис. 6) виявлено негативну кореляцію, коефіцієнт якої складає  $r = -0,31$ , що вказує на обернений помірний зв'язок. Зафіксовано надвисокі концентрації  $\text{PM}_{10}$  більше  $100 \text{ мкг/м}^3$  при помірних температурах повітря, який є характерним для осіннього та весняного періоду. Збільшені концентрації  $\text{PM}_{10}$  зафіксовано при низьких температурах, низькі концентрації  $\text{PM}_{10}$  зафіксовано при температурі  $15-30^\circ\text{C}$ .

Виявлені від'ємні кореляційні залежності свідчать про наявність фізичних процесів в атмосфері

міста. Низькі температури повітря, характеризуються появою температурних інверсій, що є перешкодою для розсіювання досліджуваних забруднювачів. Холодне повітря має більшу густину, через що відбувається накопичення дрібнодисперсних частинок у приземному шарі атмосферного повітря міста. При теплих періодах року, а саме літо, весна, осінь коли фіксуються показники повітря більше  $15^\circ\text{C}$ , тепле повітря перешкоджає перемішуванню та розсіюванню  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{1.0}$  та  $\text{PM}_{10}$ . Внаслідок підвищеного споживання енергії та опалення в холодний період року збільшується кількість викидів. Збільшується тривалість використання автомобільного транспорту. Через особливості природних умов взимку менша інтенсивність природних механізмів самоочищення атмосфери, знижується кількість фотохімічних реакцій. Внаслідок метеорологічної особливості при зниженій температурі повітря частіше був зафіксований штиль, що сприяло формуванню застійних явищ в атмосферному повітрі. Зафіксовано сезонну специфіку. Літній період має кращі умови для розсіювання дрібнодисперсних частинок, а зимовий період характеризується збільшеним забрудненням атмосферного басейну міста через появу додаткових джерел викидів. Від'ємні кореляційні зв'язки відображають комплексний вплив метеорологічних, антропогенних та природних факторів на концентрації  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{1.0}$  та  $\text{PM}_{10}$  в повітрі міста.

**Висновок.** У результаті проведеного дослідження взаємозв'язку метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні



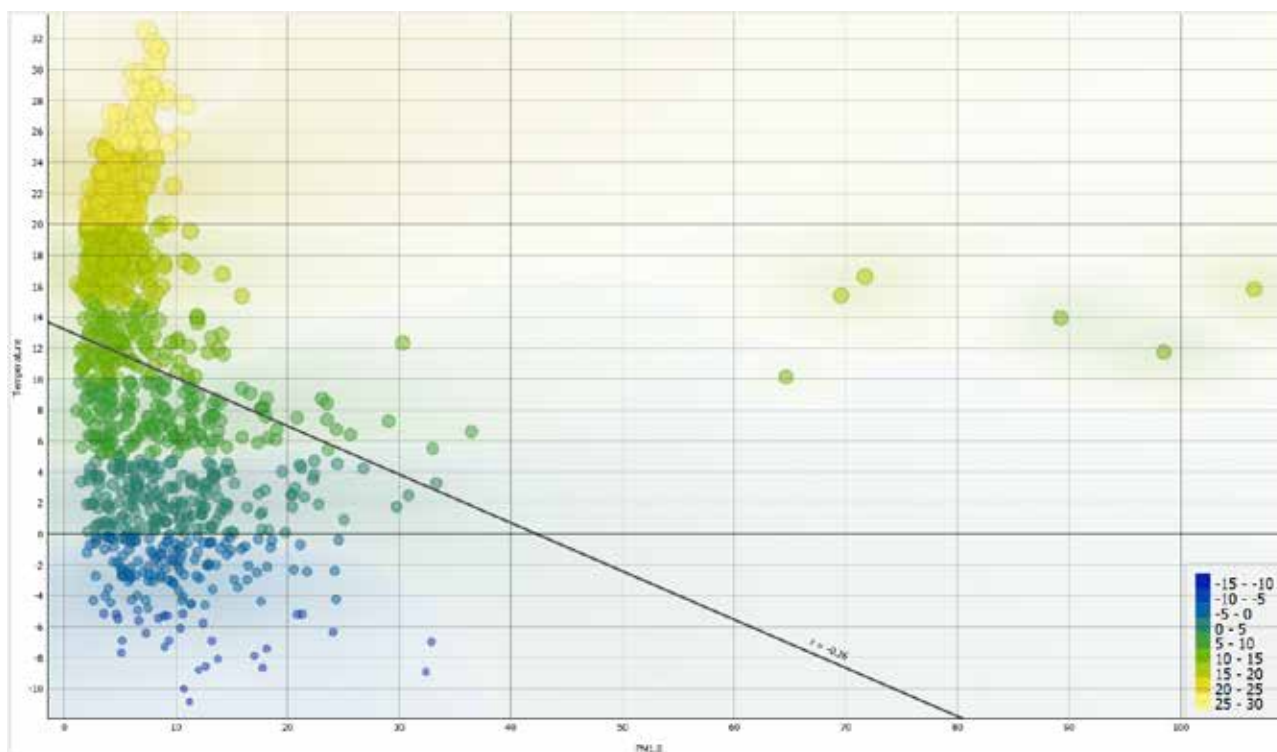


Рис. 4. Температурна динаміка PM1.0

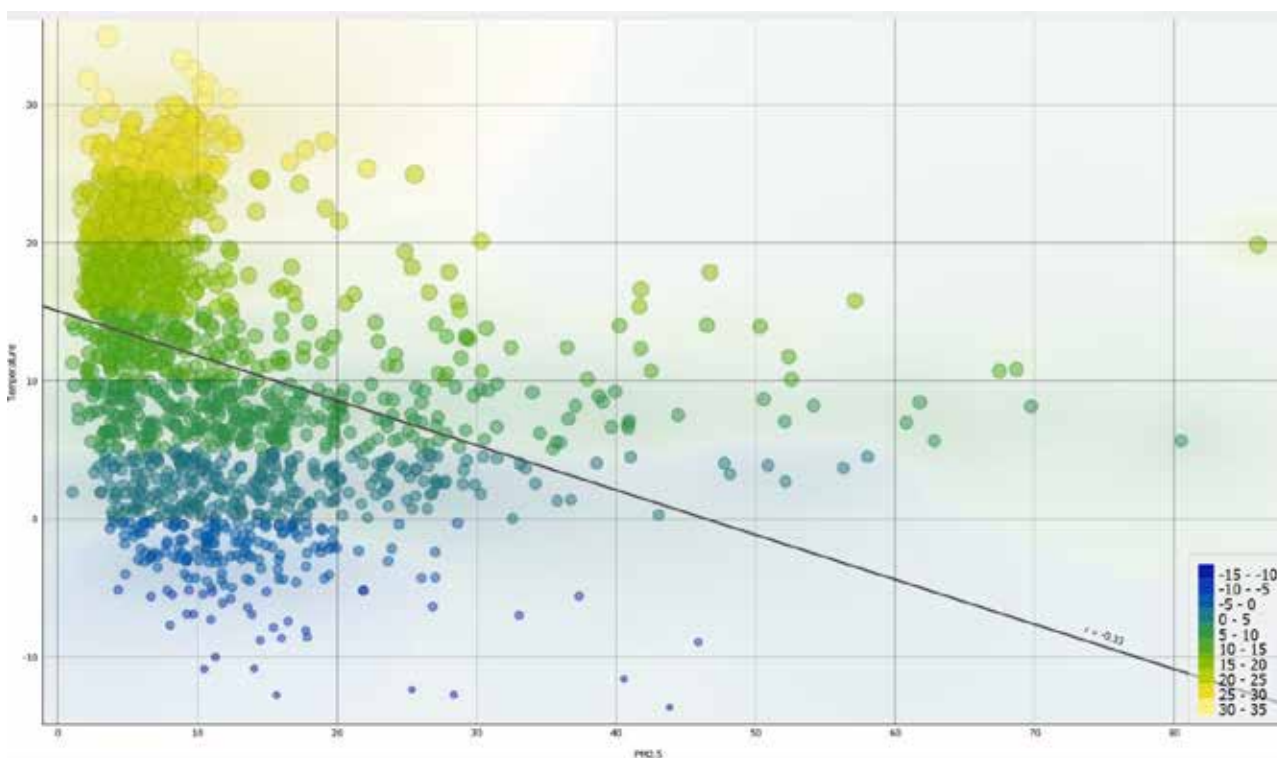


Рис. 5. Температурна динаміка PM2.5

міста Житомир було виявлено ряд важливих закономірностей. Встановлено позитивну кореляцію між концентрацією CO та температурою повітря, що вказує на тенденцію до збільшення концентрації CO

при підвищенні температури. Для  $\text{NH}_3$  та  $\text{NO}_2$  виявлено слабку позитивну кореляцію, що свідчить про незначний вплив температури на концентрацію цієї речовини. Дослідження дрібнодисперсних частинок

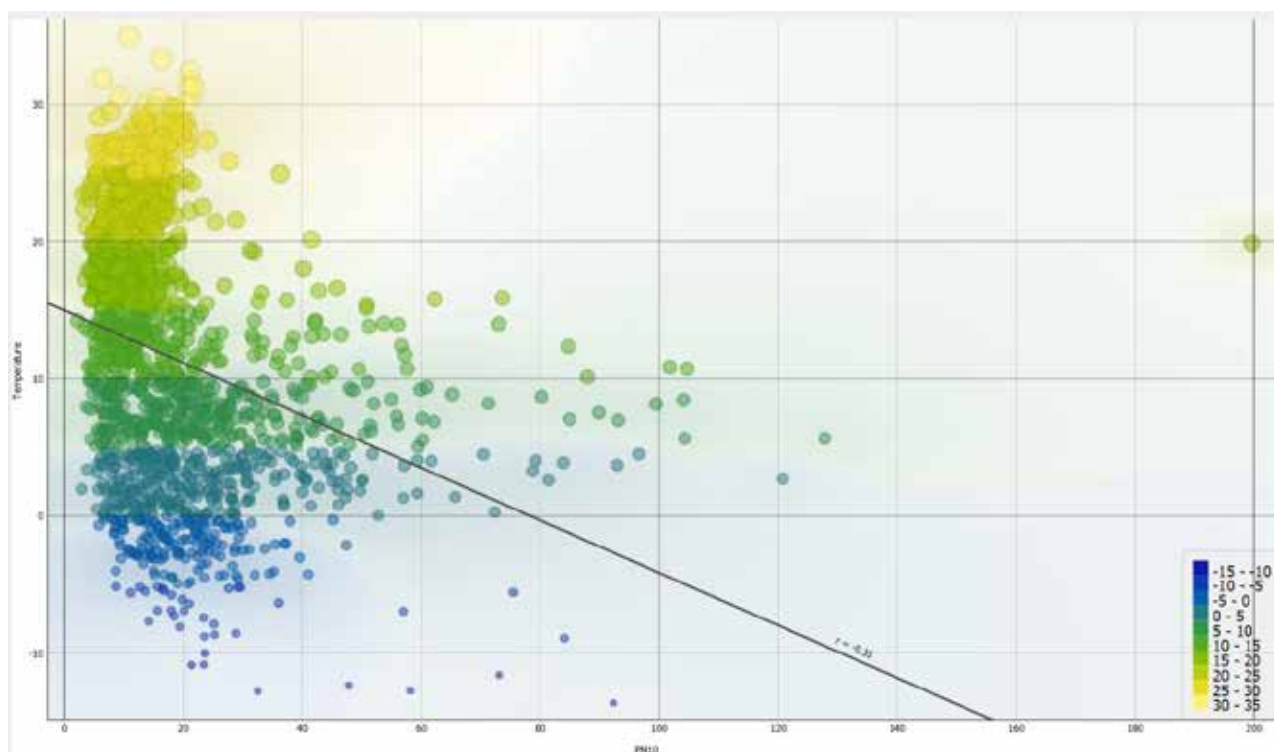


Рис. 6. Температурна динаміка PM10

показало наявність негативних кореляційних зв'язків з температурою для PM1.0, PM2.5 та PM10, що відображає сезонну специфіку забруднення та вплив метеорологічних умов на процеси розсіювання частинок.

Виявлені закономірності мають важливе практичне значення для розробки ефективних заходів з управління якістю повітря в місті. Зокрема, вста-

новлені кореляційні залежності дозволяють прогнозувати рівні забруднення при різних температурних умовах та планувати відповідні природоохоронні заходи. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення системи моніторингу атмосферного повітря та розробки стратегій зменшення забруднення з урахуванням сезонних особливостей та метеорологічних факторів.

### Література

1. Шевченко О. Г. Аналіз ролі метеорологічного потенціалу у формуванні забруднення атмосфери. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2007. № 54. С. 44-46.
2. Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Аналіз показників монооксиду вуглецю, діоксиду азоту та аміаку в повітряному басейні міста Житомир за даними громадського моніторингу повітря ECOSITY. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 3(54). С. 23-31.
3. 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.
4. Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156-159.
5. Негода Н.В., Жукова О.Г. Формування здоров'яорієнтованого міського простору як спосіб управління ризиками для здоров'я населення. *Екологічні науки*. 2023. № 5(50). С. 166-173.
6. Admasu Abawari, Yitagesu Elfaged. Impacts of some meteorological parameters on the characteristics of air quality over Ethiopia. *Journal of Physics Communications*. 2024. 8(12). DOI: 10.1088/2399-6528/ad9666
7. Ali, H. H., Wahab, B. I., Al-Hmeed, H. M. A Comprehensive air quality analysis in Karbala: Investigating the relationships between meteorological factors and pollutants across different landscapes. *Journal of Agrometeorology*. 2024 26(4), P. 401-410. <https://doi.org/10.54386/jam.v26i4.2665>
8. Shelton, Sherly, Liyanage, Gayathri, Jayasekara, Sanduni, Pushpawela, Buddhi, Rathnayake, Upaka, Jayasundara, Akila, Jaya sooriya, Lesty Dias. Seasonal Variability of Air Pollutants and Their Relationships to Meteorological Parameters in an Urban Environment. *Advances in Meteorology*. 2022. 5628911, 18 pages. <https://doi.org/10.1155/2022/5628911>
8. Кіптенко Є., Козленко Т. Вплив метеорологічних умов на забруднення повітря у промислових містах. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Т. 13. 2007. С. 208-215.
9. Боярин М. В., Нетробчук І. М., Волошин В. У. Вплив метеорологічних умов на рівень забруднення атмосфери ландшафтів Волинської області. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2016. Вип. 15. С. 58-66.

10. Шевченко О. Г. Аналіз ролі метеорологічного потенціалу у формуванні забруднення атмосфери. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Географія. 2007. № 54. С. 44-46.
11. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1005 513МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
12. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1007. 171 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
13. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1006 171 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
14. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1004 490 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
15. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1003 495 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
16. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1002 207 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
17. 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>



## УПРАВЛІННЯ РЕСУРСНО-ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ РЕГІОНУ В УМОВАХ РАДІОЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ ТА ОХОРОНИ ПРИРОДИ

Парахненко В.Г., Гончарук В.В., Подзерей Р.В.

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

вул. Садова, 2, 20300, м. Умань

[vladparachnenko@ukr.net](mailto:vladparachnenko@ukr.net), [gvitalii1975@gmail.com](mailto:gvitalii1975@gmail.com), [podzerej81@gmail.com](mailto:podzerej81@gmail.com)

Управління ресурсно-екологічною безпекою регіону є ключовим завданням для забезпечення сталого розвитку та збереження природних екосистем. Особливої уваги потребують регіони, що зазнали впливу радіоекологічних загроз, спричинених аваріями на атомних електростанціях, випробуваннями ядерної зброї або техногенними катастрофами. Радіаційне забруднення довкілля призводить до довготривалих негативних наслідків для здоров'я населення, деградації земельних ресурсів, зниження біорізноманіття та погіршення якості водних ресурсів.

Основними аспектами управління ресурсно-екологічною безпекою є моніторинг стану навколишнього середовища, оцінка ризиків, розробка та впровадження заходів зменшення радіоекологічного впливу. Важливе значення має впровадження сучасних технологій очищення ґрунтів та водних об'єктів, відновлення лісових екосистем та розробка механізмів мінімізації впливу радіонуклідів на сільськогосподарське виробництво.

Охорона природи в умовах радіоекологічних загроз вимагає комплексного підходу, який включає як технічні, так і соціально-економічні заходи.

Сучасна система управління ресурсно-екологічною безпекою повинна ґрунтуватися на принципах екологічної сталості, адаптивного управління та інноваційного розвитку. Успішна реалізація таких заходів сприятиме збереженню природних ресурсів, поліпшенню якості життя населення та створенню передумов для сталого розвитку країни [1]. *Ключові слова:* радіоекологічна безпека, моніторинг довкілля, відновлення екосистем, сталий розвиток, екологічне управління, охорона природи.

**Managing the resource and environmental security of the region in the context of radioecological threats and environmental protection. Parakhnenko V., Goncharuk V., Podzerei R.**

Managing the resource and environmental safety of a region is a key task for ensuring sustainable development and preserving natural ecosystems. Particular attention is required in regions that have been exposed to radioecological threats caused by accidents at nuclear power plants, nuclear weapons testing or man-made disasters. Radiation contamination of the environment leads to long-term negative consequences for public health, degradation of land resources, reduction of biodiversity and deterioration of water quality.

The main aspects of resource and environmental safety management include environmental monitoring, risk assessment, development and implementation of measures to reduce radioecological impact. It is important to introduce modern technologies for soil and water purification, restore forest ecosystems and develop mechanisms to minimise the impact of radionuclides on agricultural production.

Environmental protection in the context of radioecological threats requires a comprehensive approach that includes both technical and socio-economic measures.

A modern resource and environmental safety management system should be based on the principles of environmental sustainability, adaptive management and innovative development. Successful implementation of such measures will help to preserve natural resources, improve the quality of life of the population and create preconditions for sustainable development of the country [1]. *Key words:* radioecological safety, environmental monitoring, ecosystem restoration, sustainable development, environmental management, nature protection.

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах питання управління ресурсно-екологічною безпекою регіонів набуває особливої актуальності. Радіоекологічні загрози, що виникають унаслідок аварій на атомних електростанціях, військових випробувань та інших техногенних катастроф, мають довготривалий негативний вплив на довкілля, економіку та здоров'я населення. Внаслідок радіоактивного забруднення відбувається деградація природних ресурсів, знижується продуктивність сільськогосподарських земель, зникають окремі види фауни.

Проблема полягає в тому, що сучасні методи управління екологічною безпекою не завжди

є ефективними для ліквідації наслідків радіаційного забруднення. Необхідність розробки нових технологій очищення забруднених територій, моніторингу рівня радіації та розробки ефективних заходів захисту населення залишається відкритим питанням. Крім того, недостатній рівень фінансування природоохоронних програм і слабка нормативно-правова база ускладнюють реалізацію стратегій екологічної безпеки.

Ще одним важливим аспектом є недостатня поінформованість населення про ризики, пов'язані з радіоекологічними загрозами. Відсутність екологічної освіти та низька залученість громадськості до процесу ухвалення рішень щодо захисту довкілля

призводять до ігнорування екологічних проблем. Важливо впроваджувати програми підвищення екологічної свідомості та формувати культуру відповідального ставлення до використання природних ресурсів.

Сучасні виклики також включають зміни клімату, що можуть посилювати вплив радіоекологічних забруднень через зміну гідрологічного режиму, ерозію ґрунтів та поширення радіонуклідів на великі території. У цьому контексті актуальним стає застосування інтегрованого підходу до екологічного управління, який би враховував не лише ліквідацію наслідків радіаційного забруднення, але й адаптацію екосистем до нових умов.

Отже, управління ресурсно-екологічною безпекою в умовах радіоекологічних загроз вимагає комплексного підходу, що передбачає вдосконалення системи моніторингу довкілля, застосування сучасних технологій очищення, залучення громадськості та створення ефективної нормативно-правової бази. Лише через реалізацію таких заходів можна забезпечити екологічну рівновагу та сталий розвиток регіонів [2].

**Актуальність дослідження.** Управління ресурсно-екологічною безпекою регіонів в умовах радіоекологічних загроз та охорони природи є одним із найважливіших викликів сучасності. Радіаційне забруднення, спричинене аваріями на атомних електростанціях, військовими випробуваннями, техногенними катастрофами та нераціональним використанням ядерних технологій, створює серйозні екологічні, економічні та соціальні загрози. Унаслідок цього зростає ризик негативного впливу на здоров'я населення, деградації природних екосистем, зниження продуктивності сільськогосподарських земель та забруднення водних ресурсів.

Зміни клімату та посилення антропогенного навантаження на довкілля ще більше загострюють проблему радіоекологічної безпеки. Через ерозію ґрунтів, зміну рівня ґрунтових вод та поширення радіонуклідів на великі території стає складніше локалізувати та ліквідувати наслідки радіаційного забруднення. Водночас традиційні методи управління природними ресурсами не завжди є ефективними в умовах радіаційних загроз, що потребує впровадження нових підходів та технологій.

Актуальність дослідження також зумовлена необхідністю створення ефективних механізмів екологічного моніторингу, який би дозволив оперативно оцінювати рівень забруднення та розробляти відповідні стратегії зниження його впливу. Важливим є застосування сучасних технологій очищення територій, реабілітації забруднених екосистем, зменшення впливу радіонуклідів на сільськогосподарське виробництво та здоров'я людей.

Крім того, існує гостра потреба у вдосконаленні нормативно-правової бази, що регулює питання радіоекологічної безпеки та охорони довкілля.

Важливим завданням є розробка стратегій сталого розвитку регіонів, які передбачають баланс між економічним зростанням, раціональним використанням природних ресурсів та мінімізацією екологічних ризиків.

Таким чином, дослідження управління ресурсно-екологічною безпекою регіонів в умовах радіоекологічних загроз є вкрай важливим для розробки ефективних заходів мінімізації наслідків радіаційного забруднення, забезпечення стабільності природних екосистем і покращення якості життя населення [3].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження управління ресурсно-екологічною безпекою регіонів в умовах радіоекологічних загроз та охорони природи є надзвичайно актуальним як у науковому, так і в практичному контексті. Авторський доробок спрямований на вирішення низки важливих проблем, пов'язаних із оцінкою екологічних ризиків, впровадженням сучасних методів моніторингу радіоекологічного стану регіонів та розробкою стратегій мінімізації негативного впливу радіонуклідів на природні екосистеми та здоров'я людини.

З наукової точки зору, дослідження сприяє поглибленню теоретичних уявлень про механізми поширення радіоактивного забруднення, його довготривалі наслідки для екологічної рівноваги та можливі сценарії адаптації природних систем до радіаційного впливу. У роботі також висвітлюються інноваційні підходи до екологічного управління, що базуються на принципах сталого розвитку та адаптивного менеджменту природних ресурсів.

Практична значущість дослідження полягає у можливості застосування його результатів для розробки комплексних програм з охорони довкілля, екологічної реабілітації територій, що зазнали радіоактивного забруднення, а також для підвищення ефективності екологічної політики на державному та регіональному рівнях. Зокрема, авторський доробок може бути використаний для вдосконалення системи екологічного моніторингу, що дозволить оперативно оцінювати рівень радіаційної загрози.

Крім того, результати дослідження мають значення для вдосконалення законодавчої бази у сфері екологічної безпеки, впровадження сучасних технологій очищення забруднених територій та підвищення рівня екологічної свідомості населення. Важливим аспектом є також міжнародне співробітництво у сфері радіоекологічної безпеки, яке може ґрунтуватися на отриманих наукових висновках та практичних рекомендаціях [4].

Таким чином, авторський доробок є вагомим внеском у розвиток науки та практики управління ресурсно-екологічною безпекою, що сприятиме збереженню природного середовища, покращенню якості життя населення та забезпеченню сталого розвитку регіонів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика управління ресурсно-екологічною безпекою регіонів в умовах радіоекологічних загроз та охорони природи є предметом досліджень багатьох вітчизняних та зарубіжних учених. В останні десятиліття значна увага приділяється питанням оцінки впливу радіаційного забруднення на довкілля, розробці стратегій відновлення екосистем та впровадженню ефективних методів моніторингу радіаційного стану територій.

Зокрема, наукові роботи українських та міжнародних дослідників, присвячені наслідкам Чорнобильської катастрофи, містять важливі теоретичні та практичні аспекти зменшення негативного впливу радіонуклідів на природні системи та здоров'я людини. У працях вітчизняних учених, таких як Б. С. Патон, В. М. Шестопапов, С. І. Кривоуцький, досліджуються механізми міграції радіонуклідів у ґрунтах, водних ресурсах та біосфері, а також аналізуються способи їхньої дезактивації.

Значний внесок у вивчення проблеми радіоекологічної безпеки зробили зарубіжні дослідники, зокрема Т. М. Смолдерс, Р. Фернандес та А. М. Жуков, які розглядали методи відновлення ґрунтів і рослинності після радіаційного забруднення. У їхніх дослідженнях акцентується увага на біологічних підходах до фітореMediaції, а також на сучасних технологіях сорбційного очищення забруднених територій.

Окремий напрям досліджень пов'язаний з удосконаленням системи екологічного моніторингу. У роботах О. Г. Яворської, І. В. Ковальчука та Н. Л. Ситник аналізується ефективність використання дистанційного зондування Землі, автоматизованих систем контролю радіаційного фону та математичного моделювання процесів поширення радіонуклідів.

У міжнародних публікаціях значна увага приділяється впровадженню принципів сталого розвитку та адаптивного управління природними ресурсами в умовах радіоекологічних загроз. Наприклад, дослідження М. К. Дюрана та Г. Р. Петерсона стосуються проблем інтеграції екологічної політики з соціально-економічними аспектами розвитку регіонів, що зазнали радіаційного впливу.

Проте, попри значні досягнення в дослідженні цієї проблеми, залишається низка невирішених питань, зокрема щодо довготривалого впливу радіонуклідів на природні комплекси, оптимізації методів рекультивації земель та вдосконалення нормативно-правового регулювання екологічної безпеки. Це зумовлює необхідність подальших досліджень та розробки ефективних стратегій зменшення екологічних ризиків, пов'язаних із радіаційним забрудненням.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Актуальність дослідження управління ресурсно-екологічною безпекою в умовах радіоекологічних загроз та охорони природи зумовлена існуванням низки невирішених проблем, які потребують

наукового осмислення та практичного вирішення. У попередніх дослідженнях значну увагу приділено оцінці наслідків радіоактивного забруднення та впливу на здоров'я людей, проте залишаються частини проблеми, які не отримали достатнього дослідження або вимагають удосконалення існуючих підходів.

Однією з таких частин є розробка ефективних стратегій відновлення екосистем після радіоактивного забруднення. Хоча вчені приділяють увагу окремим методам очищення ґрунтів та вод, відновлення біорізноманіття та функціонування природних систем після тривалого радіаційного впливу залишається недостатньо вивченим. Потрібні додаткові дослідження щодо застосування інноваційних біотехнологій, таких як фітореMediaція та використання мікробіологічних засобів для очищення забруднених територій.

Іншою важливою невирішеною частиною є оптимізація системи моніторингу радіаційного фону на рівні регіонів. Незважаючи на значний розвиток технологій дистанційного зондування та автоматизованих систем моніторингу, відсутня ефективна інтеграція цих даних у єдину базу, яка б дозволяла оперативно реагувати на зміни в екологічному стані територій, що піддаються радіоекологічним загрозам. Дослідження в цій галузі повинні зосередитися на вдосконаленні інтерфейсів між різними інформаційними системами та на удосконаленні методів прогнозування наслідків радіаційного забруднення [5].

Не менш важливим є вдосконалення законодавчої та нормативно-правової бази, що регулює питання радіоекологічної безпеки. Попри наявність міжнародних конвенцій і національних стандартів, в деяких країнах (зокрема в Україні) існує значна прогалина в законодавстві, що стосується реагування на радіаційні катастрофи, контролю за радіоактивними відходами та відновлення екосистем. Потрібні додаткові дослідження для розробки рекомендацій щодо вдосконалення цієї нормативно-правової системи та забезпечення її гармонізації на міжнародному рівні.

Однією з невирішених частин є вивчення довгострокового впливу радіоактивних речовин на здоров'я людей і екосистеми. Багато досліджень обмежуються короткотерміновими наслідками радіоактивного забруднення, однак для розробки комплексних стратегій по збереженню здоров'я та охороні природних ресурсів необхідно більше уваги приділяти вивченню хронотипових змін і віддалених наслідків для здоров'я, біорізноманіття та економіки.

Створення інтегрованих підходів до управління природними ресурсами в умовах радіоекологічних загроз є ще однією складною та маловивченою проблемою. Це включає в себе розробку моделей сталого розвитку, які б дозволяли поєднувати ефективне використання природних ресурсів з вимогами екологічної безпеки в умовах радіоактивного забруднення.

Таким чином, означена стаття орієнтується на вирішення вищезгаданих невіршених частин проблеми управління ресурсно-екологічною безпекою, що створює нові можливості для подальших наукових і практичних досягнень у сфері охорони природи та запобігання радіоекологічним загрозам.

**Новизна:** є дослідження пропонує інтеграційну модель управління, що поєднує екологічний моніторинг, стратегічне планування та адаптивне управління природними ресурсами в умовах радіоекологічних загроз.

Вперше запропоновано комплексну систему цифрового моніторингу та моделювання екологічних ризиків, що ґрунтується на штучному інтелекті, великих даних та супутникових знімках [6].

#### **Методологічне або загальнонаукове значення.**

Дослідження сприяє розвитку наукових підходів до управління ресурсно-екологічною безпекою регіонів, що зазнали радіоекологічного впливу. Запропоновані методи інтегрують принципи сталого розвитку, екоадаптації та екосистемного управління. Дослідження обґрунтовує ефективні механізми прийняття управлінських рішень у сфері екологічної безпеки на основі системного аналізу, прогнозування та адаптивного планування.

**Виклад основного матеріалу.** Управління ресурсно-екологічною безпекою регіону в умовах радіоекологічних загроз та охорони природи є одним із ключових напрямів екологічної політики та стратегічного розвитку територій. Сучасні виклики, пов'язані з радіаційним забрудненням, вимагають розробки ефективних методів оцінки, прогнозування та мінімізації ризиків для навколишнього середовища і населення. Вплив радіоекологічних загроз охоплює широкий спектр проблем, включаючи деградацію екосистем, зниження продуктивності ґрунтів, зміну біорізноманіття та негативний вплив на здоров'я людей.

Одним із головних завдань є створення системи моніторингу екологічного стану регіону, яка базується на використанні сучасних технологій, зокрема супутникових знімків, геоінформаційних систем (ГІС) та автоматизованих сенсорних мереж. Моніторинг дає змогу вчасно виявляти зміни у навколишньому середовищі та приймати оперативні рішення щодо запобігання екологічним катастрофам. Оцінка ризиків радіаційного забруднення здійснюється на основі математичного моделювання, що дозволяє прогнозувати розповсюдження радіонуклідів та їхній вплив на екосистеми.

Важливим напрямом є впровадження заходів екологічної реабілітації територій, які зазнали впливу радіоекологічного забруднення. До таких заходів належать біоремедіація, що передбачає використання мікроорганізмів для очищення ґрунтів і вод, а також фіторемедіація – висаджування рослин, здатних поглинати та нейтралізувати радіонукліди. Крім того, важливу роль відіграє рекультивація земель,

що передбачає їхнє повторне залучення до господарського використання після відповідного очищення та відновлення.

Економічні аспекти управління ресурсно-екологічною безпекою включають розробку механізмів стимулювання екологічно безпечних технологій та підприємств, що сприяють зменшенню техногенного навантаження на довкілля. Державна підтримка, податкові пільги та грантові програми можуть стати ефективними інструментами залучення бізнесу до впровадження «зелених» технологій. Також важливо розвивати екологічне страхування, яке забезпечить фінансову підтримку підприємствам та громадам у разі виникнення екологічних надзвичайних ситуацій [7].

Охорона природи в умовах радіоекологічних загроз передбачає реалізацію заходів із збереження природних екосистем та відновлення біорізноманіття. Одним із ключових напрямів є створення природоохоронних зон та екологічних коридорів, які допомагають зменшити вплив радіаційного забруднення на флору та фауну. Важливу роль відіграє збереження водних ресурсів, адже радіонукліди можуть проникати у підземні та поверхневі води, що становить загрозу для питного водопостачання та сільського господарства.

Державне регулювання екологічної безпеки має базуватися на науково обґрунтованих підходах і міжнародних стандартах. Важливим завданням є розробка національних програм радіоекологічної безпеки, які включають заходи щодо запобігання, моніторингу та ліквідації наслідків радіаційного забруднення. Співпраця з міжнародними організаціями та використання світового досвіду дозволяє підвищити ефективність управління ресурсами та природоохоронною діяльністю.

Соціальний аспект екологічної безпеки передбачає підвищення рівня екологічної культури та обізнаності населення. Організація освітніх програм, проведення тренінгів і залучення громадськості до природоохоронних ініціатив сприяє формуванню екологічно відповідального суспільства. Важливою складовою є також залучення місцевих громад до процесу прийняття рішень щодо управління природними ресурсами та екологічної політики.

Таким чином, управління ресурсно-екологічною безпекою регіону в умовах радіоекологічних загроз є складним, багатограним процесом, що потребує комплексного підходу. Впровадження інноваційних технологій, посилення державного контролю, стимулювання екологічно орієнтованої економіки та залучення громадськості до процесу прийняття рішень дозволить забезпечити стабільний екологічний стан регіону та сприяти його сталому розвитку.

**Головні висновки.** Управління ресурсно-екологічною безпекою регіону в умовах радіоекологічних загроз є одним із найважливіших завдань сучасної екологічної політики. Радіоактивне забруднення

чинить значний вплив на природні екосистеми, здоров'я населення та соціально-економічний розвиток регіонів, що вимагає комплексного підходу до його оцінки, прогнозування та мінімізації наслідків.

Крім того, ключовими елементами стратегії забезпечення ресурсно-екологічної безпеки є державне регулювання, міжнародне співробітництво, розвиток «зеленої» економіки та залучення громадськості до ухвалення екологічних рішень. Важливим аспектом є підвищення рівня екологічної культури населення та стимулювання екологічно безпечних ініціатив у сфері підприємництва [8].

Таким чином, управління ресурсно-екологічною безпекою регіонів, що зазнали радіоекологічного впливу, потребує комплексного, міждисциплінарного підходу. Використання сучасних технологій, науково обґрунтованих рішень та міжнародного досвіду дозволить мінімізувати екологічні ризики, спри-

яти відновленню природного середовища та забезпечити сталий розвиток територій.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження з управління ресурсно-екологічною безпекою регіонів у контексті радіоекологічних загроз та охорони природи можуть бути широко використані в науковій, практичній та управлінській діяльності.

Практичне впровадження заходів біоре mediaції, рекультивації земель, створення природоохоронних зон та екологічних коридорів сприятиме збереженню біорізноманіття та стабілізації екосистем.

Використання екологічно чистих технологій у промисловості та сільському господарстві, впровадження економічних механізмів стимулювання сталого розвитку, таких як екологічне страхування та «зелені» інвестиції, дозволить підвищити екологічну безпеку регіонів.

### Література

1. Радіоекологія: навч.-метод. посіб. для студ. денної форми навч. напряму підготов. 101 «Екологія» (освітній ступінь «бакалавр») МОН України, Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини; уклад. Парахненко В. Г., Мандебура С. В. Умань: Візаві, 2024. С. 199.
2. Забезпечення екологічної безпеки: підручник. М. В. Сарапіна В. А. Андронов С. Р. Артем'єв О. В. Бригада О. В. Рибалова. Х.: НУЦЗУ, 2019. 246 с.
3. Грицик В. Екологія довкілля. Охорона природи: навч. Посібник. Грицик В., Канарський Ю., Бедрій Я. Київ: Кондор, 2009. 292 с.
4. Клименко М. О., Клименко О. М., Клименко Л. В. К49 Радіоекологія: підручник. Рівне: НУВГП, 2020. 304 с.
5. Парахненко В. Г., Голуб Б. В. Особливості радіоекологічного моніторингу ґрунтів. Наука і техніка сьогодні: (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка», Серія «Фізико-математичні науки», Серія «Техніка»): 2024. Вип. № 6(34), С. 1017-1025.
6. Вітенко, В. А., Миколайко, В. П., Подзерей, Р. В., Парахненко, В. Г., Пясецький, П. І., Моргун, А. В. Аналіз дендрофлори Дослідної станції тютюнництва ННЦ «ІЗ НААН»; України. Науковий вісник НЛТУ України: збірник наукових праць. Львів, 2024. Вип. 34(1), 14-19.
7. Парахненко В. Г., Гончарук В. В., Кирпичова І. В., Березенко К. С. Організація і просторовий розподіл живих систем у біоценозах. Наука і техніка сьогодні: (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка», Серія «Фізико-математичні науки», Серія «Техніка»): 2024. Вип. № 9(37). С. 754-762.
8. Парахненко В. Г., Благополучна А. Г., Голуб Б. В. Екологічні групи рослин за відношенням до світла. Наука і техніка сьогодні: (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія «Економіка», Серія «Фізико-математичні науки», Серія «Техніка»): 2024. Вип. № 7(35), С. 916-924.

УДК 504.064

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.12>

## ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ ЗА ПРОДУКТИВНІСТЮ (ЕФЕКТИВНІСТЮ) ЇХ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Руденко С.В.<sup>1</sup>, Руденко В.П.<sup>2</sup><sup>1</sup>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро<sup>2</sup>Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
вул. Коцюбинського, 2, 58002, м. Чернівці

rudenkostepan@gmail.com, v.rudenko@chnu.edu.ua

Розглядаються проблеми взаємодії економічної і територіальної продуктивності (ефективності) природно-ресурсного потенціалу (ПРП) екосистем України. Величина ПРП на одиницю площі визначається як територіальна продуктивність потенціалу екосистем, цей же показник, розрахований на душу населення, – відображає економічну продуктивність ПРП екосистем. За економічною продуктивністю ПРП першими (у порядку спадання) є Нижньобузько-Дніпровська низовинна (360 балів) область, Закарпатсько-Донецька провінційна екосистема (335 балів), Старобільська схилово-височинна, Орільсько-Самарська низовинна, Центральнокримська височинна, Гірсько-Кримська та Тарханкутська височинна (212 балів) області. З протилежного боку (у порядку спадання) – Передгірно-Кримська (47 балів), Середньобузька височинна (45 балів), Приазовська низовинна, Південнобережно-Кримська, Харківська схилово-височинна, Київська височинна та Дністровсько-Бузька низовинна (31 бал) області. Стверджується, що дещо меншими за амплітудою, проте, все ж істотними є оцінки територіальної продуктивності (ефективності) ПРП екосистем України. Найвищу територіальну продуктивність ПРП мають Південнобережно-Кримська (360 балів), Донецька височинна (320 балів), Гірсько-Кримська області, Кримські гори, Кримська гірська провінційна екосистема (275 балів), Донецька провінційна екосистема, Передгірно-Кримська (229 балів) області. У той же час найнижчі рівні територіальної продуктивності характерні для (у порядку спадання): Задністровсько-Причорноморської низовинної (57 балів), Нижньодніпровської терасово-дельтової низовинної (56 балів), Обл. Київського Полісся, біому – Зони мішаних лісів та Поліської провінційної екосистеми, Обл. Житомирського Полісся (52 бали) та Обл. Волинського Полісся (39 балів). Обґрунтовується, що найоптимальнішими перспективами суспільного розвитку характеризуються ті екосистеми України, у яких простежується певна пропорційність у співвідношеннях між економічною та територіальною продуктивністю ПРП, їх наближеність до осереднених значень по державі загалом. Йдеться, насамперед, про такі екосистеми України, як: Північно-Східна Придніпровська височинна, Кінсько-Ялинська низовинна, Нижньодніпровська терасово-дельтова низовинна області, Обл. Київського Полісся, Середньостепова підзона, Причорноморська провінційна екосистема, Північностепова підзона, Зовнішньокарпатська область, Подільсько-Придніпровська провінційна екосистема. Пропонується природно-ресурсну ємність екосистеми як натуральний показник визначати, віднісши економічну продуктивність ПРП до його територіальної продуктивності (в га/особу). При цьому територія (акваторія) розглядається як «вмістилище» всіх розвіданих природних ресурсів екосистеми, її «інтегральний» ПРП. *Ключові слова:* екосистеми України, економічна, територіальна продуктивність, природно-ресурсний потенціал, природно-ресурсна ємність.

### **Ecosystems of Ukraine from a perspective of productivity (efficiency) of their nature-resource potential. Rudenko S., Rudenko V.**

The problem of interaction between economic and territorial productivity (efficiency) of nature-resource potential of Ukrainian ecosystems is considered. The value of NRP per unit of territory is defined as territorial productivity of ecosystems' potential, while the same per capita shall represent economic productivity of said potential. The most economically productive NRP is manifested by the Lower Bug-Dnieper Lowlands Oblast (360 points), this followed by the Zdonetsko-Donska Provincial Ecosystem (335 points), Starobilsk Slope-Elevated Oblast, Orilsko-Samarska Lowland Oblast, Central Crimea Elevated Oblast, and Tarkhankut Elevated Oblast (212 points). In contrast, the least economically productive NRP is observed in the Pre-Crimean Mountains Oblast (47 points), Mid-Bug Elevated Oblast (45 points), Pryazovska Lowlands Oblast, South Coast Crimean Oblast, Kharkiv Slope-Elevated Oblast, Kyiv Elevated Oblast, and Dniester-Bug Lowlands Oblast (31 points). It is stated that, though slightly less but still essential are valuations of territorial productivity (efficiency) of ecosystems' NRP. The highest NRP territorial productivity is possessed by the South Coast Crimean Oblast (360 points), Donetsk Elevated Oblast (320 points), Mountainous Crimea Oblast, the Crimean Mountains, the Crimean Mountainous Provincial Ecosystem (275 points), Donetsk Provincial Ecosystem, and the Pre-Crimean Mountains Oblast (229 points). At the same time, the lowest levels of territorial productivity are characteristic for the Zdniprovsko-Prychornomorska Lowlands Oblast (57 points), Lower Dnieper Terrace-Deltaic Lowlands Oblast (56 points), Kyivan Polissia Oblast, the biome of the Zone of Mixed Forests and the Polissia Provincial Ecosystem, Zhytomyr Polissia Oblast (52 points), and the Volyn Polissia Oblast (39 points). It is substantiated that the most optimal perspectives of social growth are characteristic for those ecosystems of Ukraine that demonstrate proportionality between NRP economic and territorial productivity, and approximation to averaged country-level values. Specifically, we speak of such ecosystems as the North-Eastern Prydniprovskia Elevated Oblast, Kinsko-Yalynska Lowlands Oblast, Lower Dnieper Terrace-Deltaic Lowlands Oblast, Kyivan Polissia Oblast, Mid-Steppe Sub-Zone, Prychornomorska Provincial Ecosystem, Northern Steppe Sub-Zone, External Carpathian Oblast, and Podilsko-Prydniprovskia Provincial Ecosystem. The nature-resource capacity of ecosystems as natural indicator is suggested to be defined as proportion between the NRP economic productivity and its territorial productivity (ha per capita). The territory (water area) shall at the same time be considered as the "reservoir" of all proven nature resources of the ecosystem, or its "integral" NRP. *Key words:* ecosystems of Ukraine, economic, territorial productivity, nature-resource potential, nature-resource capacity.

**Вступ. Постановка проблеми та її актуальність.** Взаємодія людини з природою у сучасних умовах, як ніколи раніше, передбачає ощадливе використання, охорону і відтворення природних продуктивних сил, їх гармонійний взаєморозвиток із суспільними продуктивними силами. Ці принципи сталого (збалансованого) розвитку лежать в основі еколого-економічних оцінок природно-ресурсного потенціалу (ПРП) екосистем на всіх їх ієрархічних рівнях [1-6]. Нагадаємо при цьому, що сам ПРП території (акваторії) розуміється як сукупна продуктивність їх природних ресурсів-засобів виробництва і предметів споживання, що виражається в їх суспільній споживній вартості. Величина ПРП на одиницю площі характеризує територіальну продуктивність (ефективність) потенціалу екосистем, цей же показник, розрахований на душу населення, – відображає економічну продуктивність ПРП екосистем.

**Сучасний стан вивчення питання.** Проблема оцінки продуктивності екосистем присвячені роботи М.А. Голубця [2;3], М.Д. Гродзинського [4;5], В.М. Петліна [6], К. Рамірес-Маркеса зі співавторами [7], Т.С. Кіннамана [8], М.К. Джарія, Р.С. Меєна, А. Банерджі [9] та ін. Разом з тим надзвичайно важливим і практично майже не вивченим питанням є оцінка взаємозв'язку між собою економічної і територіальної продуктивності ПРП екосистем. Коли, за яких умов перспективи збалансованого розвитку екосистем будуть більш обґрунтованими: тоді, коли щільність (густота) ПРП на одиниці площі екосистеми буде більшою при нижчій продуктивності потенціалу екосистеми на одиницю населення, чи навпаки? І які співвідношення між економічною і територіальною продуктивністю ПРП на рівні біомів, провінційних екосистем, екосистем обласного рівня України загалом? Відповіді на ці питання і складають мету нашого повідомлення.

**Методичні підходи та матеріали дослідження.** В основу реалізації поставленої мети дослідження покладені матеріали оцінки ПРП України від рівня біомів до первинних природних районів станом на 1 січня 2022 р. [10]. Показники кількості населення і розмірів території (площі) екосистем України взяті з [11]. Економічна продуктивність ПРП екосистеми як частка від ділення величини потенціалу на чисельність її населення зіставлена з відповідним показником по Україні загалом, прийнятим за 100 балів. Цей же прийом застосований і при оцінці рівнів територіальної продуктивності ПРП екосистем (величина потенціалу на їх площу).

**Виклад основного матеріалу.** Результати проведених нами розрахунків продуктивності ПРП екосистем України відображені у табл. 1. Як бачимо, за показником економічної продуктивності природно-ресурсного потенціалу першими (у порядку спадання) є такі екосистеми: Нижньобузько-Дніпровська низовинна (360 балів) область, Задонецько-Донська провінційна екосистема (335 балів), Старобільська

схилово-височинна (335 балів), Орільсько-Самарська низовинна (292), Центральнокримська височинна (251), Гірсько-Кримська (233), Тарханкутська височинна (212 балів), Вододільно-Верховинська (205) області, Кримська степова провінційна екосистема (200) та Присивасько-Приазовська низовинна область (200 балів).

З протилежного боку (у порядку спадання) – Передгірно-Кримська (47 балів), Середньобузька височинна (45 балів), Приазовська низовинна (44), Південнобережно-Кримська (42), Харківська схилово-височинна (40), Київська височинна (39), Дністровсько-Бузька низовинна (31 бал) області.

Як бачимо, відмінності у рівнях забезпеченості ПРП населення між крайніми екосистемами складають більше ніж 8-11,5 разів!

Дещо меншими, проте, все ж істотними є оцінки територіальної продуктивності (ефективності) ПРП екосистем України. Найвища територіальна продуктивність ПРП у Південнобережно-Кримській (360 балів), Донецькій височинній (320 балів), Гірсько-Кримській (319) областях, Кримських горах, Кримській гірській провінційній екосистемі (275), Донецькій провінційній екосистемі (269), Передгірно-Кримській (229), Центральнокримській височинній (203) та Прут-Дністровській височинній (164 бали) областях. У той же час найнижчі рівні територіальної продуктивності характерні для (у порядку спадання): Задністровсько-Причорноморської низовинної (57 балів), Нижньодніпровської терасово-дельтової низовинної (56 балів), Обл. Київського Полісся (55), біому – Зони мішаних лісів та Поліської провінційної екосистеми (53 бали), Обл. Житомирського Полісся (52), Південно-Подільської схилово-височинної області (44) та Обл. Волинського Полісся (39 балів). Отже, екосистеми України за територіальною продуктивністю ПРП відрізняються одна від одної у 7-9 і дещо більше разів!

Надзвичайно важливо і не менш цікаво з наукової точки зору зіставити, поєднати між собою показники економічної та територіальної продуктивності ПРП екосистем України, що було б їх своєрідним синтезом. У поданій нами таблиці 1 така запропонована нами спроба характеризується колонками 4 та 5. Вони відображають розсіювання співвідношень економічної і територіальної продуктивності ПРП екосистем навколо осередненого їх значення по Україні: 1,00 та 0,50. У межах оцінюваних екосистем України відношення економічної до територіальної продуктивності ПРП змінюється від 0,12 (Південнобережно-Кримська область) до 3,13 (Обл. Новгород-Сіверського Полісся). Відмінність у співвідношенні показників по цих крайніх екосистемах перевищує 26 разів. За індексом економічної продуктивності ПРП Південнобережно-Кримська область і Обл. Новгород-Сіверського Полісся різняться між собою відповідно як 0,10 до 0,76, тобто в 7,6 раза.

Таблиця 1

**Економічна та територіальна продуктивність (ефективність)  
природно-ресурсного потенціалу екосистем України**

| Природні країни, зони<br>(біом, за М.А. Голубцем), краї<br>(провінційні екосистеми), природні області | Продуктивність<br>ПРП, у балах |                   | Відношення<br>економічної<br>до територіальної про-<br>дуктивності ПРП | Індекс економічної<br>продуктивності ПРП | Природно-ресурсна<br>ємність екосистеми,<br>га/особу |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                                                                       | економічна                     | територіальна     |                                                                        |                                          |                                                      |
| 1                                                                                                     | 2                              | 3                 | 4                                                                      | 5                                        | 6                                                    |
| <b>Східно-Європейська рівнина</b>                                                                     | <b>103</b>                     | <b>99</b>         | <b>1,04</b>                                                            | <b>0,51</b>                              | <b>1,36</b>                                          |
| <b><u>Зона мішаних лісів (біом)</u></b>                                                               | <b><u>84</u></b>               | <b><u>53</u></b>  | <b><u>1,58</u></b>                                                     | <b><u>0,59</u></b>                       | <b><u>2,07</u></b>                                   |
| <b><i>Поліська провінційна екосистема</i></b>                                                         | <b><i>84</i></b>               | <b><i>53</i></b>  | <b><i>1,58</i></b>                                                     | <b><i>0,59</i></b>                       | <b><i>2,07</i></b>                                   |
| <i>I. Область Волинського Полісся</i>                                                                 | 88                             | 39                | 2,26                                                                   | 0,69                                     | 2,96                                                 |
| <i>II. Область Малеого Полісся</i>                                                                    | 72                             | 63                | 1,14                                                                   | 0,53                                     | 1,49                                                 |
| <i>III. Область Житомирського Полісся</i>                                                             | 93                             | 52                | 1,79                                                                   | 0,64                                     | 2,34                                                 |
| <i>IV. Область Київського Полісся</i>                                                                 | 52                             | 55                | 0,95                                                                   | 0,49                                     | 1,24                                                 |
| <i>V. Область Чернігівського Полісся</i>                                                              | 88                             | 66                | 1,33                                                                   | 0,57                                     | 1,74                                                 |
| <i>VI. Область Новгород-Сіверського Полісся</i>                                                       | 191                            | 61                | 3,13                                                                   | 0,76                                     | 4,10                                                 |
| <b><u>Зона широколистяних лісів (біом)</u></b>                                                        | <b><u>75</u></b>               | <b><u>94</u></b>  | <b><u>0,80</u></b>                                                     | <b><u>0,44</u></b>                       | <b><u>1,04</u></b>                                   |
| <b><i>Західно-Українська провінційна екосистема</i></b>                                               | <b><i>75</i></b>               | <b><i>94</i></b>  | <b><i>0,80</i></b>                                                     | <b><i>0,44</i></b>                       | <b><i>1,04</i></b>                                   |
| <i>VII. Волинська височинна область</i>                                                               | 56                             | 85                | 0,66                                                                   | 0,40                                     | 0,86                                                 |
| <i>VIII. Розтоцько-Опільська горбогірна область</i>                                                   | 50                             | 110               | 0,45                                                                   | 0,31                                     | 0,59                                                 |
| <i>IX. Західно-Подільська височинна область</i>                                                       | 67                             | 77                | 0,87                                                                   | 0,47                                     | 1,14                                                 |
| <i>X. Середньоподільська височинна область</i>                                                        | 113                            | 86                | 1,31                                                                   | 0,57                                     | 1,72                                                 |
| <i>XI. Прут-Дністровська височинна область</i>                                                        | 131                            | 164               | 0,80                                                                   | 0,44                                     | 1,05                                                 |
| <b><u>Лісостепова зона (біом)</u></b>                                                                 | <b><u>85</u></b>               | <b><u>88</u></b>  | <b><u>0,97</u></b>                                                     | <b><u>0,49</u></b>                       | <b><u>1,27</u></b>                                   |
| <b><i>Подільсько-Придніпровська провінційна екосистема</i></b>                                        | <b><i>87</i></b>               | <b><i>93</i></b>  | <b><i>0,94</i></b>                                                     | <b><i>0,48</i></b>                       | <b><i>1,23</i></b>                                   |
| <i>XII. Північно-Західна Придніпровська височинна область</i>                                         | 111                            | 83                | 1,34                                                                   | 0,57                                     | 1,76                                                 |
| <i>XIII. Північно-Східна Придніпровська височинна область</i>                                         | 113                            | 109               | 1,04                                                                   | 0,51                                     | 1,36                                                 |
| <i>XIV. Київська височинна область</i>                                                                | 39                             | 107               | 0,36                                                                   | 0,27                                     | 0,47                                                 |
| <i>XV. Придністровсько-Східно-Подільська височинна область</i>                                        | 129                            | 87                | 1,48                                                                   | 0,60                                     | 1,94                                                 |
| <i>XVI. Середньобузька височинна область</i>                                                          | 45                             | 92                | 0,49                                                                   | 0,33                                     | 0,64                                                 |
| <i>XVII. Центральнопридніпровська височинна область</i>                                               | 103                            | 108               | 0,95                                                                   | 0,49                                     | 1,24                                                 |
| <i>XVIII. Південно-Подільська височинна область</i>                                                   | 153                            | 71                | 2,15                                                                   | 0,68                                     | 2,82                                                 |
| <i>XIX. Південно-Придніпровська височинна область</i>                                                 | 192                            | 91                | 2,11                                                                   | 0,69                                     | 2,76                                                 |
| <b><i>Лівобережно-Дніпровська провінційна екосистема</i></b>                                          | <b><i>113</i></b>              | <b><i>85</i></b>  | <b><i>1,33</i></b>                                                     | <b><i>0,57</i></b>                       | <b><i>1,74</i></b>                                   |
| <i>XX. Північно-Придніпровська терасова низовинна область</i>                                         | 86                             | 83                | 1,04                                                                   | 0,51                                     | 1,36                                                 |
| <i>XXI. Північно-Полтавська височинна область</i>                                                     | 158                            | 81                | 1,95                                                                   | 0,66                                     | 2,55                                                 |
| <i>XXII. Східно-Полтавська височинна область</i>                                                      | 104                            | 89                | 1,17                                                                   | 0,54                                     | 1,53                                                 |
| <i>XXIII. Південно-Придніпровська терасова низовинна область</i>                                      | 121                            | 94                | 1,29                                                                   | 0,56                                     | 1,69                                                 |
| <b><i>Східно-Українська провінційна екосистема</i></b>                                                | <b><i>49</i></b>               | <b><i>77</i></b>  | <b><i>0,64</i></b>                                                     | <b><i>0,39</i></b>                       | <b><i>0,84</i></b>                                   |
| <i>XXIV. Сумська схилово-височинна область</i>                                                        | 91                             | 72                | 1,26                                                                   | 0,56                                     | 1,65                                                 |
| <i>XXV. Харківська схилово-височинна область</i>                                                      | 40                             | 80                | 0,50                                                                   | 0,33                                     | 0,66                                                 |
| <b><u>Степова зона (біом)</u></b>                                                                     | <b><u>128</u></b>              | <b><u>126</u></b> | <b><u>1,02</u></b>                                                     | <b><u>0,50</u></b>                       | <b><u>1,34</u></b>                                   |
| <b><u>Північностепова підзона</u></b>                                                                 | <b><u>136</u></b>              | <b><u>147</u></b> | <b><u>0,93</u></b>                                                     | <b><u>0,48</u></b>                       | <b><u>1,22</u></b>                                   |
| <b><i>Дністровсько-Дніпровська провінційна екосистема</i></b>                                         | <b><i>108</i></b>              | <b><i>95</i></b>  | <b><i>1,14</i></b>                                                     | <b><i>0,51</i></b>                       | <b><i>1,49</i></b>                                   |
| <i>XXVI. Південно-Молдавська схилово-височинна область</i>                                            | 152                            | 70                | 2,17                                                                   | 0,68                                     | 2,84                                                 |



Закінчення табл. 1

| 1                                                                 | 2          | 3          | 4           | 5           | 6           |
|-------------------------------------------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| XXVII. Південно-Подільська схилово-височинна область              | 133        | 44         | 3,02        | 0,75        | 3,96        |
| XXVIII. Південно-Придніпровська схилово-височинна область         | 102        | 123        | 0,83        | 0,45        | 1,09        |
| <b>Лівобережно-Дніпровсько-Приазовська провінційна екосистема</b> | <b>159</b> | <b>129</b> | <b>1,23</b> | <b>0,55</b> | <b>1,61</b> |
| XXIX. Орільсько-Самарська низовинна область                       | 292        | 156        | 1,87        | 0,65        | 2,45        |
| XXX. Кінсько-Ялинська низовинна область                           | 125        | 128        | 0,98        | 0,49        | 1,28        |
| XXXI. Приазовська височинна область                               | 148        | 70         | 2,11        | 0,68        | 2,76        |
| XXXII. Приазовська низовинна область                              | 44         | 100        | 0,44        | 0,31        | 0,58        |
| <b>Донецька провінційна екосистема</b>                            | <b>115</b> | <b>269</b> | <b>0,43</b> | <b>0,30</b> | <b>0,56</b> |
| XXXIII. Західно-Донецька схилово-височинна область                | 160        | 240        | 0,67        | 0,40        | 0,88        |
| XXXIV. Донецька височинна область                                 | 98         | 320        | 0,31        | 0,23        | 0,41        |
| <b>Задонецько-Донська провінційна екосистема</b>                  | <b>335</b> | <b>147</b> | <b>2,28</b> | <b>0,70</b> | <b>2,99</b> |
| XXXV. Старобільська схилово-височинна область                     | 355        | 147        | 2,28        | 0,70        | 2,99        |
| <b>Середньостепова підзона</b>                                    | <b>76</b>  | <b>69</b>  | <b>1,10</b> | <b>0,52</b> | <b>1,44</b> |
| <b>Причорноморська провінційна екосистема</b>                     | <b>76</b>  | <b>69</b>  | <b>1,10</b> | <b>0,52</b> | <b>1,44</b> |
| XXXVI. Задністровсько-Причорноморська низовинна область           | 120        | 57         | 2,11        | 0,68        | 2,76        |
| XXXVII. Дністровсько-Бузька низовинна область                     | 31         | 87         | 0,36        | 0,26        | 0,47        |
| XXXVIII. Бузько-Дніпровська низовинна область                     | 85         | 71         | 1,20        | 0,54        | 1,57        |
| XXXIX. Дніпровсько-Молочанська низовинна область                  | 159        | 59         | 2,69        | 0,73        | 3,52        |
| XL. Західно-Приазовська схилово-височинна область                 | 138        | 83         | 1,66        | 0,62        | 2,17        |
| <b>Південностепова (сухостепова) підзона</b>                      | <b>154</b> | <b>102</b> | <b>1,51</b> | <b>0,60</b> | <b>1,98</b> |
| <b>Причорноморсько-Приазовська провінційна екосистема</b>         | <b>133</b> | <b>77</b>  | <b>1,73</b> | <b>0,63</b> | <b>2,27</b> |
| XLI. Нижньобузько-Дніпровська низовинна область                   | 360        | 129        | 2,79        | 0,74        | 3,65        |
| XLII. Нижньодніпровська терасово-дельтова низовинна область       | 57         | 56         | 1,02        | 0,50        | 1,12        |
| XLIII. Присивасько-Приазовська низовинна область                  | 187        | 75         | 2,49        | 0,71        | 3,26        |
| <b>Кримська степова провінційна екосистема</b>                    | <b>200</b> | <b>131</b> | <b>1,53</b> | <b>0,60</b> | <b>2,00</b> |
| XLIV. Присивасько-Кримська низовинна область                      | 200        | 118        | 1,69        | 0,63        | 2,21        |
| XLV. Тарханкутська височинна область                              | 212        | 115        | 1,84        | 0,65        | 2,41        |
| XLVI. Центральнокримська височинна область                        | 251        | 203        | 1,24        | 0,55        | 1,62        |
| XLVII. Керченська горбисто-пасмова область                        | 63         | 85         | 0,74        | 0,43        | 0,97        |
| <b>Кримські гори</b>                                              | <b>66</b>  | <b>275</b> | <b>0,24</b> | <b>0,19</b> | <b>0,31</b> |
| <b>Кримська гірська провінційна екосистема</b>                    | <b>66</b>  | <b>275</b> | <b>0,24</b> | <b>0,19</b> | <b>0,31</b> |
| I. Передгірно-Кримська область                                    | 47         | 229        | 0,21        | 0,17        | 0,28        |
| II. Гірсько-Кримська область                                      | 233        | 319        | 0,73        | 0,42        | 0,96        |
| III. Південнобережно-Кримська область                             | 42         | 360        | 0,12        | 0,10        | 0,16        |
| <b>Українські Карпати</b>                                         | <b>79</b>  | <b>102</b> | <b>0,77</b> | <b>0,44</b> | <b>1,01</b> |
| I. Передкарпатська височинна область                              | 60         | 105        | 0,57        | 0,36        | 0,75        |
| II. Зовнішньо Карпатська область                                  | 96         | 87         | 1,10        | 0,52        | 1,44        |
| III. Вододільно-Верховинська область                              | 205        | 121        | 1,69        | 0,63        | 2,21        |
| IV. Полонинсько-Чорногірська область                              | 120        | 81         | 1,48        | 0,60        | 1,94        |
| V. Мармароська область                                            | 179        | 113        | 1,58        | 0,61        | 2,07        |
| VI. Вулканічно-міжгірно-улоговинна область                        | 81         | 107        | 0,76        | 0,43        | 1,00        |
| VII. Закарпатська низовинна область                               | 59         | 141        | 0,42        | 0,30        | 0,55        |
| <b>Україна</b>                                                    | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>1,00</b> | <b>0,50</b> | <b>1,31</b> |

Отже, якою могла б бути відповідь з еколого-економічної точки зору на питання: де є більш оптимальними (збалансованими) перспективи суспільного розвитку: 1) в екосистемі, що має високу економічну продук-

тивність ПРП через низьку густоту населення при нижче середнього рівня територіальній продуктивності ПРП (як в Області Новгород-Сіверського Полісся); чи 2) в екосистемі, наприклад, Південнобережно-

Кримської області, де дуже низька економічна продуктивність ПРП через вкрай високу густоту населення і найвища територіальна продуктивність при достатньо високому потенціалі природних ресурсів на обмеженій території? Очевидно, в обох діаметрально протилежних випадках шлях до збалансованого розвитку ПРП екосистем не є близьким. На нашу думку, він може бути коротшим у тих екосистемах, де спостерігається певна пропорційність у співвідношеннях між економічною та територіальною продуктивністю ПРП, їх наближеність до осереднених значень по Україні загалом. Назвемо першу п'ятнадцятку таких екосистем України: Північно-Східна Придніпровська височинна область, Кінсько-Ялинська низовинна область, Нижньодніпровська терасово-дельтова низовинна область, Область Київського Полісся, Середньостепова підзона, Причорноморська провінційна екосистема, Північностепова підзона, Зовнішньокарпатська область, Подільсько-Придніпровська провінційна екосистема, Дністровсько-Дніпровська провінційна екосистема, Область Малого Полісся, Центральнопридніпровська височинна область, Бузько-Дніпровська низовинна область, Західно-Подільська височинна область та Східно-Полтавська височинна область.

Віднісши економічну продуктивність ПРП до його територіальної продуктивності, можна отримати і такий цікавий натуральний показник як природно-ресурсна ємність екосистеми в га/особу (див. табл. 1). При цьому територія (акваторія) може розглядатися як «вмістилище» всіх розвіданих природних ресурсів екосистем, їх «інтегральний» природно-ресурсний потенціал. Отже, «природно-ресурсна ємність» є найвищою в Області Новгород-Сіверського Полісся, Південно-Подільській схилово-височинній, Нижньобузько-Дніпровській низовинній, Дніпровсько-Молочанській низовинній областях, а найнижчою (в порядку спадання) – у Донецькій височинній області, Кримській гірській провінційній екосистемі, Передгірно-Кримській (0,28 га/особу) та Південнобережно-Кримській (0,16 га/особу) областях.

## Висновки.

1. Оцінка економічної і територіальної продуктивності природно-ресурсного потенціалу екосистем України є надзвичайно важливим показником, що поєднує між собою наявні в них природні ресурси, населення та територію.

2. Найоптимальнішими перспективами суспільного розвитку характеризуються ті екосистеми України, у яких простежується певна пропорційність у співвідношеннях між економічною та територіальною продуктивністю ПРП, їх наближеність до осереднених значень по державі загалом. Йдеться насамперед, про такі екосистеми України, як: Північно-Східна Придніпровська височинна, Кінсько-Ялинська низовинна, Нижньодніпровська терасово-дельтова низовинна області, Область Київського Полісся, Середньостепова підзона, Причорноморська провінційна екосистема, Північностепова підзона, Зовнішньокарпатська область, Подільсько-Придніпровська провінційна екосистема, Дністровсько-Дніпровська провінційна екосистема, Область Малого Полісся, Центральнопридніпровська височинна, Бузько-Дніпровська низовинна, Західно-Подільська височинна та Східно-Полтавська височинна області.

3. Віднісши економічну продуктивність ПРП до його територіальної продуктивності, можна отримати і такий цікавий натуральний показник як природно-ресурсна ємність екосистеми в га/особу (див. табл. 1). При цьому територія (акваторія) може розглядатися як «вмістилище» всіх розвіданих природних ресурсів екосистем, їх «інтегральний» природно-ресурсний потенціал. Отже, «природно-ресурсна ємність» є найвищою в Області Новгород-Сіверського Полісся, Південно-Подільській схилово-височинній, Нижньобузько-Дніпровській низовинній, Дніпровсько-Молочанській низовинній областях, а найнижчою (в порядку спадання) – у Донецькій височинній області, Кримській гірській провінційній екосистемі, Передгірно-Кримській (0,28 га/особу) та Південнобережно-Кримській (0,16 га/особу) областях.

## Література

1. Бондар О.Б., Цицюра Н.І., Дух О.І., та ін. Методичні підходи до оцінки екологічних переваг та потенціалу відновлюваних джерел енергії в Україні. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2024. Вип. 5 (56). С. 16–22.
2. Голубець М.А. *Екосистемологія*. Львів: Поллі, 2020. 316 с.
3. Голубець М.А., Марискевич О.Г., Крок Б.О., та ін. *Екологічний потенціал наземних екосистем*. Львів: Поллі, 2003. 180 с.
4. Гродзинський М.Д. *Пізнання ландшафту: місце і простір: Монографія*. У 2-х т. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. Т. 1. 431 с.
5. Гродзинський М.Д. *Пізнання ландшафту: місце і простір: Монографія*. У 2-х т. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. Т. 2. 503 с.
6. Петлін В.М. *Синергетичні залежності в організації природних територіальних систем*. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2013. 396 с.
7. Ramirez-Marquez C., Posadas-Paredes T., Raya-Tapia A.Y., Ponce-Ortega J.M. *Natural Resource Optimization and Sustainability in Society 5.0: A Comprehensive Review*. Resources. 2024. 13 (2). 19.
8. Kinnaman T.C. *A New Perspective on the Natural Resource Curse*. World. 2023. 4 (4). 670.
9. Jhariya M.K., Meena R.S., Banerjee A. *Ecological Intensification of Natural Resources for Sustainable Agriculture*. 2021. 655 p.
10. Rudenko S., Rudenko V. *Nature-resource potential of natural regions of Ukraine in present-day figures*. Екологічні науки: науково-практичний журнал. 2023. Вип. 6 (51). С. 84–89.
11. Руденко С.В., Руденко В.П., Пахомов О.Є. *Екорегіони України: територія, населення, природно-ресурсний потенціал*. Природнича освіта та наука. 2024. № 4. С. 102–107.

## РОЛЬ ЗЕЛЕНИХ МІСТ У ПОКРАЩЕННІ ЯКОСТІ ЖИТТЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДИ

Стефанюк С.В.<sup>1</sup>, Коломієць Л.В.<sup>2</sup>, Чухній О.Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет природокористування  
вул. Володимира Великого, 1, 80831, м. Дубляни

<sup>2</sup>Центральноукраїнський національний технічний університет  
пр. Університетський, 8, 25000, м. Кропивницький

<sup>3</sup>Інститут міжнародних відносин імені Б.Д. Гаврилишина  
Західноукраїнського національного університету  
вул. Львівська, 11, 46009, м. Тернопіль

svitvas78@gmail.com, lyudkolomiec11@meta.ua, olehchukhnii@gmail.com

У статті розглянуто значення «зелених міст» у підвищенні якості життя міських мешканців та збереженні природного середовища, що набуває особливої актуальності в умовах зростаючого антропогенного тиску на екосистеми. Встановлено, що активна урбанізація спричиняє значну втрату біорізноманіття, деградацію природних ландшафтів та порушення екологічної рівноваги, що в свою чергу впливає на комфортні умови проживання у містах. Розкрито стратегічні підходи до впровадження зеленої інфраструктури у міське середовище, які орієнтовані на створення інтегрованих екосистемних мереж, здатних забезпечувати ефективне регулювання водного стоку, очищення атмосферного повітря, поліпшення мікроклімату та мінімізацію негативного впливу урбанізації. В межах проведеного дослідження оцінено можливості зеленої інфраструктури для сталого розвитку міських територій в Україні, приділяючи увагу її ролі у створенні безпечного, комфортного та екологічно збалансованого середовища для життя мешканців та було окреслено доцільність застосування системного підходу до планування «зелених міст», що базується на інтеграції природних та урбанізованих елементів з акцентом на збереженні природних ресурсів, відновленні біорізноманіття, мінімізації екологічних ризиків та поліпшенні соціально-економічних умов. У статті запропоновано багаторівневу модель планування зеленої інфраструктури, яка включає міський, районний, мікрорайонний, квартальний та локальний рівні, що дає змогу ефективно управляти природними ресурсами в межах урбанізованих територій. Розроблено інтегративний підхід до залучення державних, приватних і громадських ініціатив у процес створення зеленої інфраструктури, який сприяє координації зусиль, підвищенню обізнаності громадськості та активній участі у впровадженні проєктів сталого розвитку. За результатами реалізації запропонованих підходів передбачається зниження негативних наслідків урбанізації, забезпечення екологічної стійкості міських територій, створення естетично привабливого міського середовища, а також покращення якості життя населення. *Ключові слова:* зелені міста, зелена інфраструктура, сталий розвиток, урбанізація, якість життя, збереження природи.

### **The role of green cities in improving the quality of life and nature conservation. Stefaniuk S., Kolomiets L., Chukhnii O.**

The article examines the importance of "green cities" in improving the quality of life of urban residents and preserving the natural environment, which is becoming especially relevant in the context of growing anthropogenic pressure on ecosystems. It has been established that active urbanization causes a significant loss of biodiversity, degradation of natural landscapes and disruption of the ecological balance, which in turn affects comfortable living conditions in cities. Strategic approaches to the introduction of green infrastructure into the urban environment are revealed, which are focused on the creation of integrated ecosystem networks capable of ensuring effective regulation of water runoff, purification of atmospheric air, improvement of the microclimate and minimization of the negative impact of urbanization. The study assessed the potential of green infrastructure for the sustainable development of urban areas in Ukraine, paying attention to its role in creating a safe, comfortable and environmentally balanced environment for residents, and outlined the feasibility of applying a systemic approach to planning "green cities", based on the integration of natural and urban elements with an emphasis on preserving natural resources, restoring biodiversity, minimizing environmental risks and improving socio-economic conditions. The article proposes a multi-level model of green infrastructure planning, which includes the city, district, microdistrict, quarter and local levels, which allows for effective management of natural resources within urban areas. An integrative approach to involving state, private and public initiatives in the process of creating green infrastructure has been developed, which contributes to the coordination of efforts, raising public awareness and active participation in the implementation of sustainable development projects. As a result of the implementation of the proposed approaches, it is expected to reduce the negative consequences of urbanization, ensure the environmental sustainability of urban areas, create an aesthetically attractive urban environment, and improve the quality of life of the population. *Key words:* green cities, green infrastructure, sustainable development, urbanization, quality of life, nature conservation.

**Постановка проблеми.** Сучасні урбаністичні процеси характеризуються інтенсивним зростанням міст, що супроводжується негативними екологічними, соціальними та економічними наслідками. Зростання щільності забудови, зниження кількості

зелених насаджень, погіршення якості повітря та води, а також підвищення рівня шуму суттєво впливають на якість життя міських мешканців. Одним із способів вирішення цих проблем є інтеграція концепції «зелених міст» як моделі сталого розвитку.

Однак впровадження таких підходів вимагає розробки ефективних стратегій, що враховують не лише екологічні аспекти, але й економічну доцільність та соціальну прийнятність.

**Актуальність дослідження.** Концепція «зелених міст» набуває дедалі більшої популярності в усьому світі, оскільки відповідає принципам сталого розвитку та інтегрує екологічні, соціальні й економічні вимоги. У контексті кліматичних змін, деградації природних ресурсів та урбаністичного перенаселення, такі міста стають ключовими елементами для забезпечення гармонійного співіснування людини і природи. В Україні тема «зелених міст» є особливо важливою через високий рівень урбанізації, екологічні виклики, а також необхідність адаптації міст до європейських стандартів сталого розвитку. Це дослідження спрямоване на аналіз ролі «зелених міст» у покращенні якості життя населення та збереженні природного середовища, що сприятиме формуванню ефективних підходів до міського планування та управління.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження ролі «зелених міст» у покращенні якості життя та збереженні природи має безпосередній зв'язок із ключовими науковими та практичними завданнями сучасного урбаністичного планування та екологічної стійкості. Стаття інтегрує сучасні наукові підходи з прикладними рішеннями, спрямованими на гармонізацію взаємовідносин між урбаністичним простором і природним середовищем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз провідних досліджень показує, що роль зеленої інфраструктури в містах стає дедалі важливішою в контексті сталого урбаністичного розвитку. Вітчизняні автори, такі як Андрієнко В., Коваленко О. [1], акцентують увагу на необхідності формування цілісної зеленої інфраструктури в урбанізованих територіях України для забезпечення екологічного балансу. Гончарук Т., Мельник А. [2] досліджують значення урбаністичних парків як невід'ємного елементу зеленої інфраструктури, вказуючи на їхню важливу соціально-екологічну функцію. Дослідники Мартиненко Д., Шевченко І. [8] розглядають екологічні аспекти розвитку зелених зон, підкреслюючи їх значення для зниження негативного впливу урбанізації на природне середовище.

Ахерн Дж., Сіллерс С., Німеля Дж. [11] обґрунтовують концепцію екосистемних послуг як основу адаптивного міського планування. Їм акцентує увагу на збереженні зелених просторів у компактних містах, що сприяє їх екологічній стійкості. Кроненберг Дж., Андерссон Е. [16] досліджують необхідність інтеграції соціальних і екологічних знань у процеси планування зеленої інфраструктури.

**Мета статті** – дослідити концепцію «зеленого міста» як інструменту сталого розвитку, спрямованого на підвищення якості життя та формування

зберігаючих умов для оточуючого природного середовища.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на значний обсяг досліджень у галузі сталого міського розвитку, залишаються невирішеними питання щодо створення інтегрованих екосистемних мереж у межах міських територій, оцінки їхнього впливу на покращення якості життя населення та збереження біорізноманіття. Недостатньо вивченими є також механізми ефективного планування зеленої інфраструктури, які б одночасно враховували екологічні, економічні та соціальні аспекти.

**Новизна.** У статті запропоновано нові підходи до формування зеленої інфраструктури, що передбачають створення мереж взаємопов'язаних зелених зон, здатних виконувати широкий спектр екосистемних функцій. Запропоновано комплексну оцінку впливу «зелених міст» на підвищення якості життя міських мешканців через забезпечення екологічної стабільності, зниження урбаністичних ризиків та формування комфортного міського середовища.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Під час проведення дослідження використано метод системного обґрунтування для розгляду «зеленого міста» як складної інтегрованої системи, що поєднує екологічні, соціальні та економічні компоненти. Метод дає цілісний аналіз функціонування зеленої інфраструктури, її впливу на екосистемні процеси та якість життя міських мешканців, а також визначення взаємозв'язків між окремими елементами зеленої інфраструктури. Метод узагальнення використано для синтезу наукових і практичних даних щодо впливу зеленої інфраструктури на урбаністичне середовище, що сформувало ключові аспекти утворення «зелених міст», звести різні підходи до єдиної концепції, а також розробити рекомендації для впровадження екологічно орієнтованих рішень у міське планування.

**Виклад основного матеріалу.** Ідея створення та розвитку «зелених міст» нині набуває дедалі більшої значущості, оскільки активний антропогенний вплив призводить до руйнування екосистем, втрати біорізноманіття та деградації природних ландшафтів. Фрагментація екосистем стає загрозливим явищем, що негативно впливає на гармонійний розвиток територій та якість життя міських жителів. У міжнародній практиці поняття «зелена інфраструктура» часто використовується як стратегічний підхід до комплексного управління територіями, що має на меті усунення негативних екологічних і соціальних наслідків надмірної урбанізації та фрагментації природних просторів [5]. У таких країнах, як Канада та США, цей підхід активно впроваджується у практику міського планування, де зелені зони виконують не лише декоративні, але й інженерно-функціональні завдання: зменшують ризики

затоплень, регулюють водний стік, очищують повітря та воду, а також сприяють відновленню екологічного балансу [9, с. 59].

Основною метою створення «зелених міст» є мінімізація впливу антропогенної діяльності на довкілля та максимальне використання природного потенціалу міських територій для забезпечення сталого розвитку. Завдання розвитку зелених зон у містах включають низку ключових аспектів, таких як: збереження біорізноманіття, регулювання локального клімату, управління водними ресурсами, очищення води та перехоплення поверхневого стоку, відновлення природних ландшафтів, створення доступних рекреаційних зон поблизу місць проживання, зменшення площ забудованих територій та екологічна просвіта населення. Важливим елементом зеленої інфраструктури є забезпечення безперервності природних ландшафтів, які формують екологічний каркас міста та сприяють підвищенню якості життя через естетичну й екологічну складову [3, с. 28].

До елементів зеленої інфраструктури належать природні території, суспільно-рекреаційні простори, сільськогосподарські землі, приватні та громадські городи, зелені будівлі, водойми та зелені набережні. З початку 2010-х рр. завдяки ініціативам міжнародних екологічних організацій було започатковано низку програм, спрямованих на підтримку розвитку зелених міст, таких як «Зелене місто» чи «Зелений квартал». Такі програми стали основою для реалізації масштабних проєктів у багатьох країнах, спрямованих на підвищення якості життя міського населення та забезпечення збереження природного середовища (рис. 1).

Концепція «зелених міст» в Україні на сьогоднішній день існує переважно як ідеалізоване бачення

майбутнього, адже жодне українське місто наразі не відповідає всім критеріям і показникам, що характеризують «зелене» містобудування. Проте, впровадження окремих екологічних ініціатив та практичних заходів у напрямку екологізації міських просторів заслуговує високої оцінки [4].

Одним із прикладів таких дій є створення карбонових полігонів, які являють собою спеціалізовані лісові масиви, сформовані з порід дерев, здатних максимально ефективно поглинати вуглекислий газ із атмосфери і такі інноваційні підходи передбачають довгострокову перспективу, у якій можна буде проводити моніторинг вуглецевого балансу та оцінювати ефективність заходів зі зменшення викидів парникових газів. У світі спостерігається тенденція до створення нових «зелених» та «розумних» міст, що поєднують технологічні інновації та екологічні принципи розвитку [13]. Приклади таких міст, як Сонгдо в Південній Кореї, Масдар в Об'єднаних Арабських Еміратах, Неаполіс на Кіпрі, а також амбітний проєкт НЕОМ у Саудівській Аравії, демонструють можливості гармонійного поєднання урбаністичних ідей із турботою про довкілля. Зокрема, місто НЕОМ позиціонується не лише як міжнародний порт і бізнес-центр, але й як зразок інтеграції «зелених» і «розумних» технологій, що забезпечують сталий розвиток.

Концепція «зеленого» містобудування в Україні поки що перебуває на етапі становлення і сприймається як перспективна утопія, яка окреслює бажане майбутнє для урбанізованих територій. Незважаючи на відсутність міст, що повністю відповідають критеріям «зелених» стандартів, впровадження окремих заходів з екологізації міського середовища вже має помітний прогрес. Серед таких ініціатив варто



Рис. 1. Зелені технології ландшафтного дизайну в межах міської забудови (м. Монреаль, Канада) [15]





Рис. 2. Візуалізація розумного «зеленого» міста у проєкті НЕОМ (Саудівська Аравія) [18]

відзначити створення карбонових полігонів – спеціальних лісових масивів, які завдяки високоефективним породам дерев забезпечують поглинання вуглекислого газу та сприяють підтримці вуглецевого балансу. Подібні проєкти передбачають впровадження інноваційних підходів, що дозволяють проводити постійний моніторинг стану атмосферного повітря та сприяють зменшенню впливу антропогенних факторів [17, с. 51].

Інноваційні технології поступово інтегруються і в процеси модернізації існуючих міських районів, що дозволяє трансформувати сформовані території відповідно до принципів «зеленого» будівництва. Основними завданнями таких змін є підвищення екологічних стандартів, зменшення негативного впливу на довкілля, впровадження природоохоронних заходів у межах міст та на прилеглих територіях, а також створення комфортного міського середовища, що сприяє покращенню якості життя населення [6].

Зелена інфраструктура є основою для поєднання, збереження та відновлення ландшафтів, які мають високу екологічну, культурну та естетичну цінність. Подібна мережа відкритих просторів, вододілів, місць проживання дикої фауни, парків та природних зон забезпечує мешканців міст життєво важливими послугами, такими як очищення повітря, регулювання водного стоку, зменшення шумового забруднення та створення простору для відпочинку. Цінність зеленої інфраструктури проявляється через її економічні, соціальні та екологічні переваги. До економічних вигод належать прямі фінансові вигоди, пов'язані зі зростанням вартості нерухомості поблизу зелених зон, та непрямі – зменшення витрат на енергоспоживання й управління водними ресурсами. Водночас зелена інфраструктура є ефективним інструментом профілактики кліматичних

змін, що дозволяє знизити ризики значних фінансових втрат у майбутньому. Для оптимального управління зеленою інфраструктурою необхідно розглядати її як багаторівневу систему, яка включає різні масштаби [12]:

1) Міський рівень: центральні парки, набережні, масштабні лісопаркові зони, що формують екологічний каркас міста та забезпечують збереження біорізноманіття.

2) Районний рівень: парки, сквери та бульвари, що активно використовуються мешканцями кількох районів міста.

3) Мікрорайонний рівень: зелені алеї та сквери, які знаходяться у пішохідній доступності для місцевих мешканців.

4) Квартальний рівень: невеликі озеленені ділянки, що обслуговують мешканців конкретного житлового комплексу чи вулиці.

5) Локальний рівень: приватні городи, зелені двори та невеликі зони озеленення, які є важливими складовими загального ландшафтного балансу.

Цей ієрархічний підхід дозволяє створювати цілісну екологічну систему, яка сприяє сталому розвитку міського середовища, підтримці природного балансу та підвищенню рівня комфортності життя населення (рис. 3).

Формування зеленої інфраструктури міста повинно здійснюватися на всіх рівнях просторового планування – від регіональних зон, які формують зелені пояси міст, до локальних рекреаційних зон, що знаходяться безпосередньо в межах міських кварталів. Стратегічним інструментом для цього є план міської зеленої інфраструктури, що визначає напрями створення та управління мережею озелених і водних просторів. Такий план забезпечує системне впровадження екосистемних послуг на



Рис. 3. Ієрархічна система рівнів зеленої інфраструктури в межах розвитку концепції «зеленого міста»

Джерело: удосконалено автором на основі [9, 12]

всіх масштабах міського середовища, з урахуванням соціальних, екологічних та економічних переваг [7].

Однією з найважливіших функцій зеленої інфраструктури (ЗІ) є забезпечення регулюючих і стабілізуючих екосистемних послуг, які мають безпосередній вплив на якість життя та здоров'я мешканців.

Основним фактором, що сприяє збереженню стійкості екосистем і їхньої здатності надавати ці послуги, є біологічна різноманітність. Вона створює необхідну основу для функціонування природних систем, що виконують важливі завдання, такі як очищення повітря, поглинання шуму, регуляція мікроклімату та водного балансу. Природні екосистеми, які збереглися в межах міст, не завжди здатні повністю забезпечити потреби мешканців у всіх екосистемних послугах. Проте їх збереження має вирішальне значення не лише з утилітарної точки зору, але й для надання нематеріальних послуг, таких як створення естетичних, культурних і рекреаційних цінностей, які зберігають свою актуальність і в сучасному, і в майбутньому контексті [14].

На основі аналізу та дешифрування даних було розроблено чіткі критерії поділу зеленої інфраструктури міста на чотири рівні: агломераційний (А), міський (М), районний (Р) і внутрішньоквартальний (К). На агломераційному рівні передбачено формування безперервного поясу рослинності, який виконує функцію буфера між міським середовищем та прилеглими територіями, знижуючи негативний вплив урбанізації на довкілля. Міський рівень охоплює центральні парки, лісопаркові зони та великі зелені простори, що обслуговують потреби всього міста. Районний рівень включає зелені насадження у вигляді скверів, бульварів і невеликих парків, які забезпечують комфортні умови для мешканців окремих районів. Внутрішньоквартальний рівень зосереджений на озелененні прилеглих територій житлових будинків і створенні мініатюрних рекреаційних зон, які є важливою складовою екологічного каркасу міста (табл. 1).

Елементи зеленої інфраструктури на рівні районів мають широкий спектр функцій, що забезпечують їх значущість для міського середовища. Природні території на цьому рівні можуть виконувати рекреаційні функції, сприяти формуванню сприятливого середовища та відігравати важливу роль у регулюванні водного режиму, зокрема затриманні стоків і збереженні вологості ґрунтів.

Штучно створені елементи, такі як сільськогосподарські угіддя, відіграють роль у регуляції мікроклімату, а також у формуванні гідрологічного балансу, водночас виконуючи буферні функції навколо промислових зон. Часто зелена інфраструктура на рівні районів представлена пустирями або спеціалізованими полігонами, які виконують роль бар'єрів між житловими і промисловими зонами. Особливу роль відіграють елементи на міському рівні, які сприяють збереженню підзем-

Таблиця 1

**Критерії виділення рівнів «зеленої інфраструктури» у містах (сформовано автором)**

| <b>Критерії виділення рівнів ЗІ</b>                   |         | <b>А</b>                                  | <b>М</b>                                              | <b>Р</b>                                         | <b>К</b>                                       |
|-------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Площа елементів (км <sup>2</sup> ) у зонах:           | арідна  | Не залежить                               | >1                                                    | >0,5                                             | <0,5                                           |
|                                                       | гумідна |                                           | >25                                                   | >1                                               | <1                                             |
| Частка зімкнутого рослинного покриву, %               |         | Не залежить                               | >50                                                   | <50                                              | Не залежить                                    |
| Розташування елементів                                |         | Суцільний пояс навколо міського ядра      | Вписані у міське ядро                                 | Вписані у міське ядро                            | Усередині кварталів забудови                   |
| Найважливіші функції (у порядку зменшення значимості) |         | Екологічний буфер для прилеглих територій | Середоутворююча, клімато та гідрорегулююча, рекреація | Водорегулююча, середоутворююча, рекреація        | Естетика, рекреація, ізоляція від шуму та пилу |
| Основні елементи                                      |         | Сільгоспугіддя, лісові землі              | агро- та лісопарки                                    | Пустирі, сільгоспугіддя, буфери, парки, полігони | Сквери, парки, бульвари, сади, палісадники     |

ного водного стоку, затримують вологу, зміцнюють ґрунти та знижують ризики таких природних явищ, як повені чи селеві потоки. Ці території включають значні масиви природної рослинності, а також охоронювані природні зони, які не лише слугують для рекреаційних цілей, але й виконують естетичну функцію, збагачуючи міський простір. Таким чином, інтеграція зеленої інфраструктури на всіх рівнях міського планування дозволяє забезпечити збалансованість урбаністичного розвитку, зберегти природні ресурси та сприяти покращенню якості життя мешканців завдяки створенню екологічно сталого середовища.

Для ефективного формування та стратегічного управління зеленою інфраструктурою міста визначено п'ять основних принципів, які забезпечують інтегрований підхід до її планування. Ці рекомендації спрямовані на раціональне використання земель, створення пов'язаної системи зелених зон, що приносить користь мешканцям, природі та економіці міста:

1) Збереження природних систем на ранніх етапах планування. Захист існуючих ландшафтів є набагато економічно вигіднішим і ефективнішим, ніж їх відновлення після порушень. Тому важливо виявляти та зберігати критично важливі екологічні об'єкти до початку будівництва доріг, житлових кварталів або інших об'єктів інфраструктури.

2) Оцінка можливостей для відновлення екосистем. У тих випадках, коли забудова вже відбулася, необхідно визначити території, де відновлення зеленої інфраструктури може мати позитивний вплив на мешканців міста та природне середовище, що дає можливість повернути баланс між урбанізацією та екосистемами. Таким чином, застосування інтегрованого підходу до планування зеленої інфраструктури сприяє створенню міських просторів, які відповідають принципам сталого розвитку, забезпечують

якісні умови для життя населення та сприяють збереженню природного середовища.

Забезпечення взаємозв'язку між елементами зеленої інфраструктури є ключовим чинником її ефективності. Головною метою будь-яких ініціатив у цій сфері є створення інтегрованої системи зелених насаджень, яка функціонує як єдине екологічне ціле, а не як набір ізолюваних та не пов'язаних між собою компонентів. Раціональне та стратегічне поєднання парків, заповідників, прибережних зон, водно-болотних угідь та інших природних територій забезпечує підтримку важливих екологічних процесів, таких як транспортування та очищення зливових стоків, збереження та фільтрація прісної води, а також очищення повітря у міському середовищі [10].

Важливим аспектом є залучення населення на ранніх етапах проєктів, оскільки це не лише сприяє створенню спільного бачення майбутнього, але й допомагає підтримувати тривалий інтерес і активність громад у процесі реалізації ініціатив. На відміну від традиційних природоохоронних заходів, проєкти стратегічного розвитку зеленої інфраструктури зосереджуються на створенні комплексної екосистемної мережі, яка слугує основою не лише для збереження природних ресурсів, але й для гармонійного розвитку міських територій. У центрі уваги цих проєктів – визнання важливості фізичного зв'язку між елементами зеленої інфраструктури, який забезпечує підтримку природних процесів і стійкість екосистем.

**Висновки.** Встановлено, що концепція «зелених міст» стає все більш актуальною через інтенсивний антропогенний вплив на природні екосистеми, який спричиняє значну втрату біорізноманіття, погіршення стану природних ландшафтів та порушення екологічної рівноваги в міських середовищах. Вивчено стратегічний підхід до інтеграції еле-



ментів зеленої інфраструктури в структуру міського простору, який базується на створенні системи взаємопов'язаних екосистемних елементів, що сприяють регулюванню водного стоку, очищенню міського повітря та забезпеченню більш комфортних умов проживання для населення. Проведено оцінку потенціалу зеленої інфраструктури для сталого розвитку українських міст, а також її значення для формування комфортного міського середовища через забезпечення ключових екологічних, естетичних і рекреаційних функцій, які мають безпосередній вплив на якість життя громадян.

Доведено, що реалізація ідеї «зелених міст» вимагає комплексного та системного підходу до планування, який враховує гармонійне поєднання природних та урбанізованих компонентів, приділяючи особливу увагу збереженню природних ресурсів, відновленню біорізноманіття та мінімізації екологічних ризиків. Розроблено багаторівневу модель організації зеленої інфраструктури, яка охоплює міський, районний, мікрорайонний, квартальний і локальний рівні, що дозволяє забезпечити ефективне управління природними ресурсами та створення стійкої екосистеми в умовах урбанізації.

### Література

1. Андрієнко В. П., Коваленко О. М. Розвиток зеленої інфраструктури в урбанізованих територіях України. *Екологічний вісник*. 2022. № 3. С. 45–52.
2. Гончарук Т. О., Мельник А. В. Урбаністичні парки як елемент зеленої інфраструктури: досвід України. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. № 5. С. 60–68.
3. Данилюк О. С., Петрова Н. В. Екологічні аспекти розвитку зелених зон у містах України. *Екологічна безпека та природо-користування*. 2021. № 4. С. 25–32.
4. Захарченко І. Г., Морозова Т. В. Планування зелених коридорів у містах: європейський досвід та українські перспективи. *Місто: історія, культура, суспільство*. 2024. № 1. С. 75–83.
5. Луців Р.С. «Розумне місто» як вектор урбаністичної трансформації у глобальному економічному середовищі. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 292 – «Міжнародні економічні відносини». Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2023. 283 с.
6. Македон В. В., Михайленко О. Г. Управління внутрішніми інвестиційними проектами в регіональному промисловому клас-тері підприємств. *Підприємництво та інновації*. 2022. (25). С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>
7. Македон В. В., Холод О. Г., Ярмоленко Л. І. Модель оцінки конкурентоспроможності високотехнологічних під-приємств на засадах формування ключових компетенцій. *Академічний огляд*. 2023. № 2 (59). С. 75–89. DOI: 10.32342/2074-5354-2023-2-59-5.
8. Мартиненко Д. О., Шевченко І. В. Вплив зелених насаджень на здоров'я міських жителів. *Екологічна психологія*. 2021. № 1. С. 12–19.
9. Павленко Н. С., Романенко В. П. Створення зелених зон у містах як засіб адаптації до змін клімату. *Кліматична політика та екологія*. 2024. № 2. С. 55–63.
10. Сергієнко О. В., Ткаченко Л. М. Зелені технології в архітектурному плануванні сучасних міст. *Архітектура та екологія*. 2022. № 3. С. 70–78.
11. Ahern J., Cilliers S., Niemelä J. The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation. *Landscape and Urban Planning*. 2020. Vol. 193. pp. 103654. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103654>
12. Badi S., Pryke S. Assessing the impact of urban green spaces on residents' wellbeing: A case study of Sheffield, UK. *Cities*. 2021. Vol. 108. pp. 102973. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102973>
13. Cilliers E. J., Timmermans W. The importance of green spaces for urban social sustainability: A review. *Sustainable Development*. 2023. Vol. 31(2). pp. 345–356. <https://doi.org/10.1002/sd.2256>
14. Haase D., Larondelle N. Assessing the impact of green space on urban resilience: A spatial analysis. *Landscape and Urban Planning*. 2023. Vol. 215. pp. 104223. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104223>
15. Jim C. Y. Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities. *Cities*. 2022. Vol. 120. pp. 103467. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103467>
16. Kronenberg J., Andersson E. Integrating social and ecological knowledge for urban green infrastructure planning. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2022. Vol. 68. pp. 127431. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127431>
17. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. no 2(13(128)). pp. 47–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>
18. Wolch J. R., Byrne J., Newell J. P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*. 2022. Vol. 214. pp. 104166. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104166>

---

# ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

---

УДК 592:574

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.14>

## СТРУКТУРА КОМПЛЕКСІВ ДОЩОВИХ ЧЕРВІВ В УРБОЕКОСИСТЕМІ: МОДЕЛЮВАННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Гарбар О.В., Мороз В.В.

Житомирський державний університет імені Івана Франка  
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир  
[o.v.harbar@gmail.com](mailto:o.v.harbar@gmail.com), [vikamoroz14@ukr.net](mailto:vikamoroz14@ukr.net)

У результаті дослідження фауни дощових черв'яків в урбанізованому середовищі міста Житомира (Україна) встановлено, що вона представлена десятьма видами, що належать до шести родів родини Lumbricidae: *A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. trapezoides*, *L. terrestris*, *L. castaneus*, *L. rubellus*, *O. lacteum*, *D. octaedra*, *E. fetida* та *E. tetraedra*. Число особин у вибірці варіювало в широких межах (від 1 до 29 екз.) при середньому значенні – 5,82 екз., що свідчить про достатньо низьку чисельність досліджуваних тварин у більшості випадків. Видова різноманітність дощових черв'яків у більшості аналізованих проб також низька (максимальне число видів – 6, середнє значення – 2,15). Значення використаних індексів біорізноманіття свідчать, що на досліджуваній території структура комплексів дощових черв'яків варіює від вирівняної з майже не вираженими домінантами до комплексів з чітко вираженими домінантами (моновидових включно). З метою прогнозування просторового розподілу показників біорізноманіття використано регресійну модель, що базується на методі машинного навчання Random Forest. У якості змінних в регресійній моделі використано растеризовані точкові оцінки біорізноманіття, смуги висоти над рівнем моря та ухилу, обчислені з Copernicus GLO30 DEM, радарні дані Sentinel-1 (смуги знімання VV та VH), а також спектральні дані Sentinel-2 (спектральні смуги B1-B8, B8A, B9, B11, B12) та спектральні індекси, розраховані на їх основі. Це дозволило отримати ефективну та надійну регресійну модель просторового розподілу показників біорізноманіття ( $R^2 > 0,92$ , RMSE % = 11,83 – 27,69), яка здатна пояснити понад 90% варіації залежної змінної. Прогноз, отриманий на основі моделі свідчить, що осередками біорізноманіття в урбоєкосистемі міста Житомира є зелені зони та долини річок, які менше піддаються антропогенному навантаженню і характеризуються сприятливішими для дощових черв'яків едафічними умовами. Отримані результати можуть бути використані при проведенні подальших локальних досліджень фауни дощових черв'яків в урбоєкосистемах України. Запропонована методологія моделювання показників біорізноманіття на основі методу машинного навчання Random Forest може застосовуватись для моделювання показників біорізноманіття не лише дощових черв'яків, але й широкого спектру інших груп біонтів як в урбанізованому середовищі, так і в природних біотопах. *Ключові слова:* Lumbricidae, фауна, біорізноманіття, просторовий розподіл, моделювання.

### Structure of earthworm complexes in the urban ecosystem: modeling biodiversity using machine learning. Harbar O., Moroz V.

A study of the earthworm fauna in the urban environment of Zhytomyr (Ukraine) revealed the presence of ten species belonging to six genera of the Lumbricidae family: *A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. trapezoides*, *L. terrestris*, *L. castaneus*, *L. rubellus*, *O. lacteum*, *D. octaedra*, *E. fetida*, and *E. tetraedra*. Number of individuals in the samples varied from 1 to 29 individuals, with an average of 5.82, indicating a relatively low abundance of the studied animals in most cases. Species diversity of earthworms was also low (maximum number of species – 6, average – 2.15). Analysis of biodiversity indices showed that the structure of earthworm complexes ranged from uniform, without pronounced dominants, to complexes with clearly expressed dominants (including monodominant ones). To predict the spatial distribution of biodiversity indicators, a regression model based on the Random Forest machine learning method was used. The rasterized point estimates of biodiversity, elevation and slope bands calculated from Copernicus GLO30 DEM, Sentinel-1 radar data (VV and VH bands), as well as Sentinel-2 spectral data (spectral bands B1-B8, B8A, B9, B11, B12) and spectral indices calculated on their basis were used as variables in the regression model. This made it possible to obtain an effective and reliable regression model of the spatial distribution of biodiversity indicators ( $R^2 > 0.92$ , RMSE % = 11.83 – 27.69), which is able to explain more than 90% of the variation in the dependent variable. The forecast obtained from the model indicates that the centers of biodiversity in the urban ecosystem of Zhytomyr are green zones and river valleys, which are less subject to anthropogenic pressure and are characterized by more favorable edaphic conditions for earthworms. The results obtained can be used for further local studies of earthworm fauna in urban communities of Ukraine. The proposed methodology for modeling biodiversity indicators based on the Random Forest method can be applied to model biodiversity indicators not only for earthworms but also for a wide range of other biotic groups in both urban and natural environments. *Key words:* Lumbricidae, fauna, biodiversity, spatial distribution, modeling.

**Постановка проблеми.** Впродовж останніх десятиріч рівень урбанізації з кожним роком зростає, а діяльність людського суспільства в антропо-

цені стала глобальною рушійною силою трансформації екосистем [1; 2]. Урбанізація призводить до розширення міських урбоєкосистем, які за масш-

табами екологічних проблем займають особливе місце та є складними багатофункціональними природно-антропогенними системами з трансформованими ландшафтами, що концентрують максимальну різноманітність видів антропогенного впливу на едафотоп [2; 3; 4; 5]. Антропогенний вплив призводить до змін фізико-хімічних властивостей ґрунту [6] та впливає на розподіл видів і середовищ існування через ряд факторів і процесів, включаючи землекористування та зміну ґрунтового покриву, забруднення, надмірну експлуатацію ресурсів [7] та біологічні вторгнення [8].

**Актуальність дослідження.** Збереження екосистем та біорізноманіття є глобальним викликом ХХІ ст., що забезпечує природну стабільність біосфери на фоні збільшення рівня техногенного забруднення та погіршення стану навколишнього середовища [9; 10]. Проблеми, пов'язані з антропогенним впливом на довкілля, все більше визнаються на національному та міжнародному рівнях.

Ґрунт виконує багато екосистемних функцій, які є важливими для біосфери [2]. Міські ґрунти внаслідок урбанізації зазнають систематичних порушень (ущільнення, деградація, зміна покриву), що спричиняє безповоротні зміни структури природних популяцій рослин та тварин. У містах існує ряд ґрунтових умов – від відносно не порушених (як правило, на ділянках залишків рослинності та старих парках) до повністю технічних ґрунтів. Такі різноманітні умови формують мозаїку ґрунтових середовищ існування для підземної біоти [11; 12; 13]. Наявність актуальної інформації про стан ґрунтового покриву у просторі та часі є центральною для багатьох програм геомоніторингу.

Одними з найпоширеніших та важливих компонентів міської ґрунтової фауни є дощові черви, які розглядаються як корисні безхребетні організми, що покращують стан ґрунту. Унаслідок відносно високої чисельності у поверхневих ґрунтових шарах та чутливості до рівня забруднення середовища люмбрици часто використовуються як біоіндикатори оцінки стану едафотопу [14].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Вивчення видових комплексів дощових червів у біотопах міських урбоекосистем забезпечує виявлення осередків високого біорізноманіття, а також дозволяє здійснювати оцінку екологічного стану едафотопів на локальному рівні. Умовою забезпечення довгострокової стійкості елементів, що складають біорізноманіття, є збір та накопичення базової інформації (розподіл видів, їх біологія, умови середовища існування), необхідної для ефективного управління ними. Використання функціональних можливостей геоінформаційних систем є важливим для опису біорізноманіття, його просторово-часових змін, накопичення в базах даних інформації про екосистеми, моделювання та прогнозування їх динаміки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивченню фауни дощових червів різних міських едафотопів присвячено багато праць, зокрема, дослідження біорізноманіття люмбрицид проведено у парках [15; 16], міських ботанічних садах [17; 18], житлових дворах [5; 19], промислових зонах [5]. Унаслідок трансформації природних середовищ існування, у тому числі ґрунтового, види, які живуть у цих середовищах, неминуче знаходяться під загрозою [9]. Під час урбанізації зазвичай відбувається повна заміна природної відкритої землі будівлями або іншими непроникними спорудами, що змінює динаміку поширення видів у просторі. Зміни у ґрунтовому покриві та землекористуванні по-різному впливають на біорізноманіття [20].

Дистанційне зондування має значний потенціал як джерело інформації про біорізноманіття у ландшафтному, регіональному, континентальному та глобальному просторовому масштабі [12; 21]. Супутникові методи дистанційного зондування є цінним альтернативним джерелом інформації про характеристики екосистем у просторово-часових масштабах. Зображення дистанційного зондування та шари географічної інформаційної системи використовуються як предиктори в аналізі рослинності та моделюванні. Продукти дистанційного зондування здатні надавати безперервну просторово-часову інформацію про ключові фактори, що сприяють розподілу [22; 23].

Геоінформаційне моделювання є процесом створення моделей місцевості певних територій у середовищі геоінформаційних систем. Створені моделі візуалізують якісні та кількісні параметри моделюваної місцевості, відображають інтенсивність протікання природних процесів, дають об'єктивну оцінку стану об'єкта (міського середовища, окремих компонентів середовища, антропогенної діяльності) [24]. Геоінформаційне моделювання використовують для оцінки екологічних параметрів, які визначають просторовий розподіл рослин і тварин за допомогою створених шарів карти та баз даних, поясненні закономірностей поширення видів флори та фауни у природі та оцінюванні впливу змін умов середовища на їх розподіл [25]. Рядом авторів проведено численні дослідження щодо оцінки просторового та часового розподілу видів рослин за допомогою геоінформаційних систем [26-31].

У дослідженні тварин інструменти геоінформаційних систем використовувалися з метою встановлення меж екологічної толерантності на основі моделювання екологічної ніші [32], картографування придатних для землекористування територій [33], розгляду моделей передачі хвороб і просторової структури популяцій тварин [34], встановлення пріоритетів збереження видів та аналізу просторового зв'язку між місцевими породами [35], вивчення ступеню екологічної стійкості видів птахів-предків для оцінки успішності одомашнення [36].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Метою дослідження є вивчення фауни дощових черв'їв (*Lumbricidae*) в урбанізованому середовищі міста Житомира. Відповідно до цієї мети сформульовано такі завдання: 1) встановити видовий склад та основні показники біорізноманіття комплексів дощових черв'їв; 2) розробити методологію використання регресійної моделі Random forest для моделювання просторового розподілу показників біорізноманіття на основі даних дистанційного зондування Землі; 3) оцінити можливість використання розробленого методологічного підходу для прогнозування просторового розподілу показників біорізноманіття комплексів дощових черв'їв в урбо-екосистемі міста Житомира.

**Новизна.** Вперше проведено дослідження видової різноманітності та структури комплексів дощових черв'їв в умовах урбоекосистеми міста Житомира. На основі зібраних даних та даних дистанційного зондування (космічні знімки Sentinel-1, Sentinel-2 та цифрова модель рельєфу Copernicus GLO30 DEM) вперше проведено моделювання просторового розподілу досліджуваних показників біорізноманіття з використанням методів машинного навчання (регресійна модель Random forest).

### Методологічне або загальнонаукове значення.

Перед зростаючими викликами, спричиненими антропогенною діяльністю та урбанізацією, ефективне планування і прийняття рішень щодо збереження біорізноманіття та екосистем є вкрай важливими завданнями сучасності. Геопросторове представлення статусу середовища існування стало ключовим питанням для планування збереження видів. Характеристики середовищ існування педобіонтів є основою для визначення пріоритетів у напрямку збереження біорізноманіття, у тому числі і дощових черв'їв. Запропонована методологія дозволяє ефективно прогнозувати просторовий розподіл значень показників біорізноманіття для великих територій, та оцінювати їх дистанційно на основі обмеженого обсягу даних польових досліджень.

**Матеріали та методи досліджень.** Матеріалом для дослідження, проведеного протягом березня–серпня 2024 року, послуговували 1921 екз. дощових черв'їв родини *Lumbricidae* із 330 вибірок (рис. 1). Збір матеріалу здійснювали в польових умовах методом ручного розкопування та пошарового розбирання ґрунтових проб об'ємом 0,125 м<sup>3</sup>. Територією дослідження обрано антропогенно-трансформовані біотопи м. Житомира – рекреаційні території, біоценози поблизу автодоріг, житлових забудов і діючих

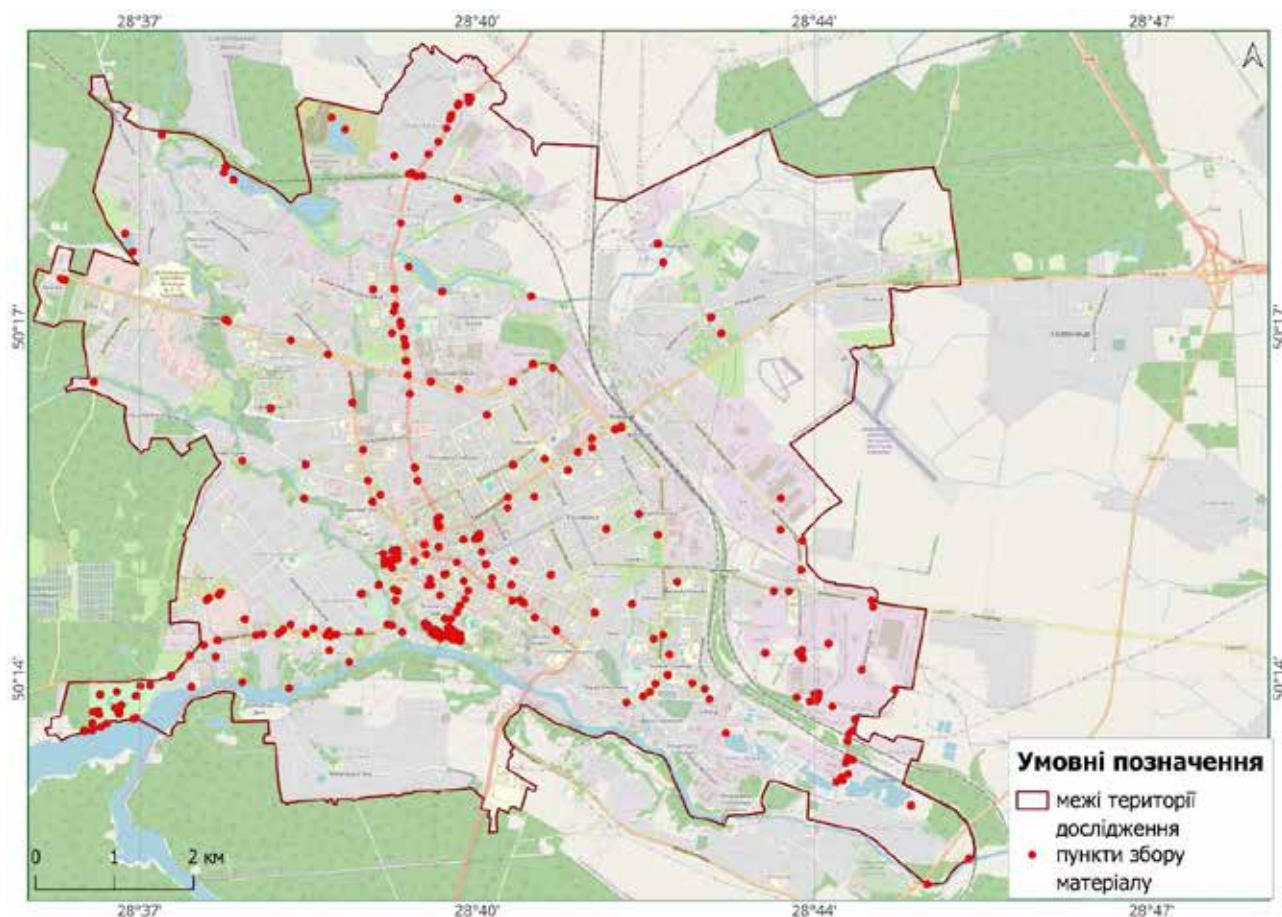


Рис. 1. Пункти збору матеріалу на території міста Житомира



промислових підприємств. Вибір проб здійснювали до нижньої межі, де траплялися черви.

Перед початком визначення, відібраних червів фіксували у 70% етиловому спирті, попередньо змивши під проточною водою слиз і частинки ґрунту з покривів тварин. Для встановлення видової приналежності червів користувалися наявними рекомендаціями [17]. Дослідження проводилося на базі кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка.

Для моделювання просторового розподілу показників біорізноманіття використано регресійну модель, що базується на методі машинного навчання Random forest [37], реалізованому на базі хмарного сервісу Google Earth Engine [38].

У якості еталонних даних та одного із предикторів в регресійній моделі використано точкові оцінки найбільш уживаних індексів біорізноманіття для видових комплексів дощових червів в урбоскопій міста Житомира (число видів, число особин, індекс домінування, індекс Шенона, індекс Брілуїна, індекс Менхінка, індекс Маргалефа). На основі точкових даних на першому етапі було створено растри, які містили значення відповідних показників біорізноманіття у пікселях, що співпадали з пунктами збору матеріалу (рис. 2). Для усіх інших пікселів растру було задано «відсутні» значення, оскільки для них не були встановлені оцінки досліджуваних показників. Аналіз проведено на основі модифікованого коду Java Script для Google Earth Engine [39].

У якості змінних в регресійній моделі окрім rasterизованих точкових оцінок біорізноманіття використано смуги висоти над рівнем моря та ухилу, обчислені з Copernicus GLO30 DEM, радарні дані

Sentinel-1 (смуги знімання VV та VH), а також спектральні дані Sentinel-2 (спектральні смуги B1-B8, B8A, B9, B11, B12) та спектральні індекси, розраховані на їх основі [39]:

нормалізований диференційний вегетаційний індекс:

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4);$$

модифікований нормалізований диференційний водний індекс:

$$MNDWI = (B3 - B11) / (B3 + B11);$$

нормалізований диференційний індекс забудови:

$$NDBI = (B11 - B8) / (B11 + B8);$$

вдосконалений вегетаційний індекс:

$$EVI = 2.5 * ((B8 - B4) / (B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1));$$

індекс відкритого ґрунту:

$$BSI = ((B11 + B4) - (B8 + B2)) / ((B11 + B4) + (B8 + B2)).$$

Для маскуванню захмарених ділянок космічних знімків Sentinel-2 використано набір даних Google CloudScore. Після завершення підготовки даних всі отримані зображення експортовано у папку ресурсів проекту в Google Earth Engine. Це гарантує можливість обробки великого набору даних, не стикаючись із обмеженнями цього хмарного сервісу.

На другому етапі будували регресійну модель для передбачення значень показників біорізноманіття для територій, де дані відсутні. При цьому смуги та індекси Sentinel-2, смуги Sentinel-1, смуги висоти та ухилу (всього 21 параметр) використовували в якості залежних змінних (предикторів), а rasterизовані точкові оцінки показників біорізноманіття як неза-



Рис. 2. Фрагмент rasterизованих точкових даних (індекс домінування)

лежну змінну (прогнозовану) у регресійній моделі. Після тренування моделі обчислювали середньоквадратичну похибку (RMSE), її відносне значення (RMSE %) та коефіцієнт детермінації  $r^2$ , які дозволяють оцінити отриману модель [37].

Для розрахунку показників біорізноманіття використано програмний пакет PAST 4.03. Для картографічної візуалізації даних використано програмний пакет Q-GIS 3.34.15.

**Виклад основного матеріалу.** Родина Lumbricidae охоплює великий ареал земної кулі з фактично придатними для життєдіяльності ділянками суші, що свідчить про виняткову екологічну пристосованість дощових черв'яків. Існування у межах родини видів із широкими межами ареалу вказує на наявність відмінностей у пристосованості окремих видів до різних умов існування [17]. На досліджуваній території міста виявлено десять видів дощових черв'яків, що належать до шести родів (Aporrectodea, Lumbricus, Octolasion, Dendrobaena, Eisenia та Eiseniella) родини Lumbricidae: *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) (частота трапляння – 91,31%), *A. rosea* (Savigny, 1826) (49,30%), *A. trapezoides* (Duges, 1828) (10,41%), *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758) (33,33%), *L. castaneus* (Savigny, 1826) (9,02%), *L. rubellus* (Savigny, 1826) (2,08%), *Octolasion lacteum* (Örley, 1885) (4,51%), *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826) (7,98%), *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) (2,77%) та *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) (2,08%) (рис. 3).

Для оцінки біорізноманіття комплексів дощових черв'яків в урбоекосистемі міста Житомира розраховано 7 стандартних параметрів: число особин у вибірці, число видів у вибірці та сім індексів біорізноманіття (табл. 1). Як видно з наведених даних число особин у вибірці варіювало в широких межах від 1 до 29 екземплярів. Однак середнє значення (5,82 екз.) свідчить про достатньо низьку чисельність досліджуваних тварин у більшості проб. Аналогічна закономірність спостерігається і стосовно числа видів, відмічених у пробі. Максимальне число зареєстрованих видів становило шість, тоді як середнє значення – лише 2,15. Це доводить, що видова різноманітність дощових черв'яків у більшості аналізованих проб також низька. Що стосується індексів біорізноманіття, то серед 330 проаналізованих проб зустрічаються різноманітні їх значення починаючи від вирівняної структури комплексу з майже не вираженими домінантами до комплексів з чітко вираженими домінантами і крайнього варіанту – моновидового комплексу (табл. 1).

Така різноманітність структури комплексів, свідчить, що територія міста є дуже неоднорідною за екологічними умовами. У більшості випадків ці умови не дуже сприятливі для дощових черв'яків, про що свідчить низька їх чисельність і видова різноманітність та чітко виражені домінанти. В ряді випадків умови існування навпаки є сприятливими, що проявляється у зростанні чисельності та видової різноманітності

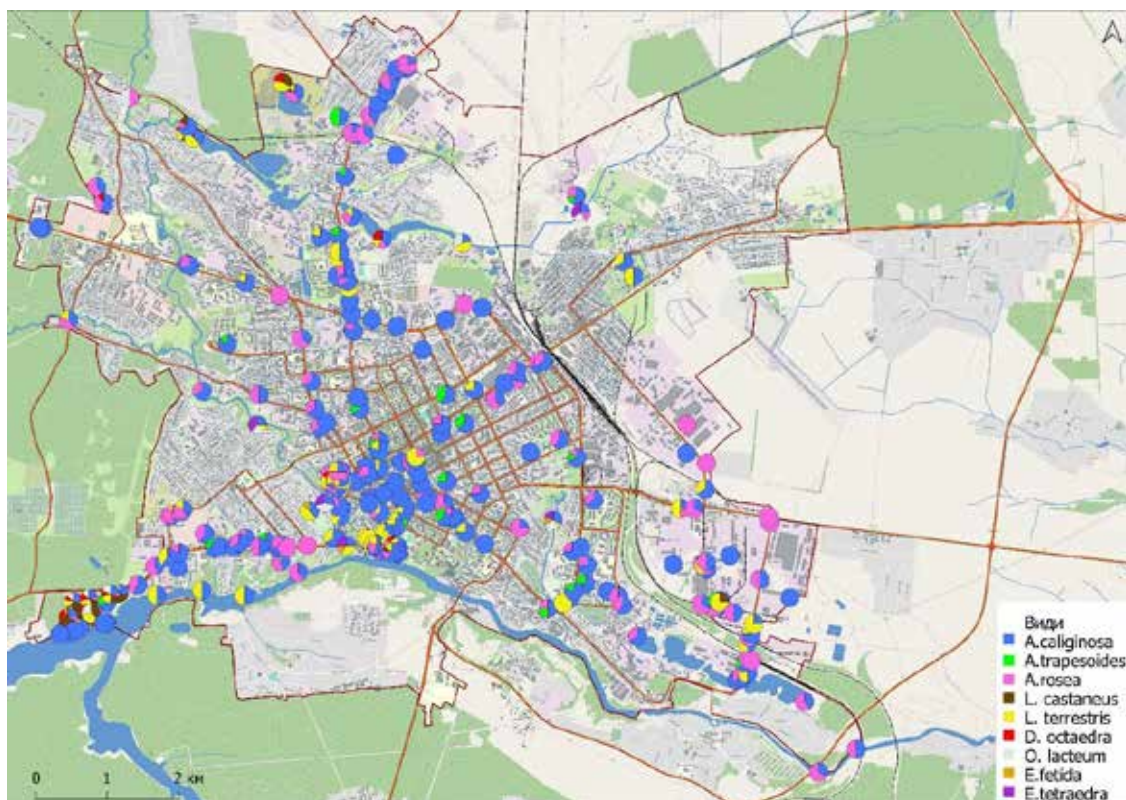


Рис. 3. Представленість у пробах виявлених видів дощових черв'яків

Таблиця 1

## Статистичні оцінки показників біорізноманіття комплексів дощових черв'їв міста Житомира

| Показники          | Mean | Min  | Max   | SE   |
|--------------------|------|------|-------|------|
| Число видів        | 2,15 | 1,00 | 6,00  | 0,06 |
| Число особин       | 5,82 | 1,00 | 29,00 | 0,22 |
| Індекс домінування | 0,62 | 0,19 | 1,00  | 0,01 |
| Індекс Шенона      | 0,59 | 0,00 | 1,73  | 0,02 |
| Індекс Брілуїна    | 0,41 | 0,00 | 1,43  | 0,02 |
| Індекс Менхініка   | 0,93 | 0,35 | 1,79  | 0,02 |
| Індекс Маргалефа   | 0,65 | 0,00 | 1,90  | 0,03 |

Таблиця 2

## Оцінки отриманих моделей просторового розподілу показників біорізноманіття

| Параметр біорізноманіття | R <sup>2</sup> | RMSE | RMSE % |
|--------------------------|----------------|------|--------|
| Число видів              | 0,92           | 0,32 | 14,88  |
| Число особин             | 0,93           | 0,96 | 16,49  |
| Індекс домінування       | 0,93           | 0,08 | 12,90  |
| Індекс Шенона            | 0,92           | 0,15 | 25,42  |
| Індекс Брілуїна          | 0,92           | 0,10 | 24,39  |
| Індекс Менхініка         | 0,92           | 0,11 | 11,83  |
| Індекс Маргалефа         | 0,92           | 0,18 | 27,69  |

цих організмів. Очікуваною є мозаїчність просторового розподілу показників біорізноманіття, оскільки біотопи урбоєкосистеми сильно фрагментовані дорожньою мережею та забудовою. Саме це послужило підставою для більш детального аналізу закономірностей просторового розподілу досліджуваних показників.

Використання методу машинного навчання Random Forest дозволило отримати достатньо надійну регресійну модель просторового розподілу показників біорізноманіття. У всіх випадках значення коефіцієнту детермінації ( $R^2$ ) перевищувало 0,92 (табл. 2, рис. 4), а отже отримана модель здатна пояснити понад 90% варіації залежної змінної.

Оскільки на значення коефіцієнта детермінації суттєво впливає кількість використаних предикторів, для оцінки моделі нами також використано корінь середньої квадратичної похибки (RMSE), який розраховується в одиницях прогнозованого показника, що ускладнює порівняння показників з різною розмірністю. Тому на його основі розраховано відносну середню квадратичну похибку (RMSE %), як відсоток від середнього значення показника. Цей показник оцінює середнє відхилення у відсотках між прогнозованим та фактичним значенням. У нашому випадку значення RMSE % достатньо низькі і коливаються від 11,83 до 27,69, що свідчить про достатньо високу ефективність моделі (табл. 3).

Як видно з рис. 5, отримана модель дозволяє достатньо надійно прогнозувати значення показників біорізноманіття для комплексів дощових черв'їв

на досліджуваній території. Модель просторового розподілу чисельності дощових черв'їв (рис. 5.1) свідчить, що у сильно фрагментованих біотопах у зонах щільної дорожньої мережі та забудови значення цього показника мінімальне.

Воно закономірно зростає в зелених зонах міста та в заплавах річок. Це цілком закономірний результат, оскільки у вказаних зонах міста спостерігається менш інтенсивний антропогенний вплив на середовище існування дощових черв'їв, а також вища вологість ґрунту, що сприятливо позначається на чисельності педобіонтів. Подібний характер просторового розподілу спостерігається і у випадку числа виявлених видів (рис. 5.2).

Що стосується індексів біорізноманіття, то у цьому випадку спостерігається два протилежних типи просторового розподілу. У випадку індексу домінування мінімальні значення показника спостерігаються в біотопах, які менше піддаються антропогенному навантаженню (рис. 5.3). Так в долинах річок і зелених зонах міста, для яких характерна вища загальна чисельність та видова різноманітність дощових черв'їв доміанти менш виражені і відповідно значення індексу домінування є низькими. По мірі зростання антропогенного навантаження та фрагментації біотопів дорожньою мережею та забудовою доміанти стають більш вираженими до моновидових комплексів включно. У випадку інших аналізованих індексів спостерігається протилежний тип просторового розподілу. Наприклад, значення індексу Шенона (рис. 5.4) закономірно знижуються по мірі збіднення видової різноманітності комплек-



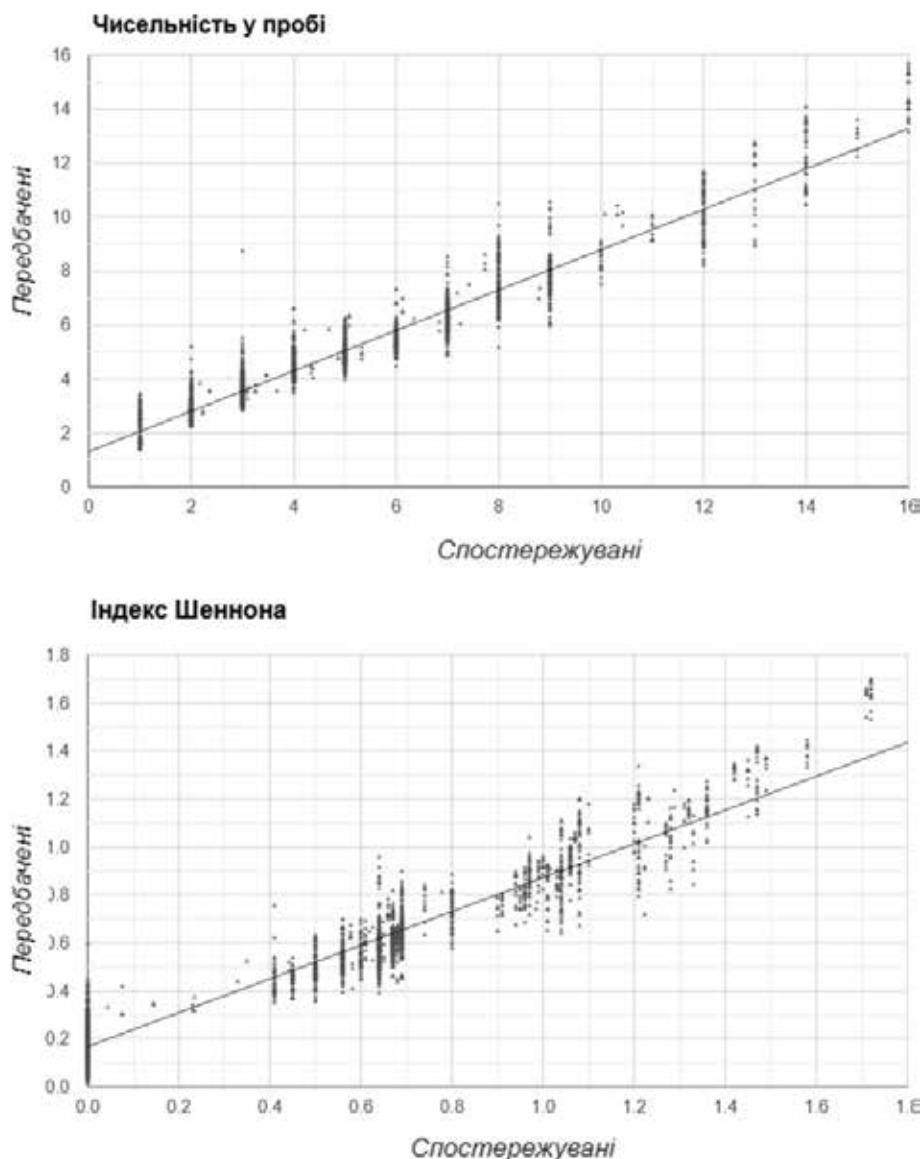


Рис. 4. Приклади кореляційних полів спостережуваних та прогнозованих значень показників біорізноманіття для отриманої регресійної моделі

сів дощових черв'яків в умовах підвищеного антропогенного навантаження.

**Головні висновки.** У результаті дослідження фауни дощових черв'яків в урбанізованому середовищі міста Житомира встановлено, що вона представлена десятьма видами, що належать до шести родів родини Lumbricidae: *A. caliginosa*, *A. rosea*, *A. trapezoides*, *L. terrestris*, *L. castaneus*, *L. rubellus*, *O. lacteum*, *D. octaedra*, *E. fetida* та *E. tetraedra*. Число особин у вибірці варіювало в широких межах (від 1 до 29 екз.) при середньому значенні – 5,82 екз., що свідчить про достатньо низьку чисельність досліджуваних тварин у більшості випадків. Видова різноманітність дощових черв'яків у більшості аналізованих проб також низька (максимальне число видів – 6, середнє значення – 2,15).

Значення використаних індексів біорізноманіття свідчать, що на досліджуваній території структура комплексів дощових черв'яків варіює від вирівняної з майже не вираженими домінантами до комплексів з чітко вираженими домінантами (моновидових включно).

Використання методу машинного навчання Random Forest дозволило отримати ефективну та надійну регресійну модель просторового розподілу показників біорізноманіття ( $R^2 > 0,92$ , RMSE % = 11,83 – 27,69), яка здатна пояснити понад 90% варіації залежної змінної. Прогноз, отриманий на основі моделі свідчить, що осередками біорізноманіття в урбоєкосистемі міста Житомира є зелені зони та долини річок, які менше піддаються антропогенному навантаженню і характеризуються



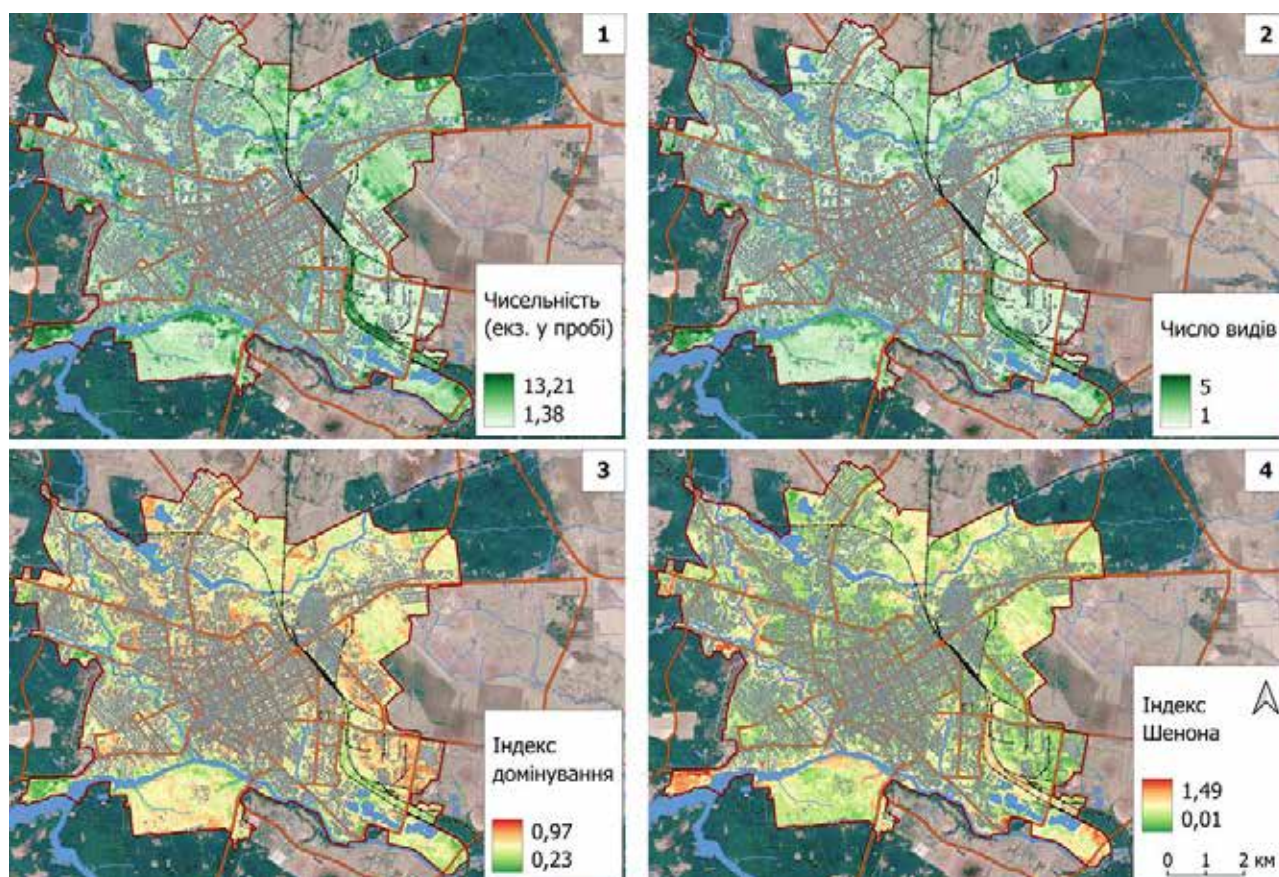


Рис. 5. Приклади картографічної візуалізації моделей просторового розподілу показників біорізноманіття

сприятливішими для дощових черв'яків едафічними умовами.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати можуть бути використані при проведенні подальших локальних досліджень фауни дощових черв'яків в урбоценозах України.

Запропонована методологія моделювання показників біорізноманіття на основі методу машинного навчання Random Forest може застосовуватись для моделювання показників біорізноманіття не лише дощових черв'яків, але й широкого спектру інших груп біонтів як в урбанізованому середовищі, так і в природних біотопах.

### Література

1. Ellis E.C. Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs*. 2015. Vol. 85(3). P. 287–331. DOI: 10.1890/14-2274.1.
2. Schittko C., Onandia G., Bernard-Verdier M., Heger T., Jeschke M.J., Kowarik I., Maaß S., Joshi J. Biodiversity maintains soil multifunctionality and soil organic carbon in novel urban ecosystems. *Journal of Ecology*. 2022. Vol. 110(4). P. 916–934. DOI: 10.1111/1365-2745.13852.
3. Колодочка О.М. Еколого-гігієнічна оцінка забруднення ґрунту і суміжних об'єктів довкілля важкими металами та їх впливу на здоров'я населення в умовах техногенного навантаження: дис. ... канд. мед. наук: 03.00.16. Київ, 2004. 185 с.
4. Hansen A.J., Knight R.L., Marzluff J.M., Powell S., Brown K., Gude P.H., Jones K. Effects of exurban development on biodiversity: Patterns, mechanisms, and research needs. *Ecological Applications*. 2005. Vol. 15(6). P. 1893–1905. DOI: 10.1890/05-5221.
5. Стернік В.М. Біотична активність урбоедафотопів міста Рівне: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Рівне, 2017. 179 с.
6. Wall D.H., Nielsen U.N., Six J. Soil biodiversity and human health. *Nature*. 2015. Vol. 528. P. 69–76. DOI: 10.1038/nature15744.
7. Benítez-López A., Santini L., Schipper A.M., Busana M., Huijbregts M.A.J. Intact but empty forests? Patterns of hunting-induced mammal defaunation in the tropics. *PLoS Biol.* 2019. Vol. 17(5). P. e3000247. DOI: 10.1371/journal.pbio.3000247.
8. Chaudhary S., McGregor A., Houston D., Chettri N. The evolution of ecosystem services: a time series and discourse-centered analysis. *Environ. Sci. Pol.* 2015. Vol. 54. P. 25–34. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.04.025.
9. Groombridge B., Jenkins M.D. World Atlas of Biodiversity. Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA. 2002. 360.
10. Condro A.A., Tsuyuki S. Projected impacts of climate change and anthropogenic effects on habitat distribution of endangered Javan Hawk-Eagle in Indonesia. *Geography and Sustainability*. 2024. Vol. 5(2). P. 241–250. DOI: 10.1016/j.geosus.2024.01.009.
11. Мірзак О.В. Екологічні особливості едафотопів урбанізованих територій степової зони України (на прикладі м. Дніпропетровська): автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2001. 19 с.

12. Nagendra H. Using remote sensing to assess biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*. 2001. Vol. 22(12). P. 2377–2400. DOI: 10.1080/01431160117096.
13. Тітенко Г.В. Оцінка екологічного стану міських ґрунтів як засіб оптимізації території. *Вісник Сумського державного університету. Технічні науки*. 2006. № 5(89). С. 149–152.
14. Fründ H.C., Egbert E., Dümbeck G. Spatial distribution of earthworms [Lumbricidae] in recultivated soils of the Rhenish lignite-mining area, Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2004. Vol. 167(4). P. 494–502. DOI: 10.1002/jpln.200421372.
15. Schlaghamerský J., Pižl V. Enchytraeids and earthworms (Annelida: Clitellata: Enchytraeidae, Lumbricidae) of parks in the city of Brno, Czech Republic. *Soil Organisms*. 2009. Vol. 81. P. 145–173.
16. Гарбар О., Мороз В., Гарбар Д., Ворончук Л., Даниловська Н. Структура угруповань дощових черв'яків в урбанізованих біотопах Центрального Полісся. *GEO&BIO*. 2023. Т. 24. С. 173–182. DOI: 10.15407/gb2412.
17. Жуков О.В., Пахомов О.Є., Кунах О.М. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Дощові черв'яки (Lumbricidae): монографія / за заг. ред. проф. О.Є. Пахомова. Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2007. 371 с.
18. Tresch S., Moretti M., Bayon Le R.C., Mäder P., Zanetta A., Frey D., Fliessbach A. A gardener's influence on urban soil quality. *Front. Environ. Sci.* 2018. Vol. 6. P. 25. DOI: 10.3389/fenvs.2018.00025.
19. Smetak K.M., Johnson-Maynard J.L., Lloyd J.E. Earthworm population density and diversity in different-aged urban systems. *Appl. Soil Ecol.* 2007. Vol. 37. P. 161–168. DOI: 10.1016/j.apsoil.2007.06.004.
20. Lembrechts J.J., Alexander J.M., Cavieres L.A., Haider S., Lenoir J., Kueffer C., McDougall K., Naylor B.J., Nuñez M.A., Pauchard A., Rew L.J., Nijs I., Milbau A. Mountain roads shift native and non-native plant species' ranges. *Ecography (Cop.)*. 2017. Vol. 40. P. 353–364. DOI: 10.1111/ecog.02200.
21. Turner W., Spector S., Gardiner N., Fladeland M., Sterling E., Steininger, M. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*. 2003. Vol. 18(6). P. 306–314. DOI: 10.1016/S0169-5347(03)00070-3.
22. Dirnböck T., Dullinger S., Grabherr G. A regional impact assessment of climate and land use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*. 2003. Vol. 30(3). P. 401–417. DOI: 10.1046/j.1365-2699.2003.00839.x.
23. Graves J.S., Asner P.G., Martin E.R., Anderson B.Ch., Colgan S.M., Kalantari L., Bohlman A.S. Tree Species Abundance Predictions in a Tropical Agricultural Landscape with a Supervised Classification Model and Imbalanced Data. *Remote Sensing*. 2016. Vol. 8(2). P. 161. DOI: 10.3390/rs8020161.
24. Костріков С.В. Геоінформаційне моделювання природно-антропогенного довкілля: монографія. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. 484 с.
25. Lozano-Jaramillo M., Bastiaansen J.W.M., Dessie T., Komen H. Use of geographic information system tools to predict animal breed suitability for different agro-ecological zones. *Animal*. 2019. Vol. 13(7). P. 1536–1543. DOI: 10.1017/S1751731118003002.
26. Roy P.S., Tomar S. Biodiversity Characterisation at Landscape level using Geospatial Modelling Technique. *Biological Conservation*. 2000. Vol. 95. № 1. P. 95–109. DOI: 10.1016/S0006-3207(99)00151-2.
27. Roy P.S., Behera M.D. Assessment of biological richness in different altitudinal zones in the Eastern Himalayas, Arunachal Pradesh, India. *Current Science*. 2005. Vol. 88(2). P. 250–257.
28. Yang X., Skidmore A.K., Melick D.R., Zhou Z., Xu J. Mapping non-wood forest product (matsutake mushrooms) using logistic regression and a GIS expert system. *Ecological Modelling*. 2006. Vol. 198. P. 208–218.
29. Porwal M.C., Sharma L., Roy P.S. Stratification and mapping of Ephedra gerardiana Wall. in Poh (Lahul and Spiti) using remote sensing and GIS. *Current Science*. 2013. Vol. 84. № 2. P. 208–212.
30. Sahragard H.P., Zare Chahouki M.A. An evaluation of predictive habitat models performance of plant species in Hoze soltan rangelands of Qom province. *Ecological Modelling*. 2015. Vol. 309–310. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2015.04.005.
31. Gamal E., Khderi G., Morsy A., Ali M., Hashim A., Saleh H. GIS based modelling to aid conservation of two endangered plant species (*Ebenus armitagei* and *Periploca angustifolia*) at Wadi Al-Afreet, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. Vol. 19. 2020. P. 100336. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100336.
32. Гарбар О.В., Романюк Р.К., Доценко І.Б. Інвазійний потенціал *Darevskia Armeniaca* (Méhely, 1909) в Україні: оцінка на основі ГІС-моделювання екологічної ніші. *Український журнал природничих наук*. 2022. № 1. С. 43–59. DOI: 10.35433/naturaljournal.1.2023.43-59.
33. Kalivas D.P., Apostolopoulos C.D. The use of GIS to improve the resources utilisation of mountain areas: the case of sheep and goat breeding in the Greek regions of Thessaly and Epirus. *The European Association for Animal Production*. 2005. Vol. 115. P. 466–472. DOI: 10.3920/9789086865611\_085.
34. Cringoli G., Rinaldi L., Musella V., Veneziano V., Maurelli M.P., Pietro Di F., Frisiello M., Pietro Di S. Geo-referencing livestock farms as tool for studying cystic echinococcosis epidemiology in cattle and water buffaloes from southern Italy. *Geospatial Health*. 2007. Vol. 2(1). P. 105–111. DOI: 10.4081/gh.2007.259.
35. Bertaglia M., Joost S., Roosen J. Identifying European marginal areas in the context of local sheep and goat breeds conservation: a geographic information system approach. *Agricultural Systems*. 2007. Vol. 94(3). P. 657–670.
36. Pitt J., Gillingham P., Maltby M., Stewart J.R. New perspectives on the ecology of early domestic fowl: an interdisciplinary approach. *Journal of Archaeological Science*. 2016. Vol. 74(9). P. 1–10. DOI: 10.1016/j.jas.2016.08.004.
37. Shendryk Y. Fusing GEDI with earth observation data for large area aboveground biomass mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2022. Vol. 115(6). P. 103108. DOI: 10.1016/j.jag.2022.103108.
38. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
39. Gandhi U. Estimating Above Ground Biomass using Random Forest Regression in GEE. URL: <https://spatialthoughts.com/2024/02/07/agb-regression-gee/> (дата звернення: 15.10.2024).

UDC 582.3/.99-022.348(23)(292.451/.454)(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.15>

## AGE STRUCTURE OF POPULATIONS OF THE GENUS *GENTIANA* L. IN THE HIGHLANDS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Hlushak D., Gniezdilova V., Riznychuk N., Melnychenko H.

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

Galytska str., 201b, 76008, Ivano-Frankivsk

dmytro.hlushak.22@pnu.edu.ua, viktoria.gniezdilova@pnu.edu.ua,

nadiia.riznychuk@pnu.edu.ua, halyna.melnichenko@pnu.edu.ua

Under increasing anthropogenic pressure, the issue of biodiversity conservation, restoration, and protection is becoming increasingly important. The article analyzes the age structure and population status of rare species of the genus *Gentiana* L. Specifically, *Gentiana acaulis* L. and *Gentiana punctata* L., *Gentiana lutea* L., and *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz. The studied species grow in the highlands of the Ukrainian Carpathians and belong to vulnerable and endemic plants. They are rare and listed in the Red Data Book of Ukraine as well as the Red List of the International Union for Conservation of Nature.

After studying the populations of the genus *Gentiana* L. in the highlands of the Ukrainian Carpathians, it was found that the largest population was *G. punctata*, while the smallest was *G. acaulis*. In contrast, *G. lutea* is characterized by the presence of isolated populations with a relatively large area (ranging from 4 to 45 ha) and density (1.9–6.7 individuals/m<sup>2</sup>). Thus, *G. punctata* and *G. acaulis* have formed so-called metapopulation structures, consisting of small populations. The age structure of *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz is characterized by a small, isolated population, where pre-generative age groups predominate.

Each year, the population size and density of the genus *Gentiana* L. decrease, and their structure is also disrupted. The main reasons for this decline include the use of *G. lutea* and *G. punctata* rhizomes for traditional and official medicine, cattle grazing, and trampling of trails by tourists. In addition to anthropogenic impacts, natural factors also influence population structure, such as a lack of pollinating insects, temperature variations, the presence of pests, and slope exposure. Another important factor contributing to the decline in populations is their low ecological plasticity, which makes adaptation to changing environmental conditions difficult. **Key words:** population, age structure, rare species, *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L., *Gentiana lutea* L., and *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz.

**Вікова структура популяцій роду *Gentiana* L. у високогір'ї українських Карпат. Глушак Д.Д., Гнєзділова В.І., Різничук Н.І., Мельниченко Г.М.**

В умовах зростаючого антропогенного тиску питання збереження, відновлення та захисту біорізноманіття набуває дедалі більшого значення. У статті проаналізовано вікову структуру та стан популяцій рідкісних видів роду *Gentiana* L. А саме, *Gentiana acaulis* L. та *Gentiana punctata* L., *Gentiana lutea* L. та *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz. Досліджувані види зростають у високогір'ї Українських Карпат і належать до вразливих та ендемічних рослин. Вони є рідкісними і занесені до Червоної книги України та до Червоного списку Міжнародного союзу охорони природи.

Дослідивши популяції роду *Gentiana* L. у високогір'ї Українських Карпат, було виявлено, що найбільшою виявилась популяція *Gentiana punctata*, а найменшою – *Gentiana acaulis*. А от для *Gentiana lutea* характерною є наявність ізольованих популяцій з порівняно великою площею (від 4 до 45 га) та щільністю (1,9–6,7 особини/м<sup>2</sup>). Так *Gentiana punctata* та *Gentiana acaulis* сформували так звані метапопуляційні організації, склад яких налічує малі популяції. Вікова структура *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz характеризується невеликою, ізольованою популяцією, в якій переважають передгенеративні вікові групи.

З кожним роком чисельність і щільність популяцій роду *Gentiana* L. зменшується, а також порушуються їхня структура. Основними причинами є використання кореневищ *Gentiana lutea* та *Gentiana punctata* для потреб народної та офіційної медицини, випасу рогатої худоби, витоптування стежок туристами. Крім антропогенних впливів на структуру популяції впливають і природні чинники: недостатня кількість комах запилювачів, температура, наявність шкідників, експозиція схилу. Ще одним важливим фактором, який впливає на зменшення кількості популяцій є їхня низька екологічна пластичність, що сприяє складності пристосування до змінних умов навколишнього середовища. **Ключові слова:** популяція, вікова структура, рідкісні види, *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L., *Gentiana lutea* L. та *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz.

**General statement of the problem.** Under the conditions of increasing anthropogenic pressure, the issue of conserving, restoring, and protecting biodiversity is becoming increasingly important, especially the populations of rare plant species as components of natural mountain and high-altitude ecosystems. The species of the genus *Gentiana* L. growing in the highlands of the Ukrainian Carpathians are classified as vulnerable and endemic. They are listed in the Red Data Book of

Ukraine and the Red List of the International Union for Conservation of Nature [1, 2].

The specific features of their biomorphology, age and spatial structure, density and population size, individual ontogenesis, as well as conservation and survival strategies in the conditions of the Ukrainian Carpathians remain insufficiently studied.

Plants of all species of the genus *Gentiana* L. have significant ornamental value, and some are medicinal.

The mass picking, trampling, and uprooting of the highly popular medicinal plants *Gentiana acaulis* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana lutea* L., and *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz by locals and tourists have led to the destruction of certain populations of these species [3].

The reduction of their range is leading to the gradual disappearance of these plant species in the Ukrainian Carpathians. In this regard, there is a need to study the current state of rare plants and to identify the causes of the reduction in their range and population size in the Ukrainian Carpathians.

#### **Analysis of recent research and publications.**

Many Ukrainian scientists (Chopyk V.I., Malynovskyi K.A., Moskaliuk B.I., Kryz O.P., Cherepanin R.M., Kiyak V.G., and others) have devoted significant attention to studying the genus *Gentiana* L. To date, the distribution and ecological-biological characteristics of the species of this genus have been described and studied. However, proper attention is not given to the conservation of the genus and the preservation of populations in the highlands of the Ukrainian Carpathians. An analysis of literary sources and our own expedition research indicates a decline in the number of habitats of *Gentiana* L. representatives and a disruption of their population structure.

**The purpose of the article.** The purpose of the study was to determine the age structure and condition of populations of rare species of the genus *Gentiana* L. based on comprehensive population research. The object of the study: high-altitude species of the genus *Gentiana*: *G. punctata* L., *G. acaulis* L., *G. lutea* L., and *G. laciniata* Kit. ex Kanitz.

**Presentation of the main research material.** The research was conducted in various areas: the Chornohora, Svidovets, and Maramureș massifs, at altitudes ranging from 1400 to 2000 meters above sea level. Route and stationary research methods were applied, aimed at studying the structure and dynamics of populations of rare and endemic plant species [3, 4].

The genus *Gentiana* L. plays an important role in human life. These are primarily medicinal plants that have been used in the folk medicine of various countries for thousands of years (China, India, and others). Significant changes have occurred in the populations of certain species of the genus *Gentiana* L. in the Ukrainian Carpathians, specifically *G. punctata* L., *G. acaulis* L., *G. lutea* L., and *G. laciniata* Kit. ex Kanitz. These species are found only in the highlands of the Carpathians in Ukraine, which is why they are listed in the Red Data Book of Ukraine. *G. punctata* is classified as vulnerable, while *G. acaulis* is considered a rare species [2].

*Gentiana punctata* L. is a perennial, mid-European, high-altitude species. It is found in the subalpine and alpine zones. In the Ukrainian Carpathians, it grows in the Gorgany, Chornohora, Maramureș Alps, Svidovets, and Chivchyn Mountains. This medicinal, red-listed species is widely used by the local population for folk medicine purposes [2].

*Gentiana acaulis* L. is a mid-European high-altitude species, with its range extending across the Alps and the mountains of Southern Europe. In Ukraine, it is found only in the Carpathians, where the eastern boundary of its distribution lies, specifically in Chornohora, Svidovets, Maramureș, Chivchyn, Gorgany, and the Beskids. The species grows on rocks, stony soils, fresh grass-covered rocky slopes, and high-altitude meadows within the altitude range of 1250-1950 meters above sea level [2].

*Gentiana lutea* L. is a high-altitude subalpine relict species found in Europe, particularly in the southern and central parts of the continent. A small part of its range also extends into the northwestern part of Minor Asia. In Ukraine, *Gentiana lutea* L. grows only in the Ukrainian Carpathians, specifically in Chornohora, Svidovets, Maramureș Alps, and Gorgany, within the altitude range of 1650-1920 meters above sea level. It is a perennial plant, rare and listed in the Red Data Book of Ukraine (Category I), and is both a nectar-producing and ornamental plant [2].

*Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz is an endemic high-altitude species that grows in the eastern Carpathians, specifically in the Borzhava, Svidovets, Chornohora, Maramureș massif, and Chivchyn mountains, within the altitude range of 1680-2000 meters above sea level. It thrives on scree, rocks, stony soils, and high-altitude meadows of the subalpine and alpine zones. *Gentiana laciniata* is a high-altitude species with a disjunctive range [2].

The results of the analysis of the ontogenetic structure of the *Gentiana lutea* populations are presented in Table 1.

The study of the age structure showed that the populations of *G. lutea* are normal and full-membered. In the first population, immature individuals dominate, while in the second population, generative individuals prevail. Juvenile, immature, and virgin individuals in both associations make up more than 50% of the total population across all age groups. Therefore, it has been determined that the number of generative individuals represents an average proportion, ranging from 23.6% to 43.7% (Table 1). The number of senile individuals is 0.5%. A noticeable pattern can be observed here: with intensive grazing, younger age groups begin to play a significant role in maintaining the population.

According to the results of the conducted research, 31 habitat of *Gentiana punctata* has been identified in the Ukrainian Carpathians. The largest population of *G. punctata* is located on Mount Breskul, while smaller populations of the Chornohora metapopulation are found on Mounts Hoverla and Hutin Tomnatyk. During the study, a metapopulation was discovered on Mount Pip Ivan Maramureș, which is characterized by the highest density (7.2 individuals per m<sup>2</sup>), but occupies a relatively small area compared to other populations (Table 2).

The maximum in the ontogenetic spectrum is observed in the pre-reproductive group: 63.5% on Mount

Table 1

Population parameters of *Gentiana lutea* L.

| Habitat, slope exposure, altitude above sea level | Habitat area, m <sup>2</sup> | Number of mature individuals, pcs. | Number of pre-reproductive individuals, pcs. | Number of generative individuals, pcs. | Regeneration index, % | Population regeneration coefficient, % | Replacement index, % |
|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 1. Mount Pip Ivan, Maramureș, southwest, 1900 m   | 360                          | 780                                | 270                                          | 220                                    | 1,22                  | 0,28                                   | 0,34                 |
| 2. Mount Petros, southeast, 1600 m                | 250                          | 600                                | 370                                          | 420                                    | 0,88                  | 0,7                                    | 0,61                 |

Table 2

Population parameters of *Gentiana punctata* L.

| Habitat, slope exposure, altitude above sea level | Habitat area, m <sup>2</sup> | Number of mature individuals, pcs. | Number of pre-reproductive individuals, pcs. | Number of generative individuals, pcs. | Regeneration index, % | Population regeneration coefficient, % | Replacement index, % |
|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 1. Mount Breskul, northwest, 1900 m               | 210                          | 420                                | 630                                          | 350                                    | 1,8                   | 0,83                                   | 1,5                  |
| 2. Mount Pip Ivan, Maramureș, southwest, 1850 m   | 850                          | 350                                | 770                                          | 230                                    | 3,34                  | 0,62                                   | 2,2                  |

Table 3

Population parameters of *Gentiana acaulis* L.

| Habitat, slope exposure, altitude above sea level | Habitat area, m <sup>2</sup> | Number of mature individuals, pcs. | Number of pre-reproductive individuals, pcs. | Number of generative individuals, pcs. | Regeneration index, % | Population regeneration coefficient, % | Replacement index, % |
|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 1. Mount Pip Ivan, Maramureș, southwest, 1900 m   | 480                          | 700                                | 625                                          | 450                                    | 1,38                  | 0,64                                   | 0,88                 |
| 2. Mount Hoverla, northeast, 2000 m               | 750                          | 450                                | 780                                          | 310                                    | 2,51                  | 0,68                                   | 1,73                 |

Breskul and 77.1% on Mount Hoverla, where virginile period plants dominate. In the population on Mount Pip Ivan Maramureș, compared to the Hoverla and Breskul populations, the percentage of generative individuals is lower (18.76% and 33.1%, respectively). The post-generative group plants in the Pip Ivan partial population (10%) are twice as numerous as in the Breskul population (5.2%). Thus, the *G. punctata* population on Mount Breskul can be classified as a young, thriving population, which is explained by the high percentage of seedlings and generative individuals, as well as the large area of the population. However, the partial population on Mount Pip Ivan Maramureș is also young and exhibits

high vitality, as indicated by the high individual density and their generative reproduction.

When studying *Gentiana acaulis*, the highest density was found in the subpopulation on Mount Petros, which undergoes intensive grazing. In the subpopulation on Mount Hoverla, anthropogenic pressure is exerted through excessive recreational impact. As a result, the density is somewhat lower, reaching up to 3 individuals/m<sup>2</sup> (Table 3).

When studying the Maramureș population of *Gentiana acaulis*, the average population density is 3.9 individuals per m<sup>2</sup>. The population is characterized as normal and full-membered, with a predominance of



Table 4

Population parameters of *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz

| Habitat, slope exposure, altitude above sea level | Habitat area, m <sup>2</sup> | Number of mature individuals, pcs. | Number of pre-reproductive individuals, pcs. | Number of generative individuals, pcs. | Regeneration index, % | Population regeneration coefficient, % | Replacement index, % |
|---------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 1. Mount Hoverla, northeast, 1900 m               | 80                           | 300                                | 150                                          | 210                                    | 0,71                  | 0,7                                    | 0,5                  |
| 2. Mount Turkul, southwest, 1800 m                | 150                          | 280                                | 100                                          | 180                                    | 0,55                  | 0,64                                   | 0,35                 |

generative individuals in the age spectrum (43.1%). In the Hoverla population of *Gentiana acaulis*, generative reproduction is suppressed. The average population density is 1.5 individuals per m<sup>2</sup>. This population is regressive and is characterized by a predominance of virginile individuals in the age spectrum, making up 55%. In all the studied populations of *G. acaulis*, the maximum in the age spectrum is observed in the pre-reproductive group.

Two populations of *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz were studied on the Chornohora Ridge, specifically on Mount Hoverla and Turkul. These two populations occupy small areas (around 0.1 ha), and they have incomplete age spectra, lacking immature and juvenile plants.

This is one of the main reasons for the small population size. On Mount Hoverla, the population density varies from 4 to 9 individuals per m<sup>2</sup>, while on Mount Turkul, it ranges from 6 to 15 plants per m<sup>2</sup>. The density is predominantly 5-10 plants per m<sup>2</sup> (Table 4). In most cases, individual plants of *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz are encountered, usually as fragments of destroyed populations. The population of *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz is the smallest of the studied populations of the *Gentiana* genus. The number of individuals decreases each year, leading to the eventual complete disappearance of the population in the Ukrainian Carpathians [5].

The age structure of *Gentiana laciniata* Kit. ex Kanitz is characterized by a small, isolated population, where pre-reproductive age groups – seedlings and virginile – predominate. As a result, a left-skewed age spectrum is observed. Overall, the population is characterized as normal and full-membered, even with a small

population size. Deviations from the state of a normal full-membered population with a peak in the number of virginile or generative individuals are mainly an indicator of the unfavorable impact of exogenous factors, mostly of anthropogenic origin.

**Conclusions.** Thus, after studying the populations of the *Gentiana* genus in the highlands of the Ukrainian Carpathians, it was found that the largest population was *G. punctata*, while the smallest was *G. acaulis*. On the other hand, *G. lutea* is characterized by isolated populations with relatively large areas (from 4 to 45 hectares) and densities (1.9–6.7 individuals/m<sup>2</sup>). Both *G. punctata* and *G. acaulis* formed what are known as metapopulation organizations, consisting of small populations.

However, each year, the number and density of the *Gentiana* genus populations are decreasing, and their structure is being disrupted. The main reasons for this are the use of the rhizomes of *G. lutea* and *G. punctata* for folk and official medicine, cattle grazing, and trampling of trails by tourists. In addition to anthropogenic impacts on population structure, natural factors also play a role: insufficient numbers of pollinating insects, temperature, the presence of pests, and slope exposure. Another important factor contributing to the decline in population numbers is their low ecological plasticity, which causes difficulty in adapting to changing environmental conditions.

**Prospects for using the research results.** The research results can be used for further monitoring of the populations status of rare species in the Ukrainian Carpathians, biodiversity conservation measures within the nature reserve fund, and ecological education.

#### References

1. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
2. Тирлич жовтий (*Gentiana lutea* L.) в Українських Карпатах / Бедей М.І., Кризь О.П., Волощук М.І., Маханець І.А. Ужгород, 2010. 134 с.
3. Кияк В. Г. Еколого-біологічні особливості малих популяцій рідкісних видів рослин високогір'я Українських Карпат. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2008. № 2, т. 4. С. 251–263.
4. Черепанин Р. Особливості генеративного розмноження у популяціях рідкісних аркто-альпійських видів рослин Чорногори (Українські Карпати). *Вісник Львів. університету. Сер. Біологічна*. 2010. Вип. 54. С. 151–158.
5. Чопик В. І. Високогірна флора Українських Карпат. – Київ: Наук. думка, 1976. 270 с.

## НАСІННЄВА ПРОДУКТИВНІСТЬ *ARNICA MONTANA* L. В УМОВАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Дубляк А.В., Різничук Н.І., Гнезділова В.І.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

вул. Шевченка, 57, 77008, м. Івано-Франківськ

dublyakandriy@gmail.com, nadiia.riznychuk@pnu.edu.ua, viktorija.gniezdilova@pnu.edu.ua

У статті висвітлено онтогенетичну структуру та насіннєву продуктивність *Arnica montana* L. у природних умовах Українських Карпат. Детально проаналізовано вплив екологічних факторів, таких як рівень зволоження, тип ґрунту та висотний пояс, на життєздатність популяцій цього виду. Встановлено, що показники насіннєвого поновлення значною мірою залежать від екологічних умов, зокрема ступеня антропогенного навантаження та стану фітоценозів. Виявлено просторові особливості розподілу та вікову структуру популяцій, що дозволяє оцінити адаптаційний потенціал *Arnica montana* L. у різних екосистемах.

Дослідження підтвердило, що найбільша чисельність і життєздатність рослин спостерігається в середньогірських районах з помірним антропогенним впливом, тоді як у високогірних місцезростаннях насіннєва продуктивність знижується. Проаналізовано співвідношення між потенційною та фактичною насіннєвою продуктивністю, а також коефіцієнтом занасіння в різних висотних поясах. Зроблено висновок, що популяції *Arnica montana* здатні до самопідтримання за умов мінімізації негативних факторів, таких як надмірне випасання худоби, механічне порушення ґрунту та збирання лікарської сировини.

Запропоновано низку заходів з охорони виду, включно зі створенням оптимальних умов для зростання на природних територіях, обмеженням антропогенного впливу та збереженням середовищ існування. Також підкреслено необхідність постійного моніторингу стану популяцій, що сприятиме підтриманню стабільності їх чисельності в Українських Карпатах. Ці рекомендації мають особливу цінність у контексті збереження біорізноманіття та сталого використання природних ресурсів регіону.

Особливу увагу приділено ролі *Arnica montana* як індикатора екологічного стану гірських екосистем, оскільки цей вид демонструє високу чутливість до змін умов середовища. Встановлено, що відновлення популяцій може бути ефективним лише за умови комплексного підходу до збереження фітоценозів, включаючи створення охоронних зон і впровадження раціонального використання ресурсів. Це дозволить не лише зберегти природні місцезростання виду, але й забезпечити їхню стійкість до впливу кліматичних змін. **Ключові слова:** *Arnica montana* L., онтогенетична структура, насіннєва продуктивність, екологічні фактори, Українські Карпати, охорона видів.

### Seed productivity of *Arnica montana* L. in the Ukrainian Carpathians. Dubliak A., Riznychuk N., Hnezdilova V.

The article highlights the ontogenetic structure and seed productivity of *Arnica montana* L. in the natural conditions of the Ukrainian Carpathians. The influence of environmental factors, such as moisture level, soil type and altitude zone, on the viability of populations of this species is analysed in detail. It is established that the rates of seed renewal largely depend on environmental conditions, in particular the degree of anthropogenic load and the state of phytocoenoses. The spatial distribution features and age structure of populations were revealed, which allows us to assess the adaptive potential of *Arnica montana* L. in different ecosystems.

The study confirmed that the highest number and viability of plants is observed in mid-mountain areas with moderate anthropogenic impact, while in highland habitats seed productivity decreases. The correlation between the potential and actual seed productivity, as well as the seeding rate in different altitudinal zones, is analysed. It is concluded that *Arnica montana* populations are capable of self-sustaining under conditions of minimising negative factors, such as excessive grazing, mechanical soil disturbance and collection of medicinal raw materials.

A number of conservation measures have been proposed, including creating optimal conditions for growth in natural areas, limiting anthropogenic impact, and preserving habitats. It also emphasises the need for continuous monitoring of the population status, which will help maintain the stability of their numbers in the Ukrainian Carpathians. These recommendations are of particular value in the context of biodiversity conservation and sustainable use of the region's natural resources.

Particular attention is paid to the role of *Arnica montana* as an indicator of the ecological status of mountain ecosystems, as this species demonstrates high sensitivity to changes in environmental conditions. It is established that the restoration of populations can be effective only if an integrated approach to the conservation of phytocoenoses is taken, including the creation of protected areas and the introduction of rational use of resources. This will allow not only to preserve the natural habitats of the species, but also to ensure their resilience to the impact of climate change. **Key words:** *Arnica montana* L., ontogenetic structure, seed productivity, ecological factors, Ukrainian Carpathians, species protection.

**Постановка проблеми.** *Arnica montana* L. – рідкісний і цінний вид флори Українських Карпат, який виконує важливу екологічну, естетичну та економічну функції. Однак значний антропогенний вплив, зокрема надмірне випасання худоби, механічне порушення ґрунтів і заготівля лікарської сировини, призводять до зниження чисельності популяцій та

втрати місць природного зростання. Ця проблема вимагає комплексного підходу до вивчення екологічних особливостей виду та розробки ефективних заходів з його охорони.

**Актуальність дослідження.** Збереження біорізноманіття є одним із ключових завдань сучасної екології. *Arnica montana* L. не лише є цінним лікарським



видом, але й слугує індикатором стану гірських екосистем. Дослідження її насіннєвої продуктивності та адаптаційного потенціалу дозволяють оцінити здатність виду до відновлення та самопідтримання в умовах зміни клімату та антропогенного навантаження.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Автори статті аналізують вплив екологічних факторів на онтогенетичну структуру та насіннєву продуктивність *Arnica montana* L. у природних умовах Українських Карпат. Результати роботи можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо збереження виду, раціонального використання його ресурсів та оптимізації заходів охорони.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наукові роботи, присвячені *Arnica montana* L., охоплюють широкий спектр питань: від біології та екології до заходів з її охорони. Традиційно дослідження, такі як роботи Вайнагія [1] і Кобіва [3], зосереджувалися на насіннєвій продуктивності виду. Чопик акцентував увагу на рідкісності цього виду в Українських Карпатах, що заклало основу для подальших природоохоронних ініціатив [4].

Сучасні дослідження вносять нові аспекти до розуміння екології та біології *Arnica montana*. Зокрема, вивчається вплив змін клімату на динаміку її популяцій. За даними міжнародних публікацій останніх років [5, 6], потепління та зміни режиму опадів негативно впливають на життєздатність цього виду, зменшуючи його ареал і сприяючи фрагментації популяцій.

Дослідження впливу антропогенних факторів також значно активізувалися. Наприклад, роботи Jones et al. [7] вказують на критичну роль випасу худоби, надмірного туризму та збору лікарської сировини у скороченні чисельності *Arnica montana*. У цьому контексті важливим є запровадження адаптивних методів охорони, які враховують локальні умови та специфіку впливу людини.

Окремий напрям досліджень стосується генетичного різноманіття виду. Використання молекулярних методів, таких як аналіз мікросателітів і геномне секвенування, дозволяє оцінити рівень генетичної варіабельності популяцій. Результати досліджень [8] свідчать про значне зниження генетичного різноманіття у малих і ізольованих популяціях, що підвищує їхню вразливість до зовнішніх впливів.

Таким чином, сучасна наукова спільнота все більше фокусується на інтегративному підході до вивчення *Arnica montana*, що включає оцінку впливу кліматичних і антропогенних факторів, аналіз генетичної структури популяцій та розробку адаптивних стратегій збереження виду. Проте залишається недостатньо дослідженим вплив синергії цих факторів на довгострокову життєздатність виду, що вимагає подальших досліджень.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Попри значний обсяг наукових дослі-

джень, залишається недостатньо вивченою роль *Arnica montana* L. як індикатора екологічного стану гірських екосистем, а також її адаптаційні механізми до змін умов середовища. Необхідно дослідити вплив різних типів антропогенного навантаження на популяції виду та визначити оптимальні умови для його збереження.

**Новизна.** Вперше проведено комплексний аналіз онтогенетичної структури та насіннєвої продуктивності *Arnica montana* L. у різних екологічних умовах Українських Карпат. Встановлено залежність життєздатності популяцій від висотного поясу, типу ґрунту та рівня антропогенного впливу. Розроблено рекомендації щодо моніторингу та збереження виду.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Методологічна цінність роботи полягає у використанні комплексного підходу до вивчення популяцій *Arnica montana* L., який включає польові дослідження, статистичний аналіз і екологічне моделювання. Це дозволяє отримати науково обґрунтовані результати, що можуть бути використані для вирішення практичних завдань охорони флори.

**Виклад основного матеріалу.** *Arnica montana* L. (*Asteraceae*) відноситься до видів з малозруйнованими популяціями, які часто трапляються у Карпатах на великих площах, задовільно розмножуються, але потребують охорони як морфологічні ізоляти [3]. Основними причинами зменшення чисельності арніки гірської є значне винищення як декоративного виду, заготівля лікарської сировини, знищення умов зростання через витоптування чи випас худоби.

*Arnica montana* L. – багаторічна трав'яниста рослина з залозистим опушенням. Світлолюбний вид, здатний до цвітіння та плодоношення лише на відкритих чи малозатінених ділянках. Вегетативні рослини витримують значне затінення (на узліссях). Для оптимальної життєдіяльності виду необхідне нещільне задернування або моховий покрив, що пояснюється потребою у постійному зволоженні. *A. montana* дуже чутлива до пересихання кореневої системи і негативно реагує на оголення ґрунту, спричинене надмірним випасанням, механічним збиванням чи ерозією ґрунту. Пересихання особливо згубно позначається на проростках, тому на оголеному ґрунті генеративне поновлення практично не відбувається. Воно відсутнє також на ділянках із надмірним задернуванням та значною кількістю відмерлих решток.

Початок вегетації *Arnica montana* припадає першу-другу декаду квітня після танення снігу. В середньогірських районах масове цвітіння спостерігається в другій половині червня, в субальпійському поясі в другій декаді серпня.

*Arnica montana* L. – мезофіт, індіферентний вид. Поширений в субальпійському, рідше альпійському поясі, 1200-1300 м н.р.м., зустрічається на луках і в заростях чагарників, у криволіссі, на свіжих,

кислих, гумусних та глинистих бідних на вапно ґрунтах [6].

Репродуктивна біологія виду включає біологію та екологію його розмноження, відновлення та збереження гомеостазу популяції. В природних умовах більшість рослин має здатність як до вегетативного, так і до насінневого розмноження [5].

Ареали арніки гірської у Карпатах відносяться до континуальної просторової категорії. Ми акцентуємо увагу на еколого-біологічні, популяційні особливості, специфічні аспекти життєдіяльності та поведінки виду в різних екологічних умовах. Спостереження проводились маршрутним методом, чисельність та віковий склад популяцій визначались на трансектах розміром 1х1м<sup>2</sup>.

Екотипічна толерантність виду *Arnica montana* L. охоплює території від передгір'їв до субальпійського поясу, трапляється на луках і в заростях чагарників. В альпійському поясі Чорногори популяції *Arnica montana* L. зустрічаються до найвищих точок головного вододільного хребта. Фітоценотична амплітуда виду досить широка: в угрупованнях *Nordetum*, *Vaccinietum*, *Festucetum*. Найбільша яскравість спостерігається на післялісових луках у середньогірській смузі (600-1200 м), як на полонинах, так і на долинах річок, де *Arnica montana* нерідко виступає субдомінантом у низькозлакових формаціях (*Festucetum rubrae*, *Nardetum*, *Agrostidetum*, *Anthoxanthietum*). Серед цих угруповань іноді трапляються фрагменти асоціації *Arnicetum montanae*, на яких проективне вкриття *Arnica montana* L. сягає близько 65% (урочище Бабина Яма). Супутні види: *Nardus stricta*, *Festuca rubra*, *Achyrophorus uniflorus*, *Leontodon croceus*, *Scorzonera rosea*. Характерною особливістю поширення виду є просторові розриви і значна відмінність чисельності навіть в сусідніх місцезростаннях. Це зумовлено вимогливістю виду до ряду життєвих факторів, а також попереднім станом фітоценозів.

Онтогенетичні особливості зумовлюють структуру популяції арніки. У таблиці 1 наведено дані про віковий склад та щільність популяцій виду у сприятливих умовах сінокошення та відсутності антропогенного впливу. Популяції *Arnica montana* на запо-

відних територіях характеризуються високим рівнем життєвості виду та незначною варіабельністю популяційних показників.

Онтогенетичні показники вікового складу і щільності *Arnica montana* характерні для середньогірської смуги з режимом заповідності. Відсоток генеративних особин коливається в межах 14-20%. Значно виділяється переважання віргінільних особин (64-77%), що є наслідком значної частки вегетативного розмноження. Низька чисельність постгенеративної групи є наслідком нетривалих субсенільного і сенільного періодів.

Кількісні показники опрацьовані методами варіаційної статистики. Для всіх показників визначали основні статистичні характеристики: середнє арифметичне ( $\bar{X}$  для елементів потенційної насінневої продуктивності – ПНП,  $\bar{Y}$  для фактичної насінневої продуктивності – ФНП), похибку середнього (відповідно  $S_x$  та  $S_y$ ), коефіцієнт варіації ( $C_v$ , %), критерій достовірності середнього ( $t$ ) та показник точності дослідження (Р, %). Істотність різниці між середніми арифметичними окремих популяцій досліджуваного виду визначали за допомогою критерію достовірності.

Результати кількісного аналізу насінневої продуктивності *Arnica montana* представлені в таблиці 2. Вони відображають характер зміни кількості насінневих зачатків і насіння в залежності від умов місцезростання. Кількість насінневих зачатків варіює менше ніж насіння. Виходячи з цього, точність дослідження фактичної насінневої продуктивності – ФНП – вища 5% рівня значимості, в той час, як для всіх даних потенційної насінневої продуктивності – ПНП цей рівень менший за 5%. Але достатня кількість облікових одиниць ( $n=50$ ) забезпечило необхідну достовірність середніх арифметичних ( $t=3$ ).

За кількістю насінневих зачатків – НЗ – на елементарну одиницю насінневої продуктивності – НП – *Arnica montana* L. можна віднести до групи видів, в яких кількість насінневих зачатків коливається в межах 51-100. Щодо кількості насіння – до групи, в якій кількість коливається в межах 40-96.

Таблиця 1

Показники щільності та вікового складу популяції *Arnica montana* L.

| №  | Місцезростання, угруповань                    | Висота над рівнем моря | Віковий склад, % |    |    |    |    |   | Щільність, шт./м <sup>2</sup> |         |                |
|----|-----------------------------------------------|------------------------|------------------|----|----|----|----|---|-------------------------------|---------|----------------|
|    |                                               |                        | I                | im | v  | g  | ss | s | Особин                        | Розеток | Генер. пагонів |
| 1. | ур. Бабина Яма, <i>Arnicetum montanae</i>     | 950                    | 2                | 8  | 70 | 14 | 4  | 2 | 55                            | 85      | 15             |
| 2. | г. Веснарка, <i>Festucetum rubrae</i>         | 1300                   | 1                | 2  | 77 | 14 | 5  | 1 | 7                             | 24      | 4              |
| 3. | ур. Печнівське <i>Festucetum agrostidosum</i> | 1380                   | 1                | 6  | 64 | 20 | 6  | 3 | 13                            | 41      | 7              |
| 4. | п. Свинянка <i>Nardetum</i>                   | 800                    | 2                | 7  | 70 | 13 | 4  | 4 | 66                            | 82      | 19             |

Таблиця 2

**Середня кількість насінних зачатків і насіння  
на елементарну одиницю насіннєвої продуктивності (плід)**

| Місце збору,<br>угруповання | Ценотичні<br>умови | Висота,<br>м. н.р.м. | Насінні зачатки  |       |        | Насіння          |       |        | ПЗ   |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|------------------|-------|--------|------------------|-------|--------|------|
|                             |                    |                      | $Y \pm S_y$      | $C_v$ | Lim    | $X \pm S_x$      | $C_v$ | Lim    |      |
| Ур. Бабина Яма              | Лука               | 950                  | 117 $\pm$ 3,06   | 18,54 | 55-159 | 93,6 $\pm$ 20,97 | 22,4  | 45-160 | 80   |
| П. Веснарка                 | Полонина           | 1300                 | 105,3 $\pm$ 1,7  | 16,42 | 74-145 | 94,3 $\pm$ 15,7  | 16,64 | 70-148 | 89,5 |
| П. Свинянка                 | Пасовище           | 800                  | 156,75 $\pm$ 4,0 | 25,97 | 74-121 | 95,8 $\pm$ 12,1  | 12,63 | 60-125 | 54,5 |
| Ур. Печнівське              | Пасовище           | 700                  | 121,1 $\pm$ 2,3  | 19,32 | 76-196 | 95,5 $\pm$ 10,1  | 10,62 | 69-119 | 78,8 |

Таблиця 3

**Середня кількість плодів на одній особині, ПНП та ФНП *Arnica montana* L.**

| Асоціація      | Плоди           |       |      | ПНП                | ФНП                | К <sub>нп</sub> |
|----------------|-----------------|-------|------|--------------------|--------------------|-----------------|
|                | $X \pm S_x$     | $C_v$ | Lim  | $U \pm S_u$        | $Z \pm S_z$        |                 |
| Ур. Бабина Яма | 1,65 $\pm$ 0,02 | 49,69 | 1-4  | 173,75 $\pm$ 8,89  | 151,63 $\pm$ 8,21  | 87,27           |
| П. Веснарка    | 2,40 $\pm$ 0,12 | 49,17 | 1-5  | 62,96 $\pm$ 3,14   | 44,39 $\pm$ 3,12   | 70,50           |
| П. Свинянка    | 1,59 $\pm$ 0,07 | 42,14 | 1-3  | 214,25 $\pm$ 22,65 | 166,14 $\pm$ 10,55 | 78,48           |
| Ур. Печнівське | 2,54 $\pm$ 0,18 | 70,86 | 1-11 | 106,05 $\pm$ 8,96  | 90,93 $\pm$ 7,67   | 85,74           |

Для більшості досліджених популяцій значення коефіцієнту занасінення (Кзн) високе і становить понад 60%. Високий Кзн свідчить про задовільне насіннєве поновлення виду. Насіннєве поновлення змінюється з роками і відповідно до цього змінюватиметься урожай насіння в окремих популяціях, який крім насіннєвої продуктивності залежить також від кількості генеративних пагонів на одиницю площі.

Порівняння потенційної насіннєвої продуктивності, фактичної насіннєвої продуктивності та коефіцієнта занасінення популяцій з різних висотних поясів показало, що вони дещо різняться. Значення потенційної насіннєвої продуктивності високогірних популяцій, в середньому на 15% нижче, ніж в середньогірському поясі.

Рівень насіннєвої продуктивності *Arnica montana* L. змінюється від задовільного значення (85,74-87,27%) до середнього (70%) у високогірних місцезростаннях. Поряд зі значним відсотком занасінення це говорить про задовільний рівень адаптації виду до сучасних умов його життя. Самопідтримання популяцій *Arnica montana* відбувається як насіннєвим, так і вегетативним способом розмноження.

Дослідження показало, що *Arnica montana* L. демонструє високу адаптаційну пластичність у середньогірських районах, тоді як у високогір'ї її насіннєва продуктивність значно знижується. Встановлено, що вид потребує стабільного рівня зволоження та помірного антропогенного впливу для

успішного насіннєвого поновлення. У статті наведено дані про щільність популяцій, вікову структуру та коефіцієнт насіннєвої продуктивності в різних місцезростаннях. Результати аналізу свідчать про необхідність створення охоронних зон у місцях найбільшого поширення виду.

#### Головні висновки

1. *Arnica montana* L. є важливим індикатором екологічного стану гірських екосистем Українських Карпат.

2. Найбільша чисельність та життєздатність виду спостерігається у середньогірських районах з помірним антропогенним впливом.

3. Високий коефіцієнт насіннєвої продуктивності свідчить про здатність виду до самопідтримання за умов мінімізації негативних факторів.

4. Основними загрозами для популяцій *Arnica montana* L. є надмірне випасання худоби, механічне порушення ґрунтів і заготівля лікарської сировини.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати роботи можуть бути використані для розробки стратегій збереження *Arnica montana* L. у Карпатах, включаючи створення охоронних територій, моніторинг популяцій та регулювання антропогенного навантаження. Подальші дослідження мають зосереджуватися на адаптаційних механізмах виду до змін клімату та на розробці ефективних методів його культивування в умовах природного ареалу.

#### Література

1. Вайнагій І.В. Насіннєва продуктивність і схожість насіння деяких високогірних рослин Карпат. *Ботан. журн.* 1974. № 10, Т.59. С. 1439-1451.
2. Червона Книга України. Вони чекають на нашу допомогу. Харків: Торсінг, 2002. 336 с.
3. Гамор І.Д., Вайнагій І.В., Антосяк В.М. Стан червонокнижних видів рослин на заповідних територіях Українських Карпат. *Укр. ботан. журн.* 1994. № 6, Т.57. С. 122-129.

4. Кобів Ю.Й. Екологія та популяційно-онтогенетичні особливості *Arnica montana* L. в Українських Карпатах. *Ботан. журн.* 1992. № 3. С. 46.
5. Smith J., Brown T., Green P. Climate Change Impacts on Alpine Plant Populations: A Case Study of *Arnica montana*. *Journal of Ecology*. 2019. Vol. 107, Issue 3. P. 1212-1223.
6. Köhler M., Huber K., Schmid B. Population Fragmentation and Genetic Diversity in *Arnica montana* Across Europe. *Conservation Genetics*. 2021. Vol. 22, Issue 4. P. 543-556.
7. Jones R., Miller A., Davis L. Human Impacts on Medicinal Plant Populations: *Arnica montana* in the Spotlight. *Ethnobotany Research and Applications*. 2020. Vol. 18. P. 87-95.
8. García-Fernández A., Rodríguez-Lopez C., Pérez-Camacho L. Genetic Variation and Conservation Strategies for *Arnica montana* in Isolated Habitats. *Molecular Ecology*. 2022. Vol. 31, Issue 5. P. 1135-1149.

УДК 595.786:591.53(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.17>

## ЕКОЛОГО-ФАУНІСТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА УГРУПОВАНЬ NOCTUOIDEA (LEPIDOPTERA) ПРИМІСЬКОЇ ЗОНИ ТА УРБОЕКОСИСТЕМИ М. ЖИТОМИР

Ковтун Т.І.

Поліський національний університет  
Старий Бульвар, 7, 10008, м. Житомир  
[igkov@ukr.net](mailto:igkov@ukr.net)

Представники надродини Noctuoidea є важливою та, часто, домінуючою групою Lepidoptera багатьох екосистем. Зміни екологічної структури популяцій даної групи метеликів можуть бути використані у діагностиці процесів трансформації напівприродних та урбоекосистем. Проведено дослідження наступних параметрів екологічної структури популяцій Noctuoidea (Lepidoptera) приміської та урбоекосистеми Житомира: таксономічної структури та структури домінування. Розраховані індекс подібності (за Серенсеном) та індекс домінування (Бергера-Паркера) досліджуваних ділянок. Протягом польових досліджень 2019-2023 років в районі зборів приміської зони Житомира зареєстровано представників 113 видів 20 підродин та 3 родин Noctuoidea; в умовах урбоекосистеми – представників 75 видів, 16 підродин та 3 родин. Найбільш чисельними на обох пунктах обліку є підродини: Hadeninae (відповідно 28,3% та 24,0% від загальної кількості видів); Xyleninae (відповідно 20,3% та 20,0%) та Noctuinae (відповідно 15,0% та 20,0%). Встановлено скорочення на 33,6% видового складу досліджуваного ентомокомплексу в умовах урбоекосистеми Житомира. Індекс подібності досліджуваної ентомофауни – 69,1%. Аналіз структури домінування досліджуваних популяцій совкоподібних показав, що в приміській зоні частка домінуючих видів складає 14,2%; в умовах урбоекосистеми – 16%. Це свідчить про зниження збалансованості структури домінування угруповань Noctuoidea в умовах зростання рівня антропогенного та техногенного навантаження на урбоценози Житомира. Отримані значення індексу домінування підтверджують даний висновок. Для популяцій приміської зони він дорівнює 0,082; в умовах урбоекосистеми – 0,111. Визначені 10 найбільш чисельних видів приміської зони та урбоекосистеми м. Житомир. На обох ділянках найчисельнішим видом є *Ochropleura plecta*, частка якого становить відповідно 8,2% та 11,2% від загальної чисельності фауни. Результати досліджень можуть бути використані для розробки методів ефективного моніторингу даної групи комах в умовах зростання антропогенного тиску на урбоекосистеми. *Ключові слова:* таксономічна структура, структура домінування, індекс подібності (за Серенсеном), індекс домінування (Бергера-Паркера), домінуючі види.

### Ecological and faunal characteristics of Noctuoidea (Lepidoptera) group of Zhytomyr's suburban and urban ecosystems.

Kovtun T.

Noctuoidea superfamily members are an important and often dominant Lepidoptera group of many ecosystems. Changes in the ecological structure of populations of this group of butterflies can be used in the diagnosis of transformation processes in semi-natural and urban ecosystems. The study of the following parameters of the ecological structure of Noctuoidea (Lepidoptera) populations of Zhytomyr's suburban and urban ecosystems was carried: taxonomic structure and dominance structure. It was calculated Sorensen similarity index, Berger – Parker dominance index on the investigated areas. During field research in 2019-2023, representatives of 113 species of 20 subfamilies and 3 families of Noctuoidea were registered in the suburban area of Zhytomyr; in the urban ecosystem, representatives of 75 species, 16 subfamilies and 3 families. The most numerous subfamilies at both census points are: Hadeninae (28.3% and 24.0% of the total number of species, respectively); Xyleninae (20.3% and 20.0%, respectively) and Noctuinae (15.0% and 20.0%, respectively). The reduction of 33.6% in the species composition of the investigated entomocomplex in the conditions of the Zhytomyr's urban ecosystem was established. The similarity index of the studied entomofauna is 69.1%. Analysis of the dominance structure of the studied populations of Noctuoidea showed that in the suburban area the share of dominant species is 14.2%; in the urban ecosystem – 16%. This indicates a decrease in the balance of the dominance structure of Noctuoidea groups in the conditions of an increase in the level of anthropogenic and technogenic load on the Zhytomyr's urbocenoses. The obtained values of the dominance index confirm this conclusion. For populations of the suburban zone it is equal to 0.082; in the conditions of the urban ecosystem – 0.111. The 10 most abundant species of Zhytomyr's suburban zone and urban ecosystem have been identified. In both areas, the most numerous species is *Ochropleura plecta*, the share of which is 8.2% and 11.2% of the total fauna, respectively. The research results can be used to develop methods of effective monitoring of this group of insects in the conditions of increasing anthropogenic pressure on urban ecosystems. *Key words:* taxonomic structure, dominance structure, Sorensen similarity index, Berger – Parker dominance index, dominant species.

### Постановка проблеми.

Совкоподібні (Noctuoidea) є найбільшою надродиною лускокрилих (Lepidoptera) у світі [1,2]. Для території України встановлено 683 види совкоподібних [3]. Завдяки високому таксономічному різноманіттю та відносній чисельності Noctuoidea часто домінують серед лепідофауни більшості екосистем. Приміська зона

та територія міста Житомир характеризуються наявністю екосистем з різним ступенем антропогенної трансформації. В угрупованнях ноктуїдних лускокрилих спостерігається суттєва відповідна реакція на подібні трансформації. Порівняльний аналіз показників біорізноманіття та екологічної структури угруповань совкоподібних необхідний

під час проведення моніторингу стану природних та урбоекосистем на досліджуваних територіях.

**Актуальність дослідження.** Надзвичайно актуальними є питання використання певних груп ентомокомплексу у діагностиці процесів трансформації напівприродних та урбоекосистем. Діагностична цінність совкоподібних метеликів обумовлена їх швидкою та показовою відповідною реакцією на погіршення екологічних умов досліджуваного біогеоценозу.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Проведення локальних досліджень зміни екологічної структури комплексів Noctuoidea в екосистемах з різним ступенем антропогенної трансформації сприяє розробці науково обґрунтованих методик моніторингу стану напівприродних та урбоекосистем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом останніх років проводились численні та систематичні фауністичні дослідження ноктуїдних лускокрилих різних регіонів України. Так, було встановлено, що ноктуїдний комплекс Українських Карпат налічує 582 види [1]; для Донецької області відзначено 500 видів Noctuoidea, для Луганської області – 564 види [4]; на території Закарпатської області зафіксовано 498 видів з 6 родин совкоподібних [5]; на території Дніпропетровської області зареєстровано 394 види совок [3]. Знахідки 94 нових видів Noctuoidea, виявлених у Північно-Західному Приазов'ї та суміжних районах степової зони України, представлені в роботі Сучкова С.І. та Геряка Ю.М. [6]. Слід відзначити, що подібні дослідження проводились в західних, східних та південно-східних регіонах України. Разом з тим, роботи по північним областям нашої країни є фрагментарними та нечисленними.

Для характеристики відносної чисельності кожного виду совкоподібних пропонується використовувати умовні категорії. Геряк Ю.М. [1] використовує 6 категорій: масові, чисельні, звичайні, нечисельні, рідкісні види та види, що відомі за 1-2 знахідками. Натомість, Канарський Ю.В. [7] використовує 5 умовних категорій: численні (еудомінантні); звичайні (субдомінантні та домінантні); нечисленні (рецендентні); рідкісні (субрецендентні); неоцінені (сучасні знахідки відсутні).

Для аналізу структури домінування досліджуваних ентомокомплексів пропонуються різні підходи. За основу системи Штеккера-Бергмана приймають відсоткові співвідношення між кількістю екземплярів усіх виявлених видів [8,9]. При цьому виділяють 5 ступенів домінування: еудомінанти (кількість особин такого виду становить понад 33% досліджуваного ентомокомплексу); домінанти (10-33%); субдомінанти (3-10%); реценденти (1-3%) та субреценденти (0-0,9%). Схема О. Ренконенна також передбачає 5 ступенів домінування, але із дещо іншим відсотковим співвідношенням: еудо-

мінанти – більше 10%; домінанти – 5-10%; субдомінанти – 2-5%; реценденти – 1-2%; субреценденти – менше 1% [10,11].

Значна кількість робіт присвячена аналізу еколого-фауністичної структури угруповань ентомофауни різних регіонів України [1,10,12,13,14].

Насамкінець, важливими для нашого дослідження є роботи, присвячені вивченню різних груп комах як індикаторів біорізноманіття та трансформаційних процесів наземних екосистем [15,16,17] та аналізу трансформацій, що відбуваються в екологічній структурі ентомокомплексу, на територіях з різним рівнем антропогенного навантаження [18,19].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Метою дослідження є порівняльний аналіз еколого-фауністичної структури угруповань Noctuoidea (Lepidoptera) приміської зони та урбоекосистеми м. Житомир. Поставлена мета потребує вирішення наступних завдань: 1) встановлення таксономічної структури популяцій совкоподібних досліджуваних ділянок; 2) визначення структури домінування досліджуваних ентомокомплексів; 3) розрахунок та аналіз індексу подібності (за Серенсеном) та індексу домінування (Бергера-Паркера).

**Новизна.** Проведено порівняльний аналіз окремих показників еколого-фауністичної структури угруповань Noctuoidea (Lepidoptera) приміської зони та урбоекосистеми м. Житомир.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Отримані результати доповнюють відомості щодо екологічної структури угруповань Noctuoidea в екосистемах з різним ступенем антропогенного навантаження.

**Матеріали та методи дослідження.** Збір матеріалів проводили двічі на місяць протягом польових сезонів 2019-2023 років на 2 постійних пунктах обліку. Пункт № 1 (географічні координати – 50°18'44"N 28°25'3"E), розташований в приміській зоні м. Житомир на території с. Березівка Житомирського району Житомирської області (рис. 1).

Значну частину даного району зборів, площею приблизно 5 га, займають індивідуальні городи та пасовища з характерною рослинністю. Разом з тим, даний район характеризується наявністю ділянок з інтенсивним лісовідновленням, що відбувається за рахунок припинення сільськогосподарської діяльності на них. Окрім того, значний вплив на формування угруповань Noctuoidea справляють розташовані в даному районі дубова полезахисна смуга та частково заболочене багно, заросле осокою (*Carex*), вільхою сірою (*Alnus incana* L.) та малиною (*Rubus idaeus* L.).

Пункт № 2 (географічні координати – 50°25'38.97"N 25°68'57.50"E) знаходиться в південно-східній частині м. Житомир (рис. 2).



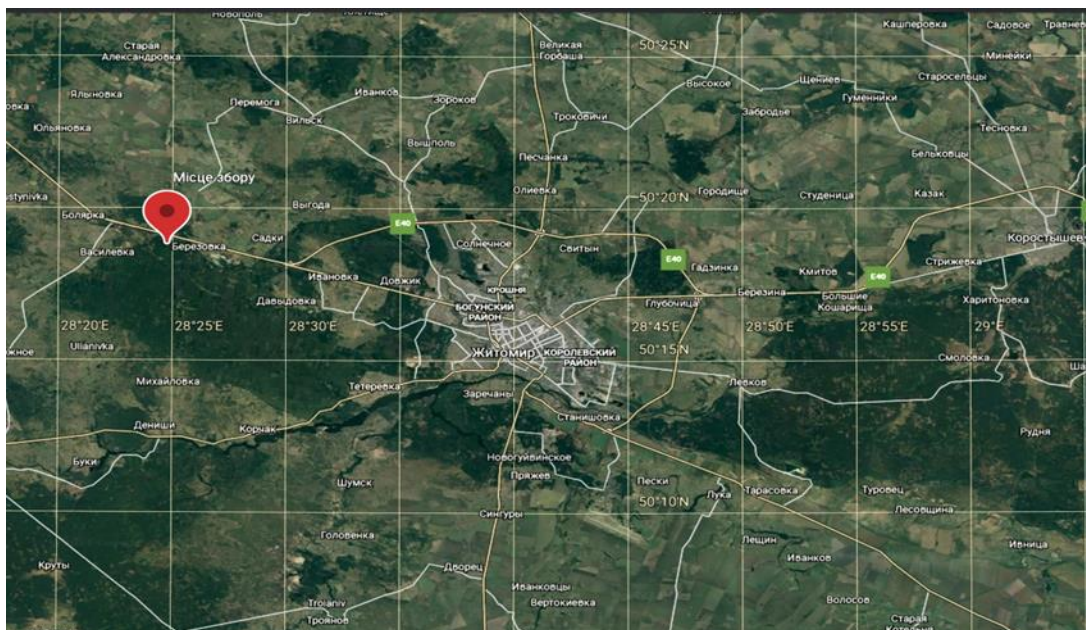


Рис. 1. Карта-схема розташування постійного пункту обліку № 1

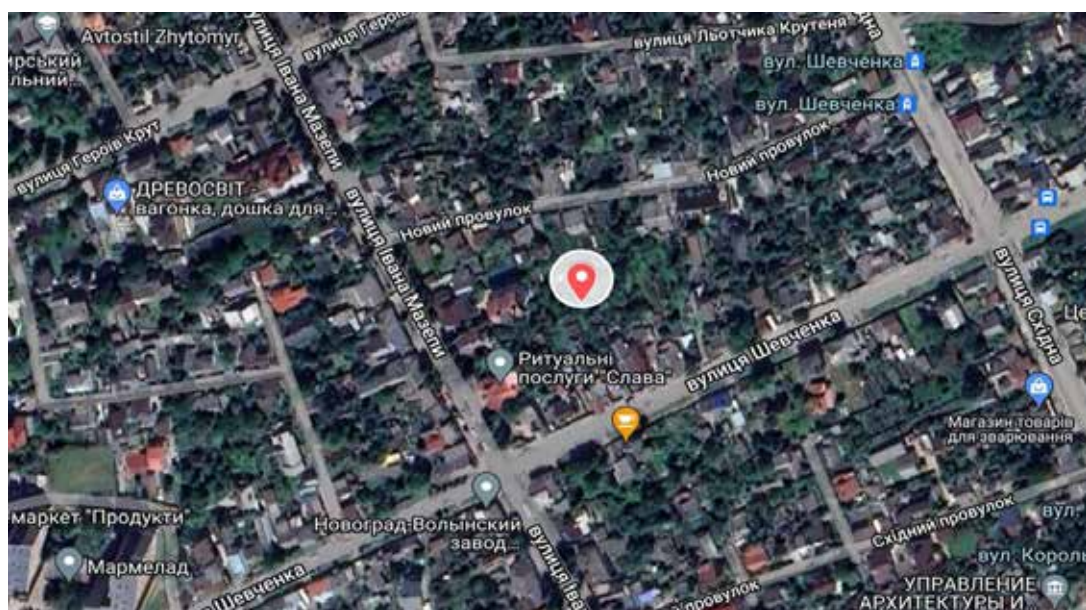


Рис. 2. Карта-схема розташування постійного пункту обліку № 2

Даний район зборів характеризується наявністю одноповерхових житлових будівель, що оточені садами, городами та присадибними ділянками. Рослинний покрив представлений характерними для даного типу місцевості видами деревних, чагарникових та трав'яних рослин.

Збір матеріалу, його камеральну обробку проводили за загальноприйнятими для даної групи комах методиками [20,21,22,23]. Визначення комах здійснювали з використанням 13-ти томного видання *Noctuidae Europaeae*, 1990-2011.

Індекс подібності (за Серенсенем)  $Q_s$  фауни совкоподібних досліджуваних ділянок розраховували за формулою:

$$Q_s = \frac{2 \times j}{a + b} \times 100\%, \text{ де } j - \text{кількість загальних видів}$$

на пунктах обліку № 1 та № 2;  $a$  – кількість видів на пункті обліку № 1;  $b$  – кількість видів на пункті обліку № 2 [24].

Аналіз структури домінування досліджуваних ентомокомплексів здійснювали за схемою О. Ренконнена [11]. Чисельність кожного виду



розраховувалась як загальна кількість екземплярів даного виду, зареєстрованих протягом всього періоду досліджень.

Індекс домінування (Бергера-Паркера)  $d$  для досліджуваних ентомокомплексів розраховували за формулою:

$d = N(\max) / N$ , де  $N(\max)$  – чисельність домінуючого виду;  $N$  – загальна чисельність ентомокомплексу [24].

**Викладення основного матеріалу.** Протягом польових сезонів 2019-2023 років на пункті № 1 було зібрано 1995 екземплярів Noctuoidea, що є представниками 3 родин, 20 підродин, 113 видів; на пункті № 2 – 1253 екземпляри, з 3 родин, 16 підродин та 75 видів (табл. 1).

Отже, в умовах урбоєкосистеми м. Житомир спостерігається скорочення на 33,6% видового складу комплексу Noctuoidea в порівнянні з угрупованням совкоподібних приміської зони. Найбільш чисельними таксономічними групами на обох пунктах обліку є підродини Hadeninae (відповідно 28,3% та 24,0% від загальної кількості видів); Xyleninae (відповідно 20,3% та 20,0%) та Noctuinae (відпо-

відно 15,0% та 20,0%). Таким чином, представники цих підродин складають 63,6% виявлених видів на пункті обліку № 1 та 64,0% – на пункті обліку № 2. Варто також відмітити, що на обох пунктах обліку зареєстровані представники 3 родин Noctuoidea. На пункті обліку № 1 виявлені представники 13 підродин родини Noctuidae; на пункті № 2 – представники 10 підродин. Родина Erebidae на пункті № 1 складається з представників 6 підродин; на пункті № 2 – з 5. Родина Nolidae на обох пунктах обліку представлена підрошиною Chloephorinae.

З метою порівняльного аналізу таксономічної структури досліджуваних ентомокомплексів був розрахований індекс подібності (за Серенсенем). Кількість загальних видів на обох пунктах обліку дорівнює 65. Отже, індекс подібності досліджуваних ентомокомплексів приймає доволі високе значення – 69,1%.

Наступним етапом роботи було визначення та аналіз структури домінування досліджуваних популяцій совкоподібних метеликів (рис. 3). На пункті обліку № 1 видів – еудомінантів не зареєстровано, на пункті № 2 частка таких видів становить 1,4% від

Таблиця 1

Таксономічна структура популяцій совкоподібних досліджуваних ділянок

| Підродина                                 | Кількість видів |      |           |      |
|-------------------------------------------|-----------------|------|-----------|------|
|                                           | Пункт № 1       | %    | Пункт № 2 | %    |
| Родина Noctuidae Latreille, 1809          |                 |      |           |      |
| Hadeninae Guenée, 1837                    | 32              | 28,3 | 18        | 24,0 |
| Xyleninae Guenée, 1852                    | 23              | 20,3 | 15        | 20,0 |
| Noctuinae Latreille, 1809                 | 17              | 15,0 | 15        | 20,0 |
| Plusiinae Boisduval, 1828                 | 8               | 7,1  | 7         | 9,5  |
| Acronictinae Harris, 1841                 | 4               | 3,5  | 4         | 5,6  |
| Heliothinae Boisduval, 1829               | 4               | 3,5  | 2         | 2,6  |
| Amphipyrynae Guenée, 1838                 | 2               | 1,8  | -         | -    |
| Bryophilinae Guenée, 1852                 | 2               | 1,8  | 2         | 2,6  |
| Pantheinae Smith, 1898                    | 1               | 0,9  | 1         | 1,3  |
| Cuculliinae Herrich-Schäffer, 1850        | 1               | 0,9  | -         | -    |
| Condicinae Poole, 1995                    | 1               | 0,9  | -         | -    |
| Acontiinae Guenée, 1841                   | 1               | 0,9  | 1         | 1,3  |
| Metoponiinae Herrich-Schäffer, 1851       | 1               | 0,9  | -         | -    |
| Eriopinae Herrich-Schäffer, 1851          | -               | -    | 1         | 1,3  |
| Родина Erebidae Leach, 1815               |                 |      |           |      |
| Arctiinae Leach, 1815                     | 6               | 5,2  | 2         | 2,6  |
| Erebinae Leach, 1815                      | 2               | 1,8  | 3         | 4,0  |
| Hypeninae Herrich-Schäffer, [1851]        | 2               | 1,8  | 1         | 1,3  |
| Herminiinae Leach, 1815                   | 1               | 0,9  | -         | -    |
| Boletobiinae Guenée, [1858]               | 1               | 0,9  | 1         | 1,3  |
| Scoliopteryginae Herrich-Schäffer, [1852] | 1               | 0,9  | 1         | 1,3  |
| Родина Nolidae Hampson, 1894              |                 |      |           |      |
| Chloephorinae Stainton, 1859              | 3               | 2,7  | 1         | 1,3  |
| Всього видів                              | 113             | 100  | 75        | 100  |

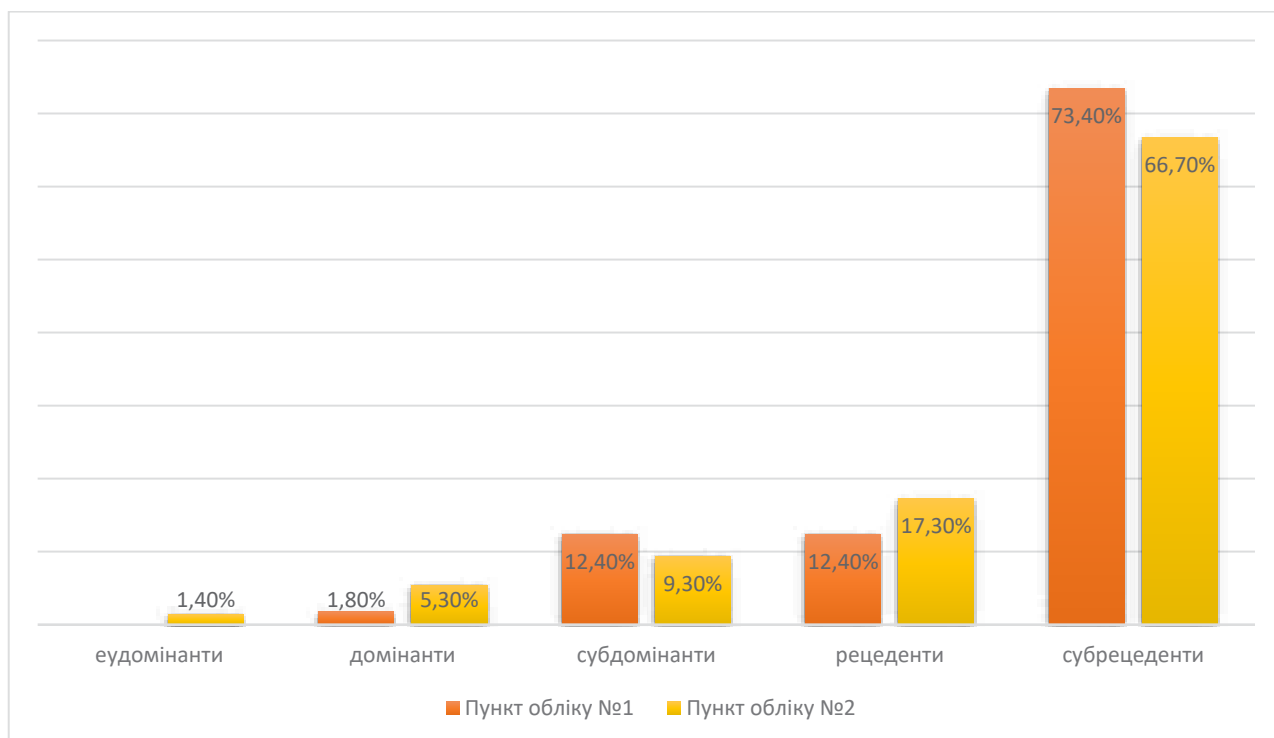


Рис. 3. Структура домінування популяцій *Noctuoidea* досліджуваних ділянок

загальної кількості видів. Сумарна частка видів, що належать до еудомінантів, домінянтів та субдомінантів, на пункті обліку № 1 складає 14,2% від загальної кількості видів. Разом з тим, на пункті № 2 частка таких видів дорівнює 16%. Відповідно, частка рецедентів та субрецедентів на пункті № 1 становить 85,8%, на пункті № 2 – 84%.

Крім того, були встановлені найбільш чисельні види *Noctuoidea* приміської зони та урбоєкосистеми м. Житомир (табл. 2).

Варто відмітити, що в обох досліджуваних районах найчисельнішим видом є *Ochropleura plecta*, частка якого становить відповідно 8,2% та 11,2% від загальної чисельності фауни *Noctuoidea* пунктів обліку № 1 та № 2. Ще одним спільним видом серед найбільш чисельних є *Agrotis exclamationis* (відповідно 4,5% та 8,9% на пунктах № 1 та № 2). Решта чисельних видів характерні лише для певного пункту обліку. Всі вони є звичайними видами, що зустрічаються всюди на території Полісся України [25].

Чисельною характеристикою структури домінування досліджуваних угруповань *Noctuoidea* є індекс домінування Бергера-Паркера (табл. 3).

Зростання значення індексу домінування на пункті обліку № 2 свідчить про те, що в умовах урбоєкосистеми частка домінуючого виду зростає та структура домінування угруповання совкоподібних стає менш збалансованою. Це може слугувати ознакою зростання антропогенного навантаження на таку екосистему.

**Головні висновки.** Дослідження таксономічної структури угруповань совкоподібних виявило скорочення кількості підродин (на 20%) та кількості видів (на 33,6%) в умовах урбоєкосистеми в порівнянні з приміською зоною м. Житомир. Значення індексу подібності (69,1%) свідчить про високий рівень подібності досліджуваних ноктуїдокомплексів та правомірність їх порівняння.

Структура домінування обох досліджуваних ентомокомплексів є достатньо збалансованою, адже домінуючі види складають невелику частку від загальної чисельності ентомоценозу (відповідно, 14,2% та 16%). Порівняльний аналіз структури домінування угруповань совкоподібних урбоєкосистеми та приміської зони м. Житомир не виявив суттєвих відмінностей. Хоча збільшення частки домінуючих видів на пункті обліку № 2, вірогідно, є відображенням зростання рівня антропогенного навантаження на досліджуваний ентомокомплекс в умовах урбоценозу. Адже із зростанням екстремальності умов існування структура домінування стає менш збалансованою [24]. Також це підтверджується зростанням значення індексу домінування на пункті обліку № 2. З десяти найбільш чисельних видів спільними на обох пунктах обліку є лише два: *Ochropleura plecta* та *Agrotis exclamationis*.

Отже, зростання рівня антропогенного та техногенного навантаження на урбоєкосистему м. Житомир призводить до зменшення видового різноманіття та зниження збалансованості структури домінування популяцій *Noctuoidea*.

Таблиця 2

## Найбільш чисельні види Noctuoidea приміської зони та урбоєкосистеми м. Житомир

| № з/п | Вид                                                                           | Пункт обліку № 1  |     | Пункт обліку № 2  |      |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----|-------------------|------|
|       |                                                                               | Чисельність, екз. | %   | Чисельність, екз. | %    |
| 1     | Совка білокрайня <i>Ochropleura plecta</i> (L., 1761)                         | 164               | 8,2 | 140               | 11,2 |
| 2     | Вусатка хмелева <i>Hypera rostralis</i> (L., 1758)                            | 117               | 5,9 | -                 | -    |
| 3     | Совка оклична <i>Agrotis exclamatoris</i> (L., 1758)                          | 89                | 4,5 | 112               | 8,9  |
| 4     | Совка с-чорне <i>Xestia c-nigrum</i> (L., 1758)                               | 89                | 4,5 | -                 | -    |
| 5     | Совка ярова <i>Amphipoea fucosa</i> (Freyer, 1830)                            | 75                | 3,8 | -                 | -    |
| 6     | Совка смугаста бліда <i>Mythimna pallens</i> (L., 1758)                       | 69                | 3,5 | -                 | -    |
| 7     | Совка пажитницева білосмугова <i>Tholera decimalis</i> (Poda, 1761)           | 66                | 3,3 | -                 | -    |
| 8     | Совка бавовникова <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner, 1808)                  | 65                | 3,2 | -                 | -    |
| 9     | Совка лутигова велика <i>Trachea atriplicis</i> (L., 1758)                    | 61                | 3,1 | -                 | -    |
| 10    | Совка злакова шашкова <i>Oligia latruncula</i> (Denis & Schiffermüller, 1775) | 59                | 2,9 | -                 | -    |
| 11    | Совка городня <i>Lacanobia oleracea</i> (L., 1758)                            | -                 | -   | 82                | 6,5  |
| 12    | Совка темнокрайня <i>Axylia putris</i> (L., 1761)                             | -                 | -   | 79                | 6,3  |
| 13    | Совка гамма <i>Autographa gamma</i> (L., 1758)                                | -                 | -   | 65                | 5,2  |
| 14    | Совка озима <i>Agrotis segetum</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)             | -                 | -   | 59                | 4,7  |
| 15    | Совка малинова <i>Euplexia lucipara</i> (L., 1758)                            | -                 | -   | 52                | 4,2  |
| 16    | Совка земляна каймиста <i>Noctua fimbriata</i> (Schreber, 1759)               | -                 | -   | 45                | 3,6  |
| 17    | Крифія жовтувата <i>Cryphia algae</i> (Fabricius, 1775)                       | -                 | -   | 38                | 3,0  |
| 18    | Крифія фраздатрикула <i>Cryphia fraudatricula</i> (Hübner, 1803)              | -                 | -   | 33                | 2,6  |
|       | Всього, особин                                                                | 1995              | 100 | 1253              | 100  |

Таблиця 3

## Індекс домінування Бергера-Паркера популяцій Noctuoidea приміської зони та урбоєкосистеми м. Житомир

| Пункти обліку    | N <sub>(max)</sub> | N    | d     |
|------------------|--------------------|------|-------|
| Пункт обліку № 1 | 164                | 1995 | 0,082 |
| Пункт обліку № 2 | 140                | 1253 | 0,111 |

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати будуть використані для проведення подальших досліджень змін екологічної структури угруповань совкоподібних в умовах зростання антропогенного та техногенного навантаження. Це сприятиме розробці ефективних заходів збереження даної групи комах.

## Література

- Геряк Ю. М. Екологічні комплекси ноктуїдних лускокрилих (Lepidoptera, Noctuoidea) Українських Карпат: дис. ...канд. біол. наук: 03.00.16. Львів, 2021. 375 с.
- Zahiri R., Kitching I.J., Lafontaine J.D., Mutanen M., Kaila L., Holloway J.D., Wahlberg N. A new molecular phylogeny offers hope for a stable family level classification of the Noctuoidea (Lepidoptera). *Zoologica Scripta*, 2010. V. 40. P. 158–173.
- Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Вищі різновусі лускокрилі. Частина 2. Совки (Lepidoptera: Noctuidae) / З. Ф. Ключко та ін.; за заг. ред. проф. О. Є. Пахомова. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2011. 546 с.
- Геряк Ю. М., Дем'яненко С. О., Коновалов С. В., Мартинов Вч. В. До вивчення ноктуїдних лускокрилих (Lepidoptera: Noctuoidea) Донбасу. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2015. Т. 6 (13), № 1. С. 205–234.
- Геряк Ю. М. Лускокрилі надродина Noctuoidea (Insecta, Lepidoptera) Закарпатської області. *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. Біол.* 2010. Вип. 29. С. 126–139.
- Сучков С. І., Геряк Ю. М. До поширення совкоподібних лускокрилих (Lepidoptera: Noctuoidea) у Північно-Західному Приазов'ї та суміжних регіонах степової зони України. *Вісті Харківського ентомологічного товариства*. 2019. Т. XXVII, вип. 2. С. 23–33. DOI: 10.36016/KhESG-2019-27-2-3.
- Канарський Ю. В. Екосистемологічні аспекти проблеми охорони рідкісних і зникаючих видів комах. *Наук. осн. збереж. біот. різном.*: мат. 9-ї наук. конф. мол. учених (м. Львів, 1–2 жовтня 2009 р.). Львів, 2009. С. 37–45.
- Луцька М. П. Угруповання стратобіонтних жуків-стафілінід (Insecta, Coleoptera, Staphylinidae) лісових екосистем Горган: дис. ...канд. біол. наук: 03.00.16. Дніпро, 2021. 230 с.

9. Stocker G. Bergmann A. Ein Modell der Dominanzstruktur und seine Anwendung. 1. Modellbildung. Modellrealisierung. Dominanzklassen. *Arch. Naturschulst. U. Landschaftsforschung*, 1977. 17 (1). P. 1–26.
10. Чумак М. В. Угрупування сапроксилобійонтих твердокрилих букових пралісів Угольського масиву Карпатського біосферного заповідника: дис. ...канд. біол. наук: 03.00.16. Львів, 2017. 198 с.
11. Rizun V. Some methodological approaches to study of carabid beetle (Coleoptera: Carabidae) communities. *Baltic Journal of Coleopterology*, 2003. № 2. P. 97–100.
12. Білецький Ю. В. Угрупування ґрунтової мезофауни соснових лісів Шацького національного природного парку та їх антропогенні зміни: дис. ...канд. біол. наук: 03.00.16. Львів, 2016. 160 с.
13. Білецький Ю. В. Поширення та кількісні характеристики представників родини Elateridae у соснових лісах Шацького національного природного парку. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*: Зб. наук. пр. Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2014. № 11. С. 260–264.
14. Putchkov A. V., Brygadyrenko V. V., Nikolenko N. Yu. Ecological-faunistic analysis of ground beetles and tiger beetles (Coleoptera: Carabidae, Cicindelidae) of metropolises of Ukraine. *Biosystems Diversity*. 2020. 28(2). P. 163–174. DOI: <https://doi.org/10.15421/012022>.
15. Канарський Ю. В. Параметри угруповань денних метеликів (Lepidoptera, Diurna) як індикатори біорізноманіття наземних екосистем. *Теоретичні та прикладні проблеми екосистемології*. Тези доп. Житомир, 2008. С. 75–81.
16. Канарський Ю. В., Царик І. С. Денні метелики (Lepidoptera, Diurna) – індикатори трансформаційних процесів ксерофільних біотопів. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.* 2005. Вип. 39. С. 96–102.
17. Buszko J. Lepidoptera as bioindicators of changes in various kind of ecosystems. *Some ecological processes of the biological systems in north Poland*. Toruń: Nicholas Copernicus University Press, 1992. P. 395–400.
18. Білецький Ю. В. Порівняльна характеристика угруповань ґрунтової мезофауни на територіях з різним рекреаційним навантаженням. *Збірник наукових праць Луганського НАУ. Серія біологічні науки*. Луганськ: Елтон-2, 2006. № 66 (89). С. 105–109.
19. Білецький Ю. В. Формування угруповань ґрунтової мезофауни у лісових культурах сосни звичайної в умовах рекреаційного навантаження. *Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки*. Луцьк: РВВ “Вежа” Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2007. № 11 (Ч. 1). С. 196–199.
20. Söderman G. (ed.). Moth monitoring scheme. A handbook for field work and data reporting. *Environmental report*. Helsinki, 1994. V. 8. P. 1–63.
21. Fry R., Waring P. A guide to moth traps and their use. *The Amateur Entomologist*. London: A.E.S., 2001. V. 24. 68 p.
22. Gibb T.J., Oseto C.Y. Arthropod Collection and Identification. Field and Laboratory Techniques. Acad. Press, 2006. 311 p.
23. Zou Y., Feng J., Xue D., Sang W., Axmacher J.C. A Comparison of Terrestrial Arthropod Sampling Methods. *J. Resour. Ecol.*, 2012. V. 3(2). P. 174–182.
24. Odum E. P. Fundamentals of ecology. London: W B Saunders Co, 1971. 574 p.
25. Ключко З. Ф. Совки України. К.: В. Раєвського, 2006. 248 с.

## ВТОРИННІ МЕТАБОЛІТИ ЛІКАРСЬКО-АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН РОДИНИ LAMIACEAE MARTINOV

Котюк Л.А.<sup>1</sup>, Рахметов Д.Б.<sup>2</sup>, Іващенко І.В.<sup>1</sup>, Котюк В.С.<sup>1</sup><sup>1</sup>Поліський національний університет

Старий бульв., 7, 10008, м. Житомир

<sup>2</sup>Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України

вул. Садово-Ботанічна, 1, 01014, м. Київ

kotyuk-la@ukr.net, kalateja@ukr.net, rjb2000.16@gmail.com, zr220784kvs@gmail.com

Упродовж останнього часу зріс попит на природні лікарські засоби, що призвело до надмірного збору дикорослих рослин та стало причиною зниження чисельності їх популяцій. Оскільки рослинний світ відіграє ключову роль у житті людини, його ресурси розглядають як національне надбання, що потребує ретельного дослідження. Це необхідно не лише для використання рослин у медичних цілях, а й для покращення раціону харчування та загального рівня здоров'я населення.

Особливо важливими є дослідження, спрямовані на вивчення нових, малопоширених й нетрадиційних видів рослин, які відзначаються високими показниками якості та продуктивності фітосировини.

У дослідженні використано надземну частину рослин (16 таксонів) з колекційного фонду ботанічного саду Поліського національного університету, які належать до родини Губоцвіті (Lamiaceae Martinov): *Dracocephalum moldavica*, *D. moldavica* 'Perlynka', *Satureja hortensis*, *Elsholtzia ciliate*, *Hyssopus officinalis* 'Markiz', *H. officinalis* 'Atlant', *H. officinalis* 'Vodograj', *H. angustifolius*, *Lavandula angustifolia*, *Agastache foeniculum* 'Siniy veleten', *A. foeniculum* 'Leleka', *Monarda didyma*, *Origanum vulgare*, *Salvia officinalis*, *Salvia sclarea* L., *Nepeta transcaucasica*.

Установлено, що вміст вторинних метаболітів у рослинній сировині малопоширених лікарсько-ароматичних рослин залежить від видових (сортових) особливостей. Найбільший вміст дубильних речовин, які забезпечують бактерицидні та протизапальні властивості лікувальних засобів, виявлено у сировині *D. moldavica* ( $10,3 \pm 1,3$  %), *N. transcaucasica* ( $10,3 \pm 0,8$  %), *H. officinalis* 'Atlant' ( $9,86 \pm 0,5$  %) і *H. officinalis* 'Vodograj' ( $9,7 \pm 0,5$  %). Найвищий вміст золи встановлено у *H. angustifolius* ( $9,1 \pm 0,4$  %), *M. didyma* ( $9,0 \pm 0,8$  %) і *D. moldavica* ( $8,2 \pm 0,6$  %). Найвищий вміст кальцію виявлено у фітосировині *A. foeniculum* 'Leleka' ( $3,62 \pm 0,59$  %), *S. officinalis* ( $3,33 \pm 0,39$  %) і *D. moldavica* ( $3,33 \pm 0,39$  %); фосфору – у *L. angustifolia* ( $0,39 \pm 0,05$  %), *S. hortensis* ( $0,34 \pm 0,01$  %) і *A. foeniculum* 'Leleka' ( $0,33 \pm 0,02$  %); калію – у *H. officinalis* 'Markiz' ( $2607,44 \pm 94,64$  мг%), *H. officinalis* 'Atlant' ( $1720,84 \pm 93,69$  мг%), *H. officinalis* 'Vodograj' ( $1607,41 \pm 95,46$  мг%) та *D. moldavica* 'Perlynka' ( $1507,86 \pm 77,68$  мг%).

Отримані результати свідчать про важливість введення в культуру в Україні малопоширених лікарсько-ароматичних рослин родини Lamiaceae для їхнього подальшого використання у галузях народного господарства. **Ключові слова:** Lamiaceae, лікарські рослини, дубильні речовини, зола, макроелементи.

### Secondary metabolites of medicinal-aromatic plants of the lamiaceae martinov family. Kotyuk L., Rakhmetov D., Ivashchenko I., Kotyuk V.

In recent times, the demand for natural medicinal remedies has increased, leading to the excessive harvesting of wild plants and a consequent decline in their populations. Since the plant world plays a key role in human life, its resources are considered a national treasure that requires thorough research. This is necessary not only for the use of plants in medical applications but also for improving nutrition and the overall health of the population.

Particularly important are studies aimed at exploring new, less common, and unconventional plant species that exhibit high quality and productivity of phytomaterials. This study utilized the aboveground parts of plants (16 taxa) from the collection fund of the Botanical Garden of Polissia National University, which belong to the Lamiaceae Martinov family: *Dracocephalum moldavica*, *D. moldavica* 'Perlynka', *Satureja hortensis*, *Elsholtzia ciliate*, *Hyssopus officinalis* 'Markiz', *H. officinalis* 'Atlant', *H. officinalis* 'Vodograj', *H. angustifolius*, *Lavandula angustifolia*, *Agastache foeniculum* 'Siniy veleten', *A. foeniculum* 'Leleka', *Monarda didyma*, *Origanum vulgare*, *Salvia officinalis*, *Salvia sclarea* L., *Nepeta transcaucasica*.

It has been established that the content of secondary metabolites in the plant raw materials of less common medicinal and aromatic plants depends on species (varietal) characteristics. The highest content of tannins, which provide bactericidal and anti-inflammatory properties to medicinal products, was found in the raw materials of *Dracocephalum moldavica* ( $10.3 \pm 1.3$ %), *Nepeta transcaucasica* ( $10.3 \pm 0.8$ %), *Hyssopus officinalis* 'Atlant' ( $9.86 \pm 0.5$ %) and *H. officinalis* 'Vodograj' ( $9.7 \pm 0.5$ %).

The highest ash content was recorded in *H. angustifolius* ( $9.1 \pm 0.4$ %), *Monarda didyma* ( $9.0 \pm 0.8$ %) and *D. moldavica* ( $8.2 \pm 0.6$ %). The highest calcium content was found in the phytomaterials of *Agastache foeniculum* 'Leleka' ( $3.62 \pm 0.59$ %), *Salvia officinalis* ( $3.33 \pm 0.39$ %) and *D. moldavica* ( $3.33 \pm 0.39$ %); phosphorus – in *Lavandula angustifolia* ( $0.39 \pm 0.05$ %), *Satureja hortensis* ( $0.34 \pm 0.01$ %) and *A. foeniculum* 'Leleka' ( $0.33 \pm 0.02$ %); potassium – in *H. officinalis* 'Markiz' ( $2607.44 \pm 94.64$  mg%), *H. officinalis* 'Atlant' ( $1720.84 \pm 93.69$  mg%), *H. officinalis* 'Vodograj' ( $1607.41 \pm 95.46$  mg%) and *D. moldavica* 'Perlynka' ( $1507.86 \pm 77.68$  mg%).

The obtained results indicate the importance of introducing less common medicinal and aromatic plants of the Lamiaceae family into cultivation in Ukraine for their further use in various sectors of the national economy. **Key words:** Lamiaceae, medicinal plants, tannins, ash, macroelements.

Останнім часом у світі зростає зацікавленість лікарськими засобами природного походження. Відповідно до різних оцінок, частка фітопрепаратів у європейському та глобальному фармацевтичному секторі становить від 30 до 50%. В Україні також спостерігається стабільне зростання попиту на такі засоби: щорічно обсяги їх реалізації збільшуються на 15–20%. За прогнозами міжнародних експертів, потенціал вітчизняного фармацевтичного ринку оцінюється в межах двох мільярдів доларів США на рік. При цьому лівову частку продажів (65–70%) займають препарати українського виробництва, що пояснюється їх доступністю та ефективністю [1,2].

Розвиток лікарського рослинництва в Україні може стати важливим кроком для збереження та відновлення біорізноманіття. Однак ця галузь тривалий час залишається поза належною увагою суспільства та держави, особливо з моменту здобуття незалежності. Вирощування лікарських рослин не лише сприяє екологічному балансу, але й відповідає принципам сталого розвитку. Водночас зростаючий попит на природні лікарські засоби призвів до надмірного збору дикорослих рослин, що негативно позначилося на чисельності їх популяцій [3]. Оскільки рослинний світ відіграє ключову роль у житті людини, його ресурси розглядають як національне надбання, що потребує ретельного дослідження. Це необхідно не лише для використання рослин у медичних цілях, а й для покращення раціону харчування та загального рівня здоров'я населення [1,4].

**Актуальність дослідження.** В Україні діє загальнодержавна програма збереження біорізноманіття на 2007–2025 роки, основною метою якої є реалізація державної політики щодо охорони та раціонального використання природних ресурсів. Програма спрямована на суттєве зниження негативного впливу людської діяльності, створення сприятливих умов для збереження та відновлення екосистем, а також підтримку природного балансу біорізноманіття [5].

Сучасні глобальні виклики ставлять перед людством нові завдання, пов'язані з подоланням екологічних та продовольчих проблем. Особливого значення набувають дослідження, спрямовані на інтродукцію нових, малопоширених та нетрадиційних видів рослин, які здатні адаптуватися до несприятливих кліматичних умов, забезпечуючи при цьому високу врожайність, якість і продуктивність фітосировини. Досить важливим є дослідження біохімічних особливостей лікарської рослинної сировини малопоширених видів в умовах культури [6].

Рослини родини Губоцвіті (*Lamiaceae* Martinov, 1820) відзначаються високим вмістом біологічно активних сполук, широким спектром фармакологічних властивостей і низькою токсичністю, що робить їх перспективними для наукових досліджень. Надземні частини цих рослин, зокрема листки, квітки та насіння, містять цінні поживні речовини та біологічно активні компоненти, які мають лікуваль-

ний ефект і сприяють зміцненню імунної системи людини [7,8].

**Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями.** Враховуючи те, що рослини родини *Lamiaceae* мають значну біологічну цінність, вивчення їх біохімічних особливостей має важливе практичне значення для підвищення резистентних властивостей організму людини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Лікарська рослинна сировина, фітопрепарати, а також мінерально-вітамінні комплекси природного походження містять різноманітні неорганічні елементи, які мають значний вплив на фізіологічні та біологічні процеси в організмі людини. Ці елементи активно беруть участь у окислювально-відновних реакціях. Для нормального функціонування організму необхідно, щоб через їжу та воду постійно надходило до 70 макро- та мікроелементів, з яких 43 є есенціальними (життєво важливими). Ці елементи критично важливі для профілактики та лікування багатьох захворювань, спричинених порушенням мінерального балансу в організмі людини, а також для підтримки її імунної системи. Зокрема, макроелементи, такі як калій, кальцій та фосфор, мають важливе значення для метаболічних процесів в організмі. Калій регулює внутрішньоклітинний обмін, водно-електролітний баланс і осмотичний тиск. Кальцій є основою кісткової тканини і бере участь у процесах нервово-м'язового збудження. Фосфор є складовою частиною білків, жирів і нуклеїнових кислот, а також активує розумову та фізичну діяльність [12].

Дубильні речовини, або таніни, є полімеризованими фенольними сполуками, які здатні ущільнювати та закріплювати білкові молекули в поверхневих шарах шкіри або слизових оболонках. Це робить їх стійкішими до зовнішніх впливів і знижує їх проникність [13]. Поліфеноли, що постійно надходять до організму людини з рослинною їжею, впливають на всі відділи травного тракту, а після всмоктування – на серцево-судинну систему, нирки та інші органи. Вони в великій кількості містяться в таких продуктах, як чай, кава, какао, а також у настоях і відварах з лікарських рослин. Таніни мають широкий спектр медичних застосувань завдяки своїм протизапальним, в'язучим та антимікробним властивостям. Їх використовують для лікування таких захворювань, як гострі та хронічні коліти, ентерити, гастрити, а також як кровоспинний засіб. Крім того, таніни ефективні при запальних процесах ротової порожнини, гортані та носа. Їх також застосовують як антидоти при отруєннях ртуттю, свинцем або іншими токсичними речовинами. Зокрема, препарати, що містять таніни, такі як **Деласкін** (антидот), **Танальбін** (для лікування запальних захворювань шлунку) та **Альтан** (кровоспинний засіб), широко застосовують у медичній практиці [14]. Окрім медичних застосувань, дубильні речовини знахо-

дять використання в текстильній промисловості для дублення шкіри, хутра, обробки текстильних волокон і виготовлення чорнила [15].

У харчовій промисловості таніни відомі як добавка E181, яка виконує функції стабілізатора, емульгатора та барвника. Барвник E181 дозволений для використання в харчових продуктах в Україні. Таніни E181 застосовують як освітлювачі, сорбенти, згущувачі, барвники та сполучні агенти. Як барвники, таніни реагують із солями важких металів, що дозволяє створювати специфічні кольорові ефекти. Харчова добавка E181 знаходить своє застосування у виробництві пива, вина, рибних закусок, кондитерських виробів та інших харчових продуктів [16].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується зазначена стаття.** Зважаючи на обмежені відомості щодо цінних малопоширених ароматично-лікарських рослин родини Lamiaceae, виникла необхідність вивчення якісного складу та кількісного вмісту неорганічних елементів та дубильних речовин у надземній частині лікарсько-ароматичних рослин родини Lamiaceae під час квітання в умовах культури у зоні Поліссі України.

**Мета дослідження** – встановлення вмісту вторинних метаболітів (дубильних речовин, золи, кальцію, калію, фосфору) у надземній частині малопоширених рослин родини Lamiaceae для подальшого використання у якості лікарської та харчової сировини.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Інтродукційні дослідження малопоширених лікарсько-ароматичних рослин тривають з 2008 року по даний час на колекційних ділянках ботанічного саду Поліського національного університету (м. Житомир). Використано насінний матеріал із колекційного фонду Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка наступних видів рослин: змієголовник молдавський (*Dracosephalum moldavica* L., 1753), форма синьоквіткова й білооквіткова – сорт 'Perlynka'), чабер садовий (*Satureja hortensis* L., 1753), ельшольція гребінчаста (*Elsholtzia ciliata* (Thunb) Nylander, 1941) – однорічні види; гісоп лікарський (*Hyssopus officinalis* L., 1753, сорти: 'Markiz', 'Atlant', 'Vodograj'), гісоп вузьколистий (*Hyssopus angustifolius* M. Bieb., 1753), лаванда справжня (*Lavandula angustifolia* Mill., 1768), лофант ганусовий (*Agastache foeniculum*, сорти 'Siniy veleten' і 'Leleka'), монарда двійчаста (*Monarda didyma* L., 1753), материнка звичайна (*Origanum vulgare* L., 1753), шавлія лікарська (*Salvia officinalis* L., 1753), шавлія мускатна (*Salvia sclarea* L., 1753), непета закавказька (*Nepeta transcaucasica* Grossh., 1944) – багаторічні види.

Надземну масу рослин заготовляли у фазу повного квітання рослин (липень–серпень). Біохімічні дослідження здійснювали за З. М. Грицаєнко та ін. (2003) та ДФУ (2014, 2015) [18,19].

**Виклад основного матеріалу.** Цінність і продуктивність рослини значною мірою визначаються її хімічним складом. Рослини містять різноманітні речовини, від мінералів до високомолекулярних органічних сполук. Під час росту рослини синтезують різні речовини, які не беруть участі в основних обмінних процесах клітини, відомі як «вторинні метаболіти». До таких сполук відносяться дубильні речовини, макроелементи та інші органічні компоненти, які можуть виконувати захисну, регуляторну чи інші функції в організмі рослини [20].

Дубильні речовини – це високомолекулярні природні фенольні сполуки, які накопичуються у коренях, стеблах, листках і плодах рослин, де їх вміст може сягати до 20–45% [15].

Результати біохімічних досліджень надземної частини рослин родини Губоцвіті свідчать про накопичення у органах рослин (пагонах, листках, квітках) дубильних речовин. Серед однорічних інтродуктивів максимальна кількість дубильних речовин виявлена у сировині *D. moldavica* ( $10,3 \pm 1,3\%$ ), дещо менша – у *S. hortensis* ( $7,2 \pm 0,6\%$ ), найменша – у *E. ciliata* ( $4,1 \pm 0,5\%$ ). У сировині багаторічних інтродуктивів вміст дубильних речовин складав від  $4,1 \pm 0,7\%$  (*H. Angustifolius*) і  $4,1 \pm 0,8\%$  (*S. sclarea*) до  $10,3 \pm 0,8\%$  (*N. transcaucasica*) і  $9,86 \pm 0,5\%$  (*H. officinalis* 'Atlant') (рис. 1).

Вміст золи в рослинній сировині є важливим показником її якості, оскільки зола – це неспалений залишок неорганічних сполук. Основними компонентами золи є зольні елементи, такі як калій (K), кальцій (Ca), фосфор (P), кремній (Si), мідь (Cu), марганець (Mn) та інші. Ці елементи беруть участь у процесах побудови тканин рослин, підтримці кислотно-лужної рівноваги та нормалізації водно-солевого обміну організму.

Дослідженням виявлено, що кількісний вміст золи у надземній сировині досліджуваних видів не перевищував «Стандарти допустимої зольності», встановлений для лікарських рослин, у межах від 4 до 12% [20,19]. Серед однорічних рослин найвищий вміст золи встановлено у синьоквіткової форми *D. moldavica* ( $8,2 \pm 0,6$ ), найнижчий – у *S. hortensis* ( $4,3 \pm 0,6\%$ ). Найвищий вміст золи поміж багаторічних ароматичних рослин виявлено у *H. angustifolius* ( $9,1 \pm 0,4$ ) і *M. didyma* ( $9,0 \pm 0,8\%$ ), найнижчий – у *L. anisatus* 'Leleka' ( $5,4 \pm 0,6$ ) і *L. angustifolia* ( $5,9 \pm 0,6\%$ ) (рис. 2).

Макроелементи входять до складу основної маси золи та сухої речовини, а також органічних і неорганічних речовин клітин організмів. Такі макроелементи як фосфор, калій, кальцій та ін., містяться у рослинах у відносно значних кількостях – від декількох відсотків до сотих відсотка сухої речовини [21].

**Виявлено, що у надземній сировині однорічних рослин вміст кальцію становив від  $2,48 \pm 0,04\%$  у фітосировині *S. hortensis* до  $3,31 \pm 0,12\%$  – у *D. moldavica*; у надземних органах багаторічних**



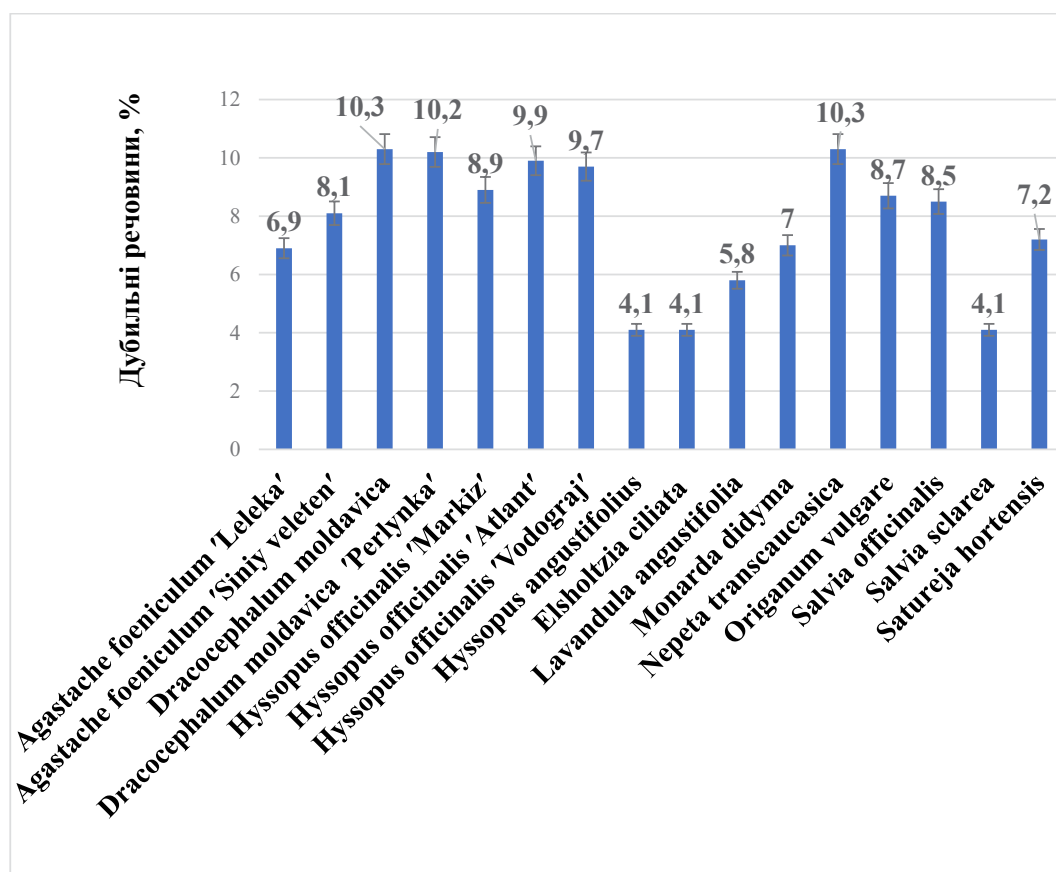


Рис. 1. Вміст дубильних речовин у надземній частині рослин родини Lamiaceae, % на абсолютно суху речовину

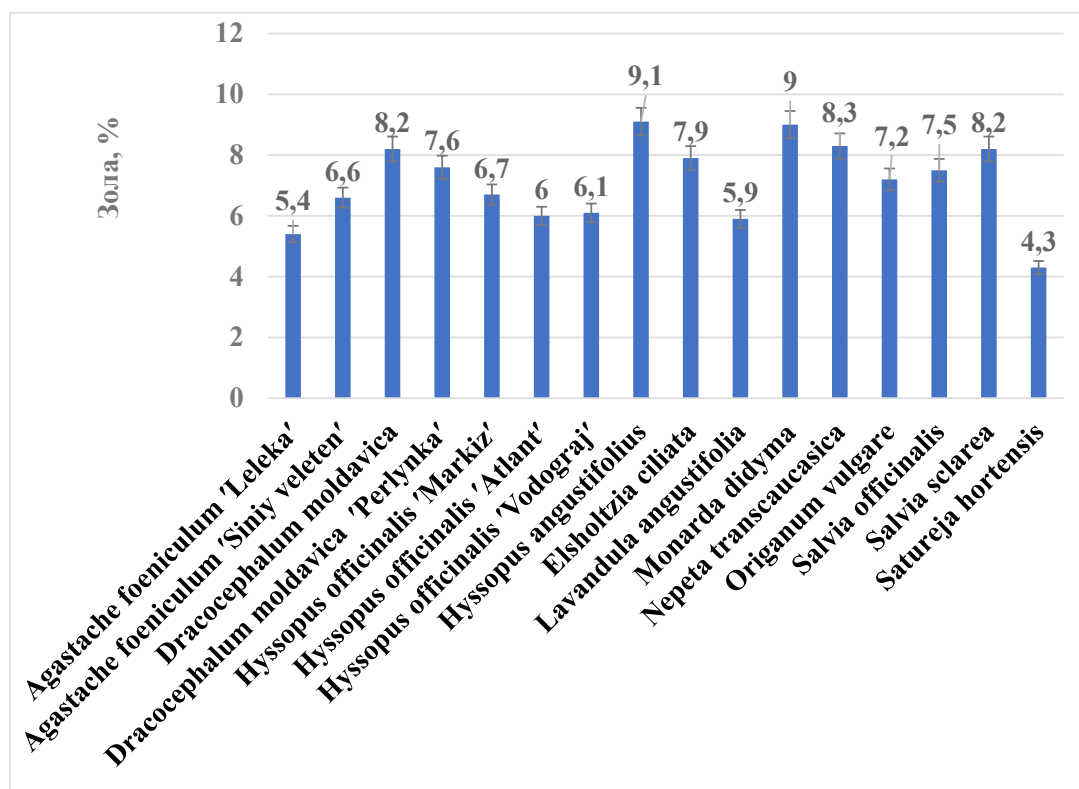


Рис. 2. Вміст золи у надземній частині рослин родини Lamiaceae, % на абсолютно суху речовину

Таблиця 1

Кількісний вміст макроелементів у надземній частині малопоширених рослин родини *Lamiaceae* за умов інтродукції у зоні Полісся України

| № з/п | Вид (форма,) рослини                        | Кальцій, % | Фосфор, %  | Калій, мг % на абс. суху масу |
|-------|---------------------------------------------|------------|------------|-------------------------------|
| 1.    | <i>Agastache foeniculum</i> 'Leleka'        | 3,62±0,59  | 0,33±0,02  | 866,69±78,86                  |
| 2.    | <i>Agastache foeniculum</i> 'Siniy veleten' | 0,88±0,02  | 0,09±0,002 | 426,67±17,29                  |
| 3.    | <i>Dracocephalum moldavica</i>              | 3,31±0,12  | 0,15±0,01  | 1426,82±56,95                 |
| 4.    | <i>Dracocephalum moldavica</i> 'Perlynka'   | 2,96±0,33  | 0,14±0,004 | 1507,86±77,68                 |
| 5.    | <i>Hyssopus officinalis</i> 'Markiz'        | 1,99±0,14  | 0,12±0,004 | 2607,44±94,64                 |
| 6.    | <i>Hyssopus officinalis</i> 'Atlant'        | 1,61±0,08  | 0,12±0,002 | 1720,84±93,69                 |
| 7.    | <i>Hyssopus officinalis</i> 'Vodograj'      | 1,21±0,11  | 0,11±0,007 | 1607,41±95,46                 |
| 8.    | <i>Hyssopus angustifolius</i>               | 1,23±0,06  | 0,07±0,005 | 646,67±47,11                  |
| 9.    | <i>Elsholtzia ciliata</i>                   | 3,03±0,09  | 0,28±0,01  | 718,28±40,58                  |
| 10.   | <i>Lavandula angustifolia</i>               | 2,65±0,22  | 0,39±0,05  | 1176,87±61,63                 |
| 11.   | <i>Monarda didyma</i>                       | 1,36±0,06  | 0,08±0,003 | 670,00±22,63                  |
| 12.   | <i>Nepeta transcaucasica</i>                | 1,76±0,09  | 0,06±0,001 | 713,33±17,29                  |
| 13.   | <i>Origanum vulgare</i>                     | 2,52±0,19  | 0,23±0,005 | 1125,89±86,78                 |
| 14.   | <i>Salvia officinalis</i>                   | 3,33±0,39  | 0,12±0,02  | 1137,37±73,24                 |
| 15.   | <i>Salvia sclarea</i>                       | 1,85±0,042 | 0,11±0,003 | 836,67±6,53                   |
| 16.   | <i>Satureja hortensis</i>                   | 2,48±0,04  | 0,34±0,01  | 0,00                          |

рослин – від 0,88±0,02% (*A. foeniculum* 'Siniy veleten') до 3,62±0,59% (*A. foeniculum* 'Leleka') (табл. 1).

Кількісний вміст фосфору у сировині рослин-інтродуцентів змінювався залежно від видових і сортових особливостей. Найвищий вміст фосфору серед однорічних ароматичних рослин виявлено у фітосировині у *S. hortensis* (0,34±0,01%), серед багаторічних – у *L. angustifolia* (0,39±0,05%), і *A. foeniculum* 'Leleka' (0,33±0,02%). Мінімальний вміст хімічного елемента зафіксовано у надземній частині *D. moldavica* 'Perlynka' (0,14±0,004) (одно-річник) і у *N. transcaucasica* (0,06±0,001%) (багаторічник) (див. табл. 1).

У надземній сировині досліджуваних ароматичних рослин кількісний вміст калію відзначився дуже широким діапазоном показників. Не виявлено калій у надземній масі однорічного виду *S. hortensis*, тоді як у *D. moldavica* 'Perlynka' його вміст становив 1507,86±77,68 мг%. Найнижчий вміст калію у фітосировині багаторічних рослин відмічено у рослин *A. foeniculum* 'Siniy veleten' (426,67±17,29), найвищий – у *H. officinalis* 'Markiz' (2607,44±94,64 мг%) (див. табл. 1).

**Головні висновки.** Дослідженнями встановлено, що вміст вторинних метаболітів у рослинній сировині малопоширених лікарсько-ароматичних рослин залежить від видових (сортних) особливостей.

Найбільша кількість дубильних речовин, які забезпечують бактерицидні та протизапальні властивості лікувальних засобів, виявлена у сировині *D. moldavica* (10,3±1,3%), *N. transcaucasica* (10,3±0,8%), *H. officinalis* 'Atlant' (9,86±0,5%) і *H. officinalis* 'Vodograj' (9,7±0,5%). Найвищий вміст кальцію виявлено у фітосировині *A. foeniculum* 'Leleka' (3,62±0,59%), *S. officinalis* (3,33±0,39%) і *D. moldavica* (3,33±0,39%); фосфору – у *L. angustifolia* (0,39±0,05%), *S. hortensis* (0,34±0,01%) і *A. foeniculum* 'Leleka' (0,33±0,02%); калію – у *H. officinalis* 'Markiz' (2607,44±94,64 мг%) *H. officinalis* 'Atlant' (1720,84±93,69%), *H. officinalis* 'Vodograj' (1607,41±95,46%) та *D. moldavica* 'Perlynka' (1507,86±77,68 мг%).

Отримані результати свідчать про важливість уведення в культуру в Україні малопоширених лікарсько-ароматичних рослин родини *Lamiaceae* для їхнього подальшого використання у галузях народного господарства.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Дубильні речовини забезпечують бактерицидні та протизапальні властивості лікувальних засобів, а макроелементи – процеси обміну в організмі людини, тому малопоширені рослини родини *Lamiaceae* перспективні для використання у лікарській та харчовій галузі.

### Література

1. Рахметов Д. Б., Рахметова С. О. Роль інтродукції та селекції у збереженні і збагаченні різноманіття господарсько-цінних рослин в Україні. *Сучасні аспекти збереження здоров'я людини: збірник праць X міжнародної міждисциплінарної наук.-практ. конф. Ужгород* : 2017. С. 259–262.

2. Дем'янюк О. С., Кічігіна О. О., Цибро Ю. А. Актуальні питання вирощування *Hypericum perforatum* L. в культурі. *Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень*: матеріали V Міжнар. наук. конф. (Березоточа, 2 квітня 2021 року). Лубни: ВКФ «Інтер Парк», 2021. С. 104–108.
3. Мірзоева Т. Щодо доцільності розвитку лікарського рослинництва у взаємозв'язку зі збереженням біорізноманіття. *Інноваційні екологобезпечні технології рослинництва в умовах воєнного стану*: Матеріали II Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 31 серпня 2023 року). Київ, 2023. С. 119–122.
4. Глущенко Л. А., Приведенюк Н. В. Перспективи вирощування лікарських, ефіроолійних і пряноароматичних культур в умовах України. *Збалансоване природокористування*. 2023. Вип. 4. С. 41–49.
5. Загальнодержавна програма збереження біорізноманіття України на 2007–2025 роки. URL: [http://www.sea.gov.ua/oldwebsite/GIS/BSR/UA/documents/legislation/Prog\\_bio.htm](http://www.sea.gov.ua/oldwebsite/GIS/BSR/UA/documents/legislation/Prog_bio.htm).
6. Мірзоева Т. В. Перспективи розвитку лікарського рослинництва. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Сер.: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес. 2013. Вип. 181(6). С. 176–181.
7. Котюк Л. А., Рахметов Д. Б., Іващенко І. В. Перспективи використання ароматичних рослин родини Lamiaceae Martinov. *Екологічні науки*. 2022. № 6(45). С. 119–125. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.19>.
8. Котюк Л. А., Іващенко І. В., Житова О. П., Котюк В. С. Фітохімічні особливості малопоширених лікарських рослин: чаберу садового (*Satureja hortensis*) та ельшольції війчастої (*Elsholtzia ciliata*). *Екологічні науки*. 2024. № 3 (54). С. 228–234. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.31>
9. Дереча Л. М., М'ясоєдов В. В. Макро- та мікроелементи: сучасні уявлення про їх функціональне значення в теплокровному організмі. *Експериментальна та клінічна медицина*. 2007. № 4. С. 21–25.
10. Качур І. І., Крч Х. Л. Визначення вмісту макро-та мікроелементів рослинної сировини *Asplenium scolopendrium* (Aspleniaceae) флори Українських Карпат. *Науковий вісник Ужгородського університету, серія «Медицина»*, 2015. Вип. 2 (52). С. 17–19.
11. Балачук Т. І., Мазулін О. В., Опрошанська Т. В., Мазулін Г. В. Дослідження накопичення неорганічних елементів у рослинній сировині *Carduus nutans* L., *Carduus acanthoides* L. *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*. 2017. Вип. 10, № 1. С. 42–48. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apfimtnt\\_2017\\_10\\_1\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apfimtnt_2017_10_1_10)
12. Фармакогнозія з основами біохімії рослин: / За ред. В. М. Ковальова. Харків: Прапор, 2000. 704 с.
13. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник / За ред. А. М. Гродзінського. К.: Видавництво «Українська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп». 1992. 544 с.
14. Дабіжук Т. М., Мельник О. В. Хімічна будова танінів та їх практичне використання. *Розділ I. Навчання хімії у загальноосвітніх, професійно-технічних та вищих навчальних закладах*: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. (м. Київ, 20-21 квітня 2017 р.). Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2017. С. 144–148.
15. Дубильні речовини. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2595/dubilni-rechovini>
16. Е-181. Таніни харчові. URL: <https://uk.dobavkam.net/additives/e-181>
17. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: НІЧЛАВА, 2003. 320 с.
18. Державна Фармакопея України: в 3 т. / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2е вид. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2014. Т. 3. 732 с.
19. Державна Фармакопея України: в 3 т. / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-е вид. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. Т. 1. 1128 с.
20. Дереча Л. М., М'ясоєдов В. В. *Макро- та мікроелементи: сучасні уявлення про їх функціональне значення в теплокровному організмі*. Експериментальна та клінічна медицина. 2007. № 4. С. 21–25.
21. Хортецька Т. В., Смойловська Г. П., Мазулін О. В. Дослідження складу макро- та мікроелементів рослинної сировини *Plantago media* L. флори України. *Актуал. питання фармац. та мед. науки та практики*. 2013. № 1. С. 12–14. DOI: <http://dspace.zsmu.edu.ua/handle/123456789/3404>

## ІНТРОДУКЦІЯ ВИДІВ РОДИНИ *CORNACEAE* DUMORT. В УМОВАХ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

Купчак Р.В., Кавчук І.М., Різничук Н.І., Гнєзділова В.І.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

вул. Шевченка, 57, 77008, м. Івано-Франківськ

ruslan.kupchak@gmail.com, iryna.kavchuk@gmail.com, nadiia.riznychuk@pnu.edu.ua,

viktoria.gniezdilova@pnu.edu.ua

Стаття присвячена дослідженню адаптації та перспектив використання видів родини *Cornaceae* Dumort. в умовах Івано-Франківська. Наведено аналіз сучасного стану інтродукції цих рослин в регіоні, розглянуто їх біологічні особливості та екологічну стійкість. Особливу увагу приділено декоративним, плодовим і лікарським властивостям видів, таким як *Cornus mas*, *Swida alba* та *Swida stolonifera*. Результати дослідження свідчать про високу адаптивність цих рослин до місцевих умов, що робить їх перспективними для озеленення, лісомеліорації та аграрного використання. Подано рекомендації щодо подальших досліджень і впровадження видів *Cornaceae* у практику.

Родина *Cornaceae* Dumort. включає різноманітні дерев'яні рослини, які широко відомі завдяки своїм декоративним, плодовим та лікарським властивостям. У сучасних умовах, коли зростає необхідність у підвищенні біорізноманіття зелених насаджень, інтродукція та використання цих рослин набувають особливого значення. Стаття присвячена дослідженню адаптації та перспектив використання видів *Cornaceae* в умовах Івано-Франківська, що дозволяє оцінити їх потенціал для різних сфер господарства. Аналіз інтродукції рослин родини *Cornaceae* в Івано-Франківському регіоні свідчить про успішну акліматизацію кількох видів, зокрема *Cornus mas* (кизил звичайний), *Swida alba* (свидина біла) та *Swida stolonifera* (свидина повзуча). Ці рослини вирізняються високою декоративністю, невибагливістю до умов зростання та стійкістю до негативних екологічних чинників, таких як забруднення повітря та ґрунту.

Результати польових досліджень показали, що всі три види мають високу екологічну пластичність, тобто здатність адаптуватися до різноманітних умов середовища. Вони добре переносять як підвищену вологість, так і періоди посухи. Крім того, ці види виявилися стійкими до хвороб і шкідників, що знижує потребу в застосуванні хімічних засобів захисту рослин. **Ключові слова:** *Cornaceae*, інтродукція, Івано-Франківськ, озеленення, біорізноманіття, декоративні рослини, екологічна адаптація, зміна клімату.

### Introduction of species of the family *Cornaceae* DUMORT. in the conditions of Ivano-Frankivsk. Kupchak R., Kavchuk I., Riznychuk N., Gniezdilova V.

The article is devoted to the study of adaptation and prospects of using species of the family *Cornaceae* Dumort. in Ivano-Frankivsk. The analysis of the current state of introduction of these plants in the region is presented, their biological characteristics and ecological stability are considered. Particular attention is paid to the decorative, fruit and medicinal properties of species such as *Cornus mas*, *Swida alba* and *Swida stolonifera*. The results of the study indicate that these plants are highly adaptable to local conditions, which makes them promising for landscaping, forest reclamation and agricultural use. Recommendations for further research and implementation of *Cornaceae* species into practice are given.

The family *Cornaceae* Dumort. includes a variety of woody plants that are widely known for their decorative, fruit and medicinal properties. In modern conditions, when there is a growing need to increase the biodiversity of green spaces, the introduction and use of these plants are of particular importance. The article is devoted to the study of adaptation and prospects for the use of *Cornaceae* species in Ivano-Frankivsk, which allows us to assess their potential for various sectors of the economy. The analysis of the introduction of plants of the *Cornaceae* family in the Ivano-Frankivsk region shows the successful acclimatisation of several species, including *Cornus mas*, *Swida alba* and *Swida stolonifera*. These plants are highly decorative, undemanding to growing conditions and resistant to negative environmental factors such as air and soil pollution.

Field studies have shown that all three species have high ecological plasticity, i.e. the ability to adapt to various environmental conditions. They tolerate both high humidity and periods of drought. In addition, these species have proven to be resistant to diseases and pests, which reduces the need for chemical plant protection products. **Key words:** *Cornaceae*, introduction, Ivano-Frankivsk, landscaping, biodiversity, ornamental plants, ecological adaptation, climate change.

**Постановка проблеми.** В умовах зростаючого антропогенного впливу та кліматичних змін виникає необхідність пошуку і впровадження нових видів рослин для озеленення та підтримки екологічної рівноваги. Родина *Cornaceae* Dumort. пропонує широкий спектр декоративних, плодових та лікарських видів, які мають потенціал для адаптації в умовах Івано-Франківська.

Інтродукція рослинних видів родини *Cornaceae* Dumort. в Україні має важливе значення для збагачення місцевої флори та розвитку озеленення. Багато видів цієї родини є цінними декоративними, плодовими та лікарськими рослинами, однак їх адаптація до кліматичних умов України залишається недостатньо вивченою. Це обумовлює потребу в дослідженні біологічних особливостей, адаптаційного потенці-

алу та перспектив використання цих рослин у різних регіонах України, зокрема в Івано-Франківській області.

Інтродукція рослин є важливим напрямом ботанічної науки, що сприяє збереженню біорізноманіття, розширенню асортименту декоративних, плодових і лікарських рослин, а також поліпшенню екологічного стану урбанізованих територій. Родина *Cornaceae* Dumort., представники якої мають цінні господарські властивості, є перспективним об'єктом для таких досліджень. Вивчення адаптації цих видів в умовах України є необхідним для визначення їх потенційного використання у ландшафтному дизайні, садівництві та медицині.

**Актуальність дослідження.** Інтродукція рослин родини *Cornaceae* є актуальною з огляду на їх високу декоративну, господарську та екологічну цінність. Особливий інтерес становлять морозостійкі та посухостійкі види, які можуть сприяти збагаченню місцевого біорізноманіття та вирішенню проблеми деградації зелених насаджень у міських умовах.

У сучасних умовах екологічної кризи та глобальних змін клімату потреба в інтродукції рослин, стійких до екстремальних умов, зростає. Представники родини *Cornaceae* відзначаються високою декоративністю, медоносністю, наявністю біологічно активних речовин та цінною деревиною. Вивчення цих рослин в Україні сприятиме розширенню асортименту місцевої флори та підвищенню ефективності озеленення урбанізованих територій.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження інтегрується у загальнонаукові завдання зі збереження та збагачення флористичних ресурсів України. Практична цінність полягає у розробці рекомендацій щодо використання видів *Cornaceae* для озеленення Івано-Франківського регіону.

Робота базується на дослідженні адаптаційних властивостей інтродукованих видів родини *Cornaceae*, їх екологічної стійкості та перспектив використання в озелененні, лісомеліорації та медицині. Отримані результати спрямовані на вдосконалення методів акліматизації рослин та розробку рекомендацій щодо їх практичного використання.

Дане дослідження відповідає пріоритетним завданням сучасної ботаніки, зокрема вивченню інтродукції нових видів рослин, їх акліматизації та використання в озелененні міських і природних ландшафтів. Робота спрямована на пошук ефективних методів вирощування, адаптації та поширення представників родини *Cornaceae* в Україні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковці в Україні та за кордоном продовжують активно досліджувати родину *Cornaceae*, зокрема її класифікацію, біологічні особливості, екологічну роль та перспективи інтродукції. Протягом останніх п'яти років у наукових журналах опубліковано низку

праць, які висвітлюють нові підходи до вивчення цієї родини.

Роботи українських науковців зосереджені на уточненні класифікації *Cornaceae* за допомогою молекулярно-генетичних методів [1]. Встановлено нові внутрішньородові зв'язки та підтверджено статус кількох видів. Закордонні дослідження підтвердили еволюційні зв'язки між *Cornaceae* та спорідненими родинками на основі геномних даних, а також переглянули систематику деяких видів [10]. В Україні дослідження фокусуються на вивченні популяційних особливостей *Cornus mas* у природних умовах [3]. Виявлено тенденції до зменшення природних ареалів через антропогенний вплив. Закордонні публікації досліджують вплив зміни клімату на ареали *Cornaceae* [7]. Особлива увага приділяється адаптації видів до екстремальних умов. В Україні проведено низку експериментів з інтродукції *Cornaceae* у південних регіонах [4]. Результати показали перспективність вирощування *Cornus mas* та *Cornus alba* у посушливих умовах. Зарубіжні дослідження демонструють успішну інтродукцію *Cornaceae* в умовах урбанізованих територій, зокрема в Китаї та США [9]. Вивчено їхню декоративну цінність і стійкість до забруднення. Українські науковці дослідили антиоксидантні властивості плодів *Cornus mas*, підкресливши їхнє значення для фармацевтичної промисловості [2]. У міжнародних роботах висвітлено біоактивні сполуки *Cornaceae*, їхній вплив на здоров'я людини та можливості використання у виробництві функціональних продуктів харчування [8]. В Україні вивчено вплив *Cornaceae* на ґрунтові мікроекосистеми [5]. Результати показують їхній позитивний вплив на відновлення деградованих земель. Зарубіжні дослідження акцентують увагу на ролі *Cornaceae* у збереженні біорізноманіття в природних екосистемах [6].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Увага зосереджена на вивченні адаптаційного потенціалу видів *Cornaceae* в умовах Івано-Франківського регіону, зокрема їхньої стійкості до місцевих кліматичних та антропогенних факторів, а також ефективність використання в декоративних і меліоративних цілях. Необхідно також удосконалити методи розмноження та акліматизації цих рослин. Також потребують подальшого дослідження їхні біологічні властивості, вплив місцевих кліматичних умов на ріст і розвиток, а також можливості використання цих рослин у зеленому будівництві.

**Новизна.** Дослідження вперше висвітлює адаптацію та перспективи використання конкретних видів *Cornaceae* в Івано-Франківську. Встановлено специфічні характеристики росту та розвитку рослин у цьому регіоні.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Методологія дослідження базується на комплексному підході, який включає польові спостереження,

лабораторний аналіз і статистичну обробку даних. Дослідження сприяє розвитку методології інтродукції рослин та збагаченню знань про екологічну стійкість представників родини *Cornaceae*. Результати роботи сприяють розвитку теорії інтродукції рослин, зокрема щодо оцінки адаптаційного потенціалу видів в умовах нових екосистем. Вони можуть бути використані в екологічному моніторингу, плануванні ландшафтного дизайну та розробці програм збереження біорізноманіття.

**Виклад основного матеріалу.** Родина *Cornaceae* включає види, що мають широкий спектр застосування. Дерен справжній (*Cornus mas*) демонструє високу адаптивність у регіоні. Свидина біла (*Swida alba*) характеризується стійкістю до міських умов. Інші види, такі як *Swida stolonifera*, також показали перспективність для використання в озелененні.

Родина *Cornaceae* представлена деревами, кущами та напівкущачами, що переважно поширені у помірних і субтропічних регіонах Північної півкулі. В Україні природно ростуть лише три види: *Cornus mas*, *Swida sanguinea* та *Swida australis*. Завдяки інтродукції асортимент видів значно розширився: нині нараховується близько 20 інтродукованих видів, серед яких найпоширенішими є *Swida alba* та *Swida stolonifera*.

*Swida alba*, інтродукована ще у 1809 році, демонструє високу морозостійкість, невибагливість до ґрунтів та стійкість до забруднення. *Swida stolonifera* характеризується здатністю утворювати кореневу порість, що робить її цінною для закріплення схилів та берегів річок. Декоративні якості *Cornus officinalis*, *Cynoxylon florida* та *Cynoxylon japonica* відкривають нові можливості для їх застосування в озелененні.

Дослідження біологічних особливостей інтродукованих видів показало, що вони здатні успішно адаптуватися до умов України, демонструючи високу декоративність, стійкість до хвороб і шкідників. Розроблено рекомендації щодо методів вегетативного розмноження, що сприяє широкому впровадженню перспективних видів у культуру.

В умовах Івано-Франківської області, завдяки помірному клімату та багатим ґрунтам, більшість видів *Cornaceae* демонструють високі показники росту та розвитку. Виявлено, що *Swida stolonifera* може бути використана для укріплення схилів і берегів річок, а *Cornus officinalis* є перспективним для впровадження у сільськогосподарське виробництво.

В таблиці 1 наведено основні види родини, їх природний ареал та біологічні особливості.

Дослідження показали, що *Swida alba* має високу морозостійкість та здатність до швидкого відновлення після обрізки. В умовах міських ландшафтів Івано-Франківської області цей вид добре адаптується до забруднення повітря та змін вологості ґрунту.

*Swida stolonifera* є особливо перспективною для лісомеліоративних робіт. Її здатність формувати кореневу порість дозволяє ефективно закріплювати схили та берегові зони річок, що знижує ризики ерозії.

*Cornus mas*, крім високих декоративних якостей, має цінні плоди, багаті на вітаміни та антиоксиданти. Його вирощування в регіоні може стати основою для створення невеликих господарств, орієнтованих на виробництво лікарської сировини та харчових продуктів.

Виявлено, що *Cornus officinalis* має значний потенціал для сільського господарства. Цей вид, завезений із Східної Азії, демонструє високу стійкість до хвороб та шкідників, що робить його перспективним для подальшого впровадження.

Представники родини *Cornaceae* демонструють широкий спектр адаптивних можливостей до умов України. Залежність швидкості росту рослин від вологості ґрунту свідчить, що оптимальні умови для *Cornus mas* спостерігаються при вологості 50–60%, тоді як *Swida stolonifera* краще адаптується до середніх рівнів вологості (30–50%). *Swida alba* демонструє стабільний ріст у широкому діапазоні умов. *Cornus mas* є важливим джерелом їжі для птахів та комах, що сприяє підтриманню екологічної рівноваги. *Swida alba* використовується як елемент стабілізації ґрунтів у міських і природних ландшафтах. *Swida stolonifera* сприяє зменшенню ерозійних процесів, що особливо важливо для берегових зон.

**Головні висновки.** Види родини *Cornaceae* успішно акліматизуються в умовах Івано-Франківська. Вони мають високий потенціал для декоративного озеленення та господарського використання. Сучасні дослідження *Cornaceae* демонструють інтеграцію новітніх методів, таких як молекулярна генетика, екологічне моделювання та фармакологічний аналіз. В Україні акцент зроблено на інтродукції видів і збереженні природних популяцій, тоді як закордонні дослідники розширюють вивчення екологічних функцій і адаптаційних мож-

Таблиця 1

Основні види родини *Cornaceae*, інтродуковані в Україну

| Вид                                           | Природний ареал         | Особливості                            |
|-----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| <i>Cornus mas</i> (кизил)                     | Південна Європа, Кавказ | Плодовий, лікарський                   |
| <i>Swida alba</i> (свидина біла)              | Євразія                 | Декоративний, стійкий до забруднень    |
| <i>Swida stolonifera</i> (свидина паросткова) | Північна Америка        | Використовується для укріплення схилів |

ливостей родини в умовах змін клімату. Подальше вивчення *Cornaceae* сприятиме збереженню біорізноманіття та їх ефективному використанню в екосистемах і господарській діяльності. Інтродукція видів родини *Cornaceae* значно збагачує асортимент декоративних і господарсько цінних рослин України. Найуспішніше акліматизувалися *Swida alba* та *Swida stolonifera*, які широко використовуються в озелененні та лісомеліорації. Види *Cornus officinalis*, *Cynoxylon florida* та *Cynoxylon japonica* є перспективними для декоративного озеленення завдяки їхній високій декоративності. Розроблені методи розмноження сприяють широкому впровадженню інтродукованих видів у культуру. Подальші дослідження сприятимуть розширенню їхнього застосування в інших регіонах України.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть

бути використані для створення рекомендацій щодо впровадження видів *Cornaceae* у міське озеленення, сільське господарство та збереження біорізноманіття. Подальші дослідження спрямовані на оптимізацію методів розмноження та догляду за цими рослинами. Отримані дані можуть бути використані для подальшого вивчення адаптаційних властивостей інтродукованих рослин, створення нових сортів, розробки рекомендацій для озеленення урбанізованих територій та впровадження видів *Cornaceae* у лісомеліорацію. Дослідження будуть використані для розробки регіональних програм озеленення та створення стійких ландшафтів. Подальше вивчення представників родини *Cornaceae* дозволить впровадити нові види у зелене будівництво та агропромисловий сектор, сприяючи збереженню біорізноманіття та екологічної рівноваги.

### Література

1. Іваненко Т.О., Петренко О.В. Молекулярна філогенетика *Cornaceae*. *Біологічні студії*. 2019. 25(3). С. 123–132.
2. Дмитренко Н.О. Фармакологічні властивості *Cornaceae*. *Фармацевтичний журнал*. 2021. 29(3). С. 56–64.
3. Коваленко П.І. Популяційні особливості *Cornus mas* в Україні. *Український ботанічний журнал*. 2020. 77(2). С. 89–99.
4. Мельник О.М., Савченко Ю.В. Інтродукція *Cornaceae* у південних регіонах України. *Науковий вісник аграрних наук*. 2022. 91(1). С. 45–54.
5. Сидоренко Л.Г. Вплив *Cornaceae* на відновлення деградованих земель. *Екологічні аспекти*. 2023. 12(4). С. 34–42.
6. Hernandez C., Lopez P. Ecological roles of *Cornaceae*. *Biodiversity and Conservation*, 2022. 31(6). С. 1219–1233.
7. Lee J. H., Tanaka K. Climate change and *Cornaceae* distribution. *Global Ecology and Biogeography*. 2021. 30(3). С. 456–465.
8. Kim H., Rodrigues M. Bioactive compounds of *Cornus mas*. *Journal of Functional Foods*. 2020. 62. С. 103–111.
9. Wang Z., Lopez R. Urban adaptation of *Cornaceae* species. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019. 45. С. 126–134.
10. Zhang Y., Smith K. Phylogenetic relationships within *Cornaceae*. *Plant Systematics and Evolution*. 2020. 306(1). С. 15–26.



# ОЦІНКА ВІНОСУ МАКРО- ТА МІКРОЕЛЕМЕНТІВ НАДЗЕМНОЮ МАСОЮ МІСКАНТУСУ, ВИРОЩЕНОГО НА ТЕХНОЗЕМАХ

**Харитонов М.М.<sup>1</sup>, Мартинова Н.В.<sup>2</sup>, Бабенко М.Г.<sup>1</sup>, Клімкіна І.І.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
вул. Сергія Єфремова, 25, 49009, м. Дніпро

<sup>2</sup>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро  
kharvtonov.m.m@dsau.dp.ua, nadiamart.bg@gmail.com

Міскантус – одна з найбільш перспективних рослин для відновлюваної енергетики та інших галузей промисловості. Закладені в умовах навчально-дослідної станції рекультивації земель ДДАЕУ на півдні Дніпропетровської області модельні досліді включали чотири види техноземів: лесоподібний суглинок (ЛС), червоно-бура глина (ЧБГ), сіро-зелена глина (СЗГ), темно-сіра глина (ТСГ). Використані в експерименті техноземи бідні на органічну речовину, вміст гумусу в них не перевищує 1,25%. Темно-сіра сланцева та червоно-бура глини представлені в основному гідрослюдою, сіро-зелена глина – монтморилонітом, а в лесоподібному суглинку каолінит, гідрослюда та монтморилоніт знаходяться приблизно в однакових пропорціях. У двох субстратах (СЗГ та ТСГ) концентрація розчинних солей складала 0,2% та 0,28%. Техноземи відносяться до малопродуктивних земель та мають відносний дефіцит балансу елементів живлення. Особливо це стосується змісту фосфору. Незважаючи на досить низький рівень доступних рослин макроелементів, міскантус здатний рости на слабо- та середньозабруднених ґрунтах, давати стабільні врожаї надземної біомаси, починаючи з третього року вирощування. Хоча техноземи відносяться до маргінальних земель та мають відносний дефіцит балансу елементів живлення, вони придатні до вирощування міскантусу як енергокультури. Серед макроелементів, біомаса міскантусу найбільш інтенсивно накопичує сірку, калій та фосфор. Калій та фосфор в основному накопичується в стеблах, а кальцій та сірка – у листі. Серед есенціальних мікроелементів, марганець, молібден, залізо і, особливо цинк і бір, накопичуються у надземній біомасі міскантусу найактивніше. Щорічний винос біотичних елементів надземною масою міскантусу не перевищує 1,1 кг. Щорічний винос токсичних мікроелементів біомасою міскантусу варіює від 1,1 до 6,6 г/га. Найменший винос зафіксований для кадмію (0,1-0,6 г/га). *Ключові слова:* технозем, міскантус, винос елементів, паливна сировина.

**Assessment of macro- and microelements uptake by above-ground miscanthus mass growing on technosols. Kharytonov M., Martynova N., Babenko M., Klimkina I.**

Miscanthus is one of the most promising crops for renewable energy and other industries. Model experiments conducted in the conditions of the DSAEU Land Reclamation Research Station in the south of the Dnipropetrovsk region included four kinds of technosols: loess-like loam (LS), red-brown clay (RBC), gray-green clay (GGC), dark gray clay (DGC). The technosols used in the experiment are poor in organic matter, the humus content in them does not exceed 1.25%. Dark gray and red-brown clays are mainly represented by hydromica, gray-green clay – by montmorillonite, and in loess-like loam, kaolinite, hydromica and montmorillonite are represented in approximately the same proportions. In two substrates (GGC and DGC), the concentration of soluble salts was 0.2% and 0.28%. Technosols are low-productive lands and have a relative deficit in the balance of nutrients. This especially applies to the phosphorus content. Despite the rather low level of available macronutrients, miscanthus is able to grow on slightly and moderately polluted soils, to produce stable yields of aboveground biomass starting from the third year of cultivation. Although technosols are marginal lands and have a relative deficit in the balance of nutrients, they are suitable for growing miscanthus as an energy crop. Among macronutrients, miscanthus biomass accumulates sulfur, potassium and phosphorus most intensively. Potassium and phosphorus are mainly accumulated in the stems, and calcium and sulfur in the leaves. Among essential micronutrients, manganese, molybdenum, iron and, especially zinc and boron, accumulate in the aboveground biomass of miscanthus most actively. The annual removal of biotic elements by the aboveground mass of miscanthus does not exceed 1.1 kg. The annual removal of toxic microelements by the biomass of miscanthus varies from 1.1 to 6.6 g/ha. The lowest removal was recorded for cadmium (0.1-0.6 g/ha). *Key words:* technosol, miscanthus, elements uptake, fuel raw materials.

**Постановка проблеми.** Висока продуктивність і невибагливість до умов вирощування, а також його здатність рости на слабо та середньозабруднених ґрунтах, дозволяють закладати плантації міскантусу на малопродуктивних та рекультивованих землях, не займаючи цінних сільськогосподарських угідь. Кількісні та якісні показники біомаси цієї рослини залежать не лише від генетичної складової виду, але й від великої кількості різних зовнішніх факторів: географічного розташування району вирощування,

кліматичних умов, типу ґрунту, водного режиму, технології обробітку, забезпеченості мінеральними елементами.

Метою роботи було вивчення виносу макро- та мікроелементів надземною масою міскантусу, вирощеного на малопродуктивних гірничих породах.

**Актуальність дослідження.** Відомо, що міскантус розмножується ризомами, які з часом значно збільшують свою біомасу, що, однак, не призводить до прояву інвазивності, тобто захоплення

довколишніх територій. Винесені на поверхню рекультивованого відвалу гірничі породи зазнають процесів геологічного вивітрювання. Це часто призводить до зміни їх реакції рН. Міскантус відрізняється здатністю рости в широкому діапазоні рН – від слабокислої до слаболужної. В ході експерименту було виявлено, що рН трьох з чотирьох досліджених гірничих порід, коливалась від слабколужної (лесоподібний суглинок) до лужної (червоно-бура та сірозелена глини), а темно-сірої сланцевої глини – від слабокислої до слаболужної. Оскільки лесоподібний суглинок є основною підстилаючою породою в умовах степової зони, особливий інтерес представляє консервація еродованих ґрунтів схилів земель. Вивчення виносу макро- та мікроелементів з біомасою міскантусу важливе також і з точки зору оцінки реалізації його фіторе mediaційного потенціалу при вирощуванні на різних за гранулометричним та мінеральним складом гірничих породах.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Знання хімічного складу біомаси міскантусу є дуже важливим з різних точок зору. Якщо говорити про його використання для виробництва пелет, то тут на перше місце виходить вміст сірки через ризик негативного внеску цього елемента у формування «кислотних дощів». Знання співвідношення калію до натрію характеризує рівень окиснювально-відновних процесів у рослині, а також про здатність міскантусу рости на засолених ґрунтах.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Не достатньо дослідженою є міграція есенціальних та токсичних елементів з різних техноземів до надземної маси міскантусу. Зокрема це стосується коефіцієнтів біологічного поглинання та біогеохімічної рухомості мікроелементів.

**Новизна.** Вирощування міскантусу в Україні переважним чином досліджувалося в умовах більш забезпечених опадами природно-кліматичних зон на дерново-опідзолених та темно-сірих лісових ґрунтах. У роботі вперше визначено рівні виносу макро- та мікроелементів з біомасою міскантусу відповідно до різних за фізико-хімічними властивостями розкритих гірничих порід.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Закладені в умовах навчально-дослідної станції рекультивації земель ДДАЕУ на півдні Дніпропетровської області модельні досліді передбачають їх тривале дослідження. Були використані наступні чотири моделі техноземів, що утворилися в результаті видобутку марганцевої руди Нікопольського марганцево-рудного басейну: лесоподібний суглинок (ЛС), червоно-бура глина (ЧБГ), сіро-зелена глина (СЗГ), темно-сіра глина (ТСГ). Шар субстратів у посудинах складав 150 см. Рослини вирощувалися протягом 4 років.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вміст макро- та мікроелементів величина відносно варіабельна і залежить від багатьох факторів: тип ґрунту, кліматичні умови, агротехніка, добрива [1, 2]. У свою чергу, хімічний склад біомаси значно впливає на якість кінцевого продукту, що отримується з неї [3, 4]. Наприклад, високий вміст калію в біомасі може посилити корозію в опалювальних котлах та знизити температуру плавлення золи. Сірка також відіграє у процесі горіння. З'єднання сірки, що утворюються при цьому, призводять до корозії і викидаються в атмосферу. У свою чергу, кальцій може перешкоджати виникненню шлакоутворення [5-7]. Збалансований хімічний склад, і особливо, низький вміст забруднюючих речовин особливо важливий для біомаси, що використовується для термічного спалювання, оскільки це сприяє мінімізації їх викидів [8, 9]. Згідно з різними дослідженнями [10, 11], міскантус має високу здатність видаляти важкі метали із забруднених ґрунтів, фіксуючи їх у ризомах і не накопичуючи в надземній біомасі. Так, біомаса ризом міскантусу здатна поглинути 65-75% свинцю, 83-86% міді, 43-88% цинку до 56% кадмію [10, 12].

**Методи дослідження.** Методика досліджень передбачала визначення наступних параметрів: врожайність міскантусу, вміст макро- та мікроелементів у техноземах та біомасі рослин, винос елементів з щорічним врожаєм надземної біомаси. Врожайність міскантусу була визначена щорічно восени ваговим методом з подальшим розрахунком у т/га. Елементний склад визначали на маспектрометрі ICP MS. Також було визначено коефіцієнти біологічного поглинання (КБП) та біогеохімічної рухомості (БГП), розраховано щорічне винесення елементів 3-4-річними рослинами (кг/га).

**Виклад основного матеріалу.** Використані в експерименті техноземи бідні на органічну речовину, вміст гумусу в них не перевищує 1,25%. Основною складовою техноземів є глинисті мінерали. При цьому темно-сіра сланцева та червоно-бура глини представлені в основному гідролітою, сіро-зелена глина – монтморилонітом, а в лесоподібному суглинку каолінит, гідролітою та монтморилоніт представлені приблизно в однакових пропорціях [13]. У двох субстратах спостерігається невелике сульфатно-хлоридне засолення. У сіро-зеленій глині концентрація розчинних солей складала 0,2%, у темно-сірій сланцевій глині 0,28%. Техноземи відносяться до малопродуктивних земель та мають відносний дефіцит балансу елементів живлення. Особливо це стосується змісту фосфору [14]. Незважаючи на досить низький рівень доступних рослин макроелементів, міскантус здатний давати стабільні врожаї надземної біомаси, починаючи з третього року вирощування (рис. 1).

Найменша продуктивність відзначається при вирощуванні на темно-сірій сланцевій глині, а найбільша – на червоно-бурій глині та лесоподібному

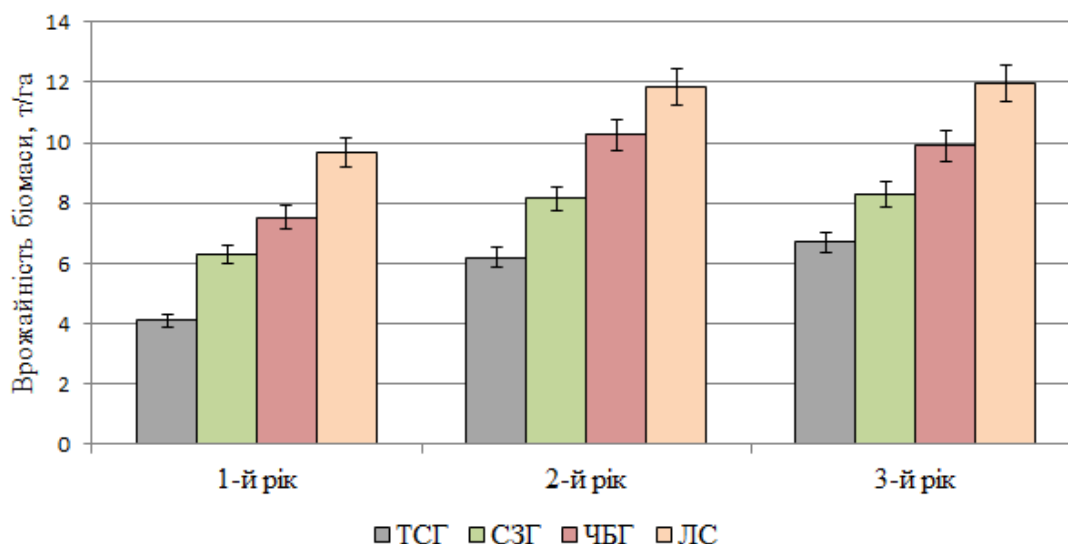


Рис. 1. Урожайність сухої біомаси міскантусу на різних техноземах

суглинку. Таким чином, середній щорічний урожай сухої біомаси міскантусу зрілої плантації становить від 6,5 т/га на темно-сірій сланцевій глині до 11,9 т/га на лесоподібному суглинку. Незважаючи на те, що врожайність на техноземах менша, ніж на родючих ґрунтах [15], вирощування міскантусу на подібних субстратах економічно доцільне.

Біомаса міскантуса досить активно накопичує макроеlementи, особливо сірку, коефіцієнти біогіохімічної рухомості якої становили 160-575. КБГП інших елементів значно нижче (табл. 1). Найменші

значення КБГП спостерігалися щодо таких елементів як натрій та магній.

З урахуванням врожайності сухої надземної біомаси міскантусу, було розраховано щорічне винесення макроеlementів (рис. 2). Загальне винесення елементів живлення залежить не тільки від продуктивності, але також від вмісту елементів у біомасі. Незважаючи на те, що найбільша врожайність спостерігалася у рослин, вирощених на червоно-бурій глині та лесоподібному суглинку, значний винос майже всіх макроеlementів спостерігався також на

Таблиця 1

**Коефіцієнти біологічного поглинання та біогіохімічної рухомості макроеlementів  
(у чисельнику стебла, у знаменнику листя)**

| Субстрат                      | Коефіцієнт біологічного поглинання (КБП)   |                     |                       |                       |                     |                     |
|-------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|                               | K                                          | Ca                  | S                     | Na                    | Mg                  | P                   |
| Темно-сіра сланцева глина ТСГ | <u>0,46</u><br>0,17                        | <u>0,03</u><br>0,17 | <u>0,24</u><br>0,25   | <u>0,006</u><br>0,005 | <u>0,06</u><br>0,05 | <u>0,23</u><br>0,14 |
| Сіро-зелена глина СЗГ         | <u>0,42</u><br>0,22                        | <u>0,06</u><br>0,28 | <u>0,45</u><br>0,92   | <u>0,005</u><br>0,005 | <u>0,07</u><br>0,11 | <u>0,47</u><br>0,28 |
| Червоно-бура глина ЧБГ        | <u>0,37</u><br>0,19                        | <u>0,04</u><br>0,20 | <u>0,42</u><br>0,93   | <u>0,005</u><br>0,004 | <u>0,08</u><br>0,09 | <u>0,48</u><br>0,31 |
| Лесоподібний суглинок ЛС      | <u>0,42</u><br>0,21                        | <u>0,03</u><br>0,14 | <u>0,34</u><br>0,92   | <u>0,005</u><br>0,004 | <u>0,08</u><br>0,10 | <u>0,47</u><br>0,34 |
| Субстрат                      | Коефіцієнт біогіохімічної рухомості (КБГП) |                     |                       |                       |                     |                     |
|                               | K                                          | Ca                  | S                     | Na                    | Mg                  | P                   |
| Темно-сіра сланцева глина ТСГ | <u>35,8</u><br>13,5                        | <u>2,7</u><br>16,3  | <u>159,7</u><br>169,7 | <u>1,2</u><br>1,0     | <u>1,5</u><br>1,2   | <u>16,6</u><br>9,9  |
| Сіро-зелена глина СЗГ         | <u>9,5</u><br>4,8                          | <u>3,5</u><br>16,7  | <u>227,8</u><br>458,0 | <u>1,3</u><br>1,2     | <u>2,7</u><br>3,3   | <u>14,1</u><br>8,6  |
| Червоно-бура глина ЧБГ        | <u>10,0</u><br>5,2                         | <u>2,8</u><br>14,9  | <u>219,8</u><br>482,8 | <u>2,4</u><br>2,0     | <u>2,6</u><br>2,9   | <u>14,1</u><br>9,2  |
| Лесоподібний суглинок ЛС      | <u>10,2</u><br>5,1                         | <u>1,8</u><br>9,0   | <u>215,9</u><br>575,4 | <u>2,3</u><br>2,0     | <u>2,8</u><br>3,5   | <u>13,7</u><br>10,0 |

темно-сірій сланцевій глині через більший вміст у біомасі. Таким чином, винос калію залежно від субстрату становив від 20 до 34 кг/га, кальцію 19-30 кг/га, сірки 8-11 кг/га, магнію 4-6 кг/га. Винос фосфору і натрію дуже незначний і становив 0,6-1,8 кг/га та 0,2-0,3 кг/га відповідно.

Щорічний винос есенціальних мікроелементів біомасою міскантусу не перевищує 1,1 кг. Найбільше виноситься марганцю та заліза (рис. 3а). Винос цинку та бору становить від 0,08 кг/га до 0,19 кг/га. Відмінності у значеннях між субстратами незначні. Найменше з біомасою міскантусу виносяться мідь, молібден та бор (рис. 3б).

Так, винесення міді становило від 4,3 г/га на темно-сірій сланцевій глині до 13,6 г/га на червоно-бурій глині. Винос молібдену суттєво не відрізнявся на різних субстратах та варіював від 4,8 до 5,9 г/га. Винос

кобальту не перевищував 0,25-0,28 г/га на темно-сірій сланцевій та сіро-зеленій глинах та 0,51 г/га на червоно-бурій глині та лесоподібному суглинку.

Винос хрому, літію, миш'яку та свинцю біомасою міскантусу невеликий і становить від 1,1 до 6,6 г/га (рис. 4).

Кадмій є елементом, який накопичується найменше, його винос становив 0,1-0,6 г/га.

**Головні висновки.** Міскантус здатний давати стабільні врожаї надземної біомаси, починаючи з третього року вирощування. Найменша продуктивність відзначається при вирощуванні на темно-сірій сланцевій глині, а найбільша – на червоно-бурій глині та лесоподібному суглинку.

Біомаса міскантуса досить активно накопичує макроелементи, особливо сірку. Акумуляція есенціальних мікроелементів відбувається переважно

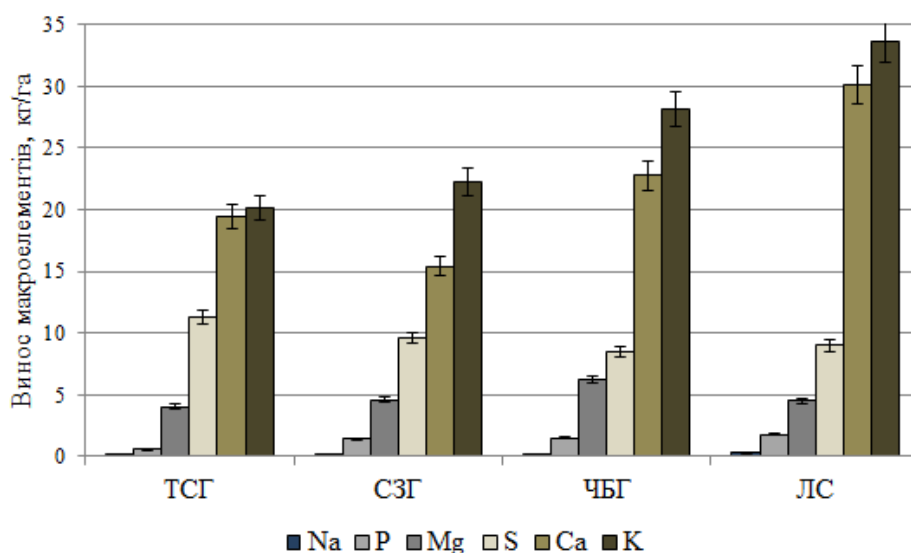
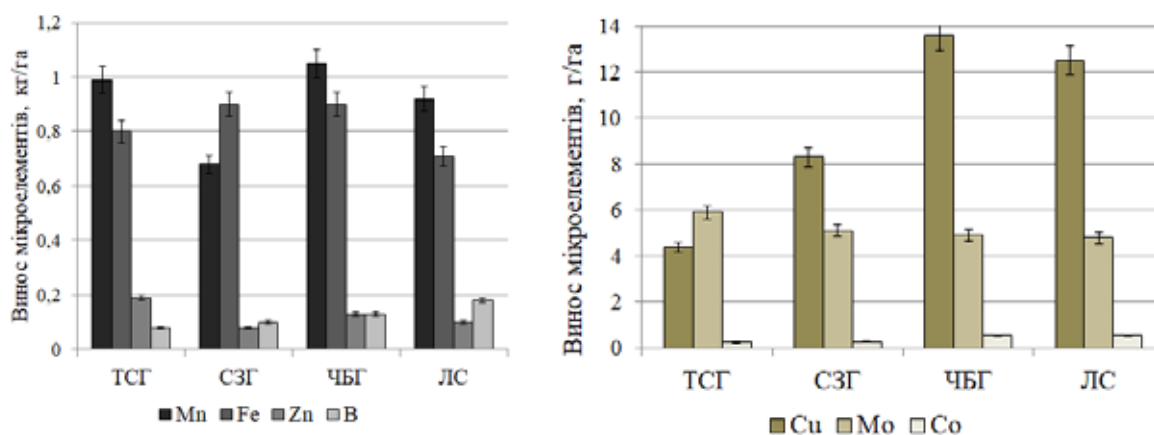


Рис. 2. Щорічний винос макроелементів біомасою міскантусу



а

б

Рис. 3. Щорічний винос есенціальних мікроелементів біомасою міскантусу

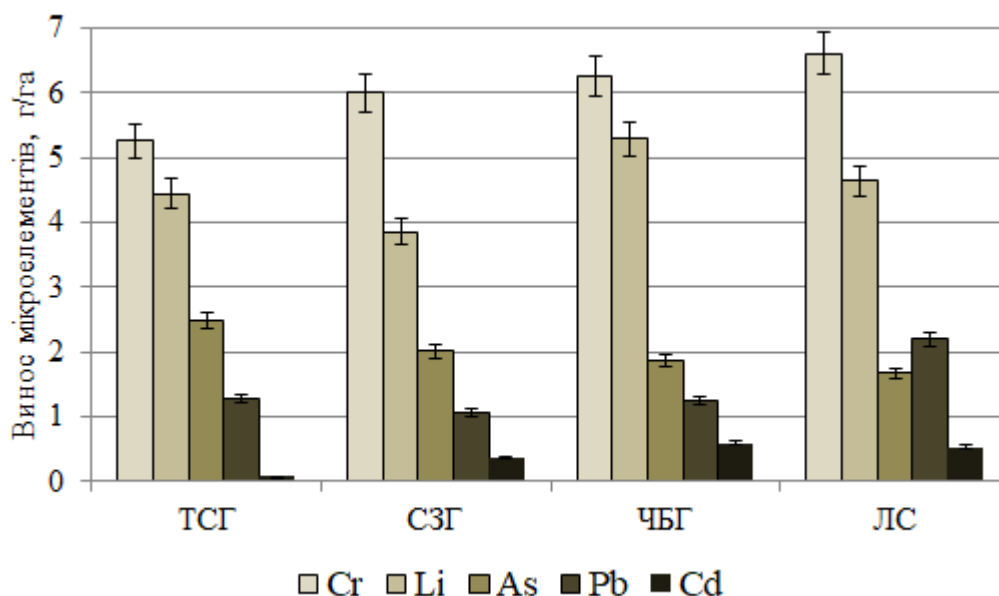


Рис. 4. Щорічний винос токсичних мікроелементів біомасою міскантусу

у листі, і лише цинк переважно накопичується у стеблах. Загальний вміст цинку і бору в біомасі міскантусу значно поступається вмісту заліза і марганцю, проте обидва ці елементи найбільш інтенсивно накопичуються в рослинах. Коефіцієнти біогеохімічного поглинання становлять 5,5-11,2 для цинку та 7,8-31,0 для бору. Найбільше виноситься марганцю та заліза. Найменше з біомасою міскантусу виносяться мідь, молібден та бор. Вміст літію та хрому в листі міскантуса лише трохи перевищує вміст цих елементів у стеблах. Накопичення інших токсичних мікроелементів відбувається переважно у листі. Щорічний винос мікроелементів біомасою міскантусу варіює від кількох грамів до 1 кг на гектар.

**Перспективи використання результатів досліджень.** У подальшому матеріали досліджень можуть бути ураховані при виборі технозему для вирощу-

вання міскантусу для виробництва паливних гранул з мінімальним ризиком розвитку корозії в котлах та викидом шкідливих речовин в атмосферу.

**Disclaimer / Дисклеймер.** Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them. Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з освіти та культури (EACEA). Ні Європейський Союз, ні орган, що надає гранти, не можуть нести за них відповідальності.

### Література

1. Stypeczyńska Z., Jaworska H., Dziamski A., Majtkowski W. Content of selected macroelements in the aerial and underground biomass of plants from old stands of the genus *Miscanthus*. *Journal of Elementology*. 2012. 22(1). P. 115–125. DOI: 10.5601/jelem.2016.21.1.1088
2. Roncucci N., Di Nasso O., Nasso N., Tozzini C., Bonari E., Ragolini G. *Miscanthus × giganteus* nutrient concentrations and uptakes in autumn and winter harvests as influenced by soil texture, irrigation and nitrogen fertilization in the Mediterranean. *Glob. Chang. Biol. Bioenergy* 2015. 7, 1009–1018. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12209>
3. Van der Weijde, T., Kiesel, A., Iqbal, Y., Muylle, H., Dolstra, O., Visser, R.G.F., Lewandowski, I., Trindade, L.M. Evaluation of *Miscanthus sinensis* biomass quality as feedstock for conversion into different bioenergy products. *Glob. Chang. Biol. Bioenergy*. 2017. 9, 176–190. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12355>
4. Kalembasa D., Jeżowski S., Symanowicz B., Głowacka K., Kaczmarek Z., Kalembasa, S., Ceraży-Waliszewska J. Changes in the content, uptake and bioaccumulation of macronutrients in genotypes of *Miscanthus* grass. possibilities of using ash from *Miscanthus* biomass. *Fresenius Environ. Bull.* 2019. 28, 1933–1942.
5. Demirbas A. Relationships between heating value and lignin, moisture, ash and extractive contents of biomass fuels. *Energy exploration & exploitation*. 2002. 20(1), 105–111.
6. Atienza S. G., Satovic Z., Petersen K. K., Dolstra O., Martin A. Influencing combustion quality in *Miscanthus sinensis* Anders.: identification of QTLs for calcium, phosphorus and sulphur content. *Plant Breeding*. 2003. 122(2). P. 141–145.

7. Gołąb-Bogacz I., Helios W., Kotecki A., Kozak M., Jama-Rodzeńska, A. Content and Uptake of Ash and Selected Nutrients (K, Ca, S) with Biomass of *Miscanthus* × *giganteus* Depending on Nitrogen Fertilization. *Agriculture*. 2021. 11(1). P. 76. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010076>
8. Borkowska H., Lipinski W. Content of selected elements in biomass of several species of energy plants. *Acta Agrophys.* 2007. P. 287–292.
9. Spiak Z., Piszcz U., Zbroszczyk T. Modification of sulfur content in *Miscanthus* × *giganteus* under different nitrogen and potassium fertilization. *Ecol. Chem. Eng. A Chemia Inzynieria Ekologiczna A*. 2012. P. 213–221. DOI: 10.2428/ecea.2012.19(03)022
10. Barbosa B., Boléo S., Sidella S., Costa J., Duarte M. P., Mendes B., Cosentino S.L., Fernando A. L. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils using the perennial energy crops *Miscanthus* spp. and *Arundo donax* L. *BioEnergy Research*. 2015, 8(4). P. 1500–1511. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9688-9>
11. Bang J., Kamalakannan S., Lee K., Cho M., Kim C., Kim Y., Oh B. Phytoremediation of heavy metals in contaminated water and soil using *Miscanthus* sp. Goedae-Uksae 1. *International Journal of Phytoremediation*. 2015. 17(6). P. 515–520. <https://doi.org/10.1080/15226514.2013.86220>
12. Osman A. I., Ahmed A. T., Johnston C. R., Rooney D. W. Physicochemical characterization of miscanthus and its application in heavy metals removal from wastewaters. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2018). 37(3). P. 1058–1067. <https://doi.org/10.1002/ep.12783>
13. Фізико-хімічне та біологічне тестування фітомеліорованих гірничих порід Покровського стаціонару рекультивції земель/ Харитонов М. М., Бабенко М. Г., Мицик О. О., Гаврюшенко О. О., Пашова В. Т., Мартинова Н.В. *Agrology*. 2018. 1(3). P. 300–305. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.13010>
14. Kharytonov M. M., Resio J.M. Prospects of the Nikopol manganese basin rocks using for land reclamation. *Gruntoznavstvo journal*. 2013. V. 14, 1–2. P. 78–86. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/grunt\\_2013\\_14\\_1-2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/grunt_2013_14_1-2_10)
15. Ouattara M. S., Laurent A., Barbu C., Berthou M., Borujerdi E., Butier A., Malvoisin P., Romelot D., Loyce C. Effects of several establishment modes of *Miscanthus* × *giganteus* and *Miscanthus sinensis* on yields and yield trends. *GCB Bioenergy*. 2020. 12(7). P. 524–538. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12692>

---

# ЗМІНА КЛІМАТУ

---

УДК 339.9

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.21>

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ: ГЛОБАЛЬНІ ТА ЛОКАЛЬНІ АСПЕКТИ

Ілюк Н.А., Мележик О.В., Мовчан В.О., Сергійчук Н.М.

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «УКРАЇНА»

вул. Львівська, 23, 03115, м. Київ

GreenDragoness16@ukr.net, dekanat31@meta.ua

У статті проаналізовано глобальні та локальні аспекти впливу кліматичних змін на біорізноманіття. Актуальність теми визначається тим, що глобальні зміни клімату, зокрема, глобальне потепління призвели до кліматичної кризи, яка є загрозою для біорізноманіття планети Земля. На основі вивчення актуальної наукової інформації за допомогою теоретичного аналізу, спостереження, узагальнення, методів порівняння і прогнозування надано аналіз впливу кліматичних змін на біорізноманіття.

Зроблено висновок, що глобальними чинниками зміни різноманіття у сучасному світі виступають кліматичні зміни, які виявляють себе переважно як глобальне потепління, а всі інші кліматичні зміни є його наслідками. На біорізноманіття Землі впливають різноманітні фактори, такі як: підвищення рівня світового океану через танення льодовиків; зростання інтенсивності, сили та частоти екстремальних погодних явищ, серед яких урагани, повені, посухи, шторми; збільшення дефіциту води, що призводить до опустелювання, зниження врожайності; закислення океану; масштабні пожежі. Вони викликають зміни біорізноманіття на планеті Земля, які можуть відбуватися трьома шляхами: міграція, адаптація або зникнення.

Привертається увага до необхідності здійснення заходів щодо покращення стану екологічних систем шляхом виконання Рамкової конвенції ООН з питань зміни клімату (1992), Паризької кліматичної угоди (2015) та інших міжнародних нормативних документів, ратифікованих Україною. Міжнародна спільнота висловлює занепокоєння щодо ситуації, яка склалася та пропонує шляхи вирішення проблеми збереження біорізноманіття планети.

Для цього створені міжнародні організації та міжнародні наукові центри з дослідження клімату, щорічно проводиться Кліматичний саміт COP, де пропонуються кроки, аби не допустити критичного поглиблення кліматичної кризи. Робиться висновок про те, що світова громадськість повинна підтримувати та відновлювати природні екосистеми, зменшувати навантаження на дику природу, досліджувати та враховувати прогнозовані кліматичні зміни. *Ключові слова:* біорізноманіття, кліматична криза, глобальне потепління, міграція, адаптація, зникнення.

**Analysis of the impact of climate change on biodiversity: global and local aspects.** Iliuk N., Melezhyk O., Movchan V., Serhiichuk N.

The article analyzes the global and local aspects of the impact of climate change on biodiversity. The relevance of the topic is determined by the fact that global climate change, particularly global warming, has led to a climate crisis that poses a threat to the biodiversity of planet Earth. Based on the study of current scientific information through theoretical analysis, observation, generalization, comparison, and forecasting methods, an analysis of the impact of climate change on biodiversity is provided.

It is concluded that climate change, primarily manifesting as global warming, is the main global factor affecting biodiversity in the modern world, while all other climate changes are its consequences. Various factors influence Earth's biodiversity, including the rising sea level due to glacier melting; increasing intensity, strength, and frequency of extreme weather events such as hurricanes, floods, droughts, and storms; increasing water scarcity leading to desertification and reduced crop yields; ocean acidification; and large-scale wildfires. These factors drive biodiversity changes on Earth through three main pathways: migration, adaptation, or extinction.

Attention is drawn to the need for measures to improve the state of ecological systems through the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change (1992), the Paris Climate Agreement (2015), and other international regulatory documents ratified by Ukraine. The international community expresses concern about the current situation and proposes solutions to the problem of biodiversity conservation.

To address these challenges, international organizations and scientific research centers on climate issues have been established, and the annual Climate Summit (COP) is held, where steps are proposed to prevent a critical deepening of the climate crisis. The article concludes that the global community must support and restore natural ecosystems, reduce pressure on wildlife, and study and take into account projected climate changes. *Key words:* biodiversity, climate crisis, global warming, migration, adaptation, extinction.

**Постановка проблеми.** Перспективи розвитку світу турбують вчених, громадських діячів, лідерів думок, які намагаються привернути увагу світової громадськості до «ускладнень людства», так званих «глобальних проблем сучасності», що мають довгостроковий характер і продовжують поглиблюватися. Протягом десятиріч з'являлись роботи провідних нау-

ковців, у яких вони висловлюють свою стурбованість, аналізують ці глобальні проблеми, зокрема, кліматичні зміни, шукають шляхи вирішення та методи розв'язання, закликають громадськість, політиків, окремих громадян до дії з метою збереження планети Земля.

**Актуальність дослідження.** Проблема зміни клімату впливає на всі процеси, що відбуваються у біос-



фері Землі, зумовлює та визначає існування людини, впливає на біорізноманіття. Саме тому залишаються актуальними дослідження, що стосуються цієї гострої проблеми, шляхів її вирішення, або просто привертають до неї увагу.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Робота спрямована на актуалізацію завдань екологічної безпеки України, зокрема визначених «Конвенцією про охорону біологічного різноманіття від 1992 року» [1], «Паризькою угодою» [2], «Дорожньою картою кліматичних цілей України до 2030 року» [3] та іншими законодавчими актами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Окремі дослідження та фундаментальні праці світових та вітчизняних вчених свідчать про те, що науковці не залишаються байдужими до проблем зміни клімату та їх наслідків. Серед таких досліджень варто назвати роботи П. Фековскі та К. Дугліса «Відновлення клімату: єдине майбутнє, яке витримає людство» (2022) [4], Й. Рандерса «2052: Глобальний прогноз на наступні сорок років» (2012) [5], Т. Яковичиної «Адаптація ЄС до змін клімату та стійкі урбоєкосистеми» (2023) [6], колективу вітчизняних авторів «Аналіз локальних кліматичних змін за результатами спостережень на метеорологічній станції Бориспіль» (2023) [7], монографію вітчизняних науковців «Збереження біорізноманіття у гірських і рівнинних регіонах України в умовах кліматичних змін» (2022) [8] та ін. Висловлюємо подяку WWF, незалежній природоохоронній організації, місією якої є зупинка деградації природного середовища Землі, збереження біологічного різноманіття світу [9] та громадській організації Центр екологічних ініціатив «Екодія» [10] за надані статистичні та аналітичні матеріали, що використовувались при аналізі запропонованої проблематики.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У статті наведена інформація щодо кліматичної кризи, яка впливає на видове біорізноманіття.

**Новизна** полягає в узагальненні останніх даних, наданих WWF, незалежною природоохоронною організацією, використано матеріали доповідей Римського клубу, відомості Червоної книги України тощо. Таким чином було зроблено спробу застосування міждисциплінарного підходу до зазначеної проблеми.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** У процесі роботи задіяні загальнонаукові методи теоретичного аналізу, спостереження, узагальнення, методи порівняння і прогнозування. Стаття має важливе значення для екологічного планування та прийняття стратегічних рішень.

**Виклад основного матеріалу.** За словами Володимира Вернадського [11], «життя може проявлятися лише в певному середовищі, у певних фізичних та хімічних умовах». Таким середовищем є біосфера,

у якій жива речовина займає приблизно 0,25%. При цьому жива речовина зосереджується у «тонкій, більш або менш суцільній плівці на поверхні суші в тропосфері, в лісах та полях, проникає весь океан» [11].

Тропосфера містить понад 90% всієї маси атмосфери, повітряної оболонки Землі. А процеси, що відбуваються в тропосфері, безпосередньо впливають на життя і діяльність людей. Так, клімат – характер погодних умов протягом тривалого періоду для значної території – залежить від кількості сонячної радіації, її перетворення у діяльному шарі земної поверхні та пов'язаною з нею циркуляцією атмосфери й океанів. Дія цих кліматоутворювальних чинників залежить від географічних характеристик – географічної широти, висоти над рівнем моря, орографії, розподілу моря і суходолу, наявності льодового і снігового покривів та ін. [12]. Кліматичні особливості визначаються за допомогою показників атмосферного тиску, швидкості і напрямку вітру, температури та вологості повітря. Їх зумовлюють також рівень хмарності та кількість атмосферних опадів, тривалість та інтенсивність сонячної радіації, дальність видимості, температура верхніх шарів ґрунту та поверхні водоймів, інтенсивність випаровування води в атмосферу, висота і стан снігового покриву, інші атмосферні явища і наземні гідрометори, такі як роса, ожеледь, ожеледиця, туман, грози, замітілі тощо.

Значну роль у формуванні клімату відіграє діяльність людини. Розвиток техніки, індустріалізація, урбанізація – ці ознаки прогресу мають і зворотній ефект. Вони на жаль призводять до коливання глобальних температур та погодних явищ, тобто до зміни клімату. Зміни клімату існували завжди, але сучасні зміни клімату відбуваються шаленими темпами. Вони стали глобальною проблемою людства, про що йдеться у Рамковій конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату [13]: «Зміна клімату Землі і її несприятливі наслідки є предметом спільного занепокоєння людства». Останнім часом у науковий вжиток увійшов термін «кліматична криза», який підкреслює серйозність проблеми та вказує на потребу вирішувати її вже зараз [14].

Кліматична криза виявляє себе як природні катаклізми, посухи, невинні повені, нестримна спека, лісові пожежі тощо. Науковці переконані, що першопричиною таких явищ є глобальне потепління.

Глобальне потепління є найбільшою планетарною проблемою. Воно викликане діяльністю людини, яка, використовуючи викопне паливо, виробляючи енергію та неефективно її споживаючи, спричиняє утворення надмірної кількості парникових газів, що утримують сонячне тепло у нижніх шарах атмосфери, не даючи йому повертатись до космосу, тим самим викликаючи так званий «парниковий ефект». Згідно до прогнозів провідних міжнародних наукових центрів з дослідження клімату (Центр міжнародного дослідження клімату та навколишнього

середовища (англ. Center for International Climate and Environmental Research, CICERO; норв. Senter for klimaforskning) – незалежна норвезька дослідницька база, що займається вивченням проблем клімату та екології у всьому світі та пов'язана з Університетом Осло [15]; Центр дослідження біорізноманіття та клімату Зенкенберга (Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrum) (Німеччина) [16]; Всесвітня програма дослідження клімату (WCRP) [17] та ін.), протягом наступного століття температура підвищиться на 2-5 градусів за Цельсієм. Для дослідження причин і наслідків глобального потепління клімату керівники Програми ООН з навколишнього середовища (United Nations Environmental Program – UNEP) та Всесвітньої метеорологічної організації (World Meteorological Organization – WMO) створили Міжурядову панель зі зміни клімату (The Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) та організували Міжнародну групу експертів зі зміни клімату (МГЕЗК).

Встановлено, що до «звичайних» факторів, які сприяють забрудненню повітря – робота ТЕЦ, вихлопні гази, промислова діяльність, лісові пожежі – додався ще й фактор війни в Україні. Постійні обстріли, пожежі, підймання у повітря дрібнодисперсної сажі (попелу) – все це робить повітря забрудненим, а, значить, сприяє пришвидшенню змін клімату не лише в Північній півкулі, але й у глобальному масштабі.

Причому, за розрахунками вчених, сумарний внесок дії дрібнодисперсної сажі на тепловий баланс Землі більший за всі парникові гази, окрім вуглекислого. Через свій маленький розмір, часточки сажі можуть переміщуватись на великі відстані та довго не осідати на землю. У сухі періоди року попіл з повітряними масами може переноситись навіть на території з вічною мерзлотою, що призводить до прискорення танення льодовиків [18].

Загальні зміни природного середовища на Землі стосуються не лише змін теплового балансу атмосфери. До глобальних змін слід також віднести зміни циркуляції вод Світового океану, круговороту води, зменшення зволоженості територій, загального зростання сухості в екосистемах, ландшафтах і викликаного цим скорочення біологічної продуктивності екосистем. Зростання температури збільшує випаровування, що спричиняє перерозподіл вологи. Як наслідок, в одних регіонах випаровується надмірна кількість вологи та посилюється посуха. В інших регіонах ця волога конденсується, і там частішають зливи та шторми, що викликає ризики затоплення [14].

Кліматична криза зумовлює також «шосте масове вимирання» [19] – стрімке скорочення флори та фауни Землі. Тобто фактично визнається вплив кліматичних змін на біорізноманіття планети. Терміном «біологічне різноманіття» прийнято позначати різноманітність живих організмів усіх

екосистем та екологічних комплексів. На біорізноманіття впливають абіотичні (геологічні, кліматичні) та біотичні (генетичні) фактори, включаючи рекомбінацію генів та горизонтальне перенесення генетичного матеріалу.

На біорізноманіття впливають також негативні явища глобального характеру, які спостерігаються у біосфері Землі. Це, зокрема, захворювання і загибель лісів (щорічно вирубується понад 3 млрд. м<sup>3</sup> деревини). Також спостерігається підкислення ґрунтів із-за масованого використання мінеральних добрив, випадіння кислотних дощів, що містять велику кількість оксидів сірки та азоту, повсюдне цвітіння природних вод із-за надмірного надходження у воді елементів азоту і фосфору, які попадають туди разом зі стоками. Всі ці фактори призводять до порушення природних умов для життєдіяльності тварин і рослин, що, в свою чергу, призводить до скорочення біорізноманітності.

Людина систематично винищує біологічні види, які на її думку є «шкідливими», а це також призводить до руйнації екосистем і скорочення біорізноманітності. Наприклад, зниження популяції комах-запилювачів щороку призводить до втрати сільськогосподарських культур на 577 млрд. доларів США [20].

За останні десятиліття зникла майже п'ята частина представників рослинного і тваринного світу.

«Збереження біологічного різноманіття є спільною справою для всього людства», зазначено у «Конвенції про охорону біологічного різноманіття» [1], ратифікованої Україною ще у 1994 році.

Аналіз наукової літератури дозволяє назвати фактори, які зумовлюють зміни біорізноманіття у глобальному плані. Провідним фактором є зміна клімату – глобальне потепління. Саме воно спричиняє появу інших чинників. Серед них слід зазначити: підвищення рівня моря внаслідок танення льодовиків; збільшення інтенсивності та частоти екстремальних метеорологічних явищ, таких як урагани, повені, посухи та шторми; посилення аридизації територій та зниження продуктивності сільськогосподарських угідь через дефіцит водних ресурсів; закислення океану; масштабні пожежі. Всі вони спричиняють втрату середовища проживання багатьох видів тварин через зміну клімату та вимирання частини рослинного світу, тобто втрату біорізноманіття та важливих екосистем. Близько мільйона видів тварин та рослин (1/8 усіх видів на планеті) знаходяться під загрозою зникнення упродовж найближчих десятиліть [14].

Так, експерти підраховали, що під час пожежі в Австралії 2019-2020 року загинули або зникли 143 мільйони ссавців, майже 2,5 мільйона рептилій, 180 мільйонів птахів, 51 мільйон жаб [21].

Закислення океану відбувається тому, що відбувається абсорбція 25% атмосферного вуглекислого

газу. Через це підвищується кислотність гідросфери, що, в свою чергу, викликає зменшення кількості карбонат-іонів – речовин, які задіяні в процесі біомінералізації скелетних структур морських організмів, тобто допомагають, наприклад, двостулковим моллюскам будувати захисні панцирі. Відповідно, під загрозою опиняються мідії, планктон та коралові рифи. За прогнозами, якщо середньорічна температура зросте на 2 градуси, буде втрачено до 99% коралових рифів [22].

Зміна біорізноманіття відбувається також за рахунок «кліматичних біженців» – тобто тварин, які вимушено втрачають звичне середовище існування через процеси аридизації, опустелення, трансгресії моря та аномалій сезонних метеорологічних ситуацій. Наприклад, популяція білого ведмеда в Арктичному регіоні страждає від скорочення площі льодового покриву, що є критично важливим для полювання та розмноження цих тварин. Глобальне потепління призводить до танення льоду, що унеможливорює ефективне полювання влітку та ускладнює виведення потомства. Адаптація до наземного способу життя для білих ведмедів є проблематичною [22]. А це може викликати їх зникнення.

Кліматично-зумовлені зміни проявляються у зміні фенологічних фаз рослин, зокрема, це стосується цвітіння, скидання листя, повторного розвитку. більш ранньому настанні цвітіння та листопаду. Наприклад, у місті Бостон підвищення середньої температури на 2°C зумовлює зсув початку цвітіння на 4-30 днів [23]. Зазначений феномен порушує синхронізацію з періодом активності комах-запилювачів, що призводить до негативного впливу на біорізноманіття.

Спостерігається також суттєва трансформація ареалів видів рослин, інтродукція та активне поширення інвазійних видів, серед яких значна частка представлена небезпечними бур'янами, алергенами та фітопатогенами. Результати моделювання свідчать про те, що, наприклад, у флорі Каліфорнії близько 2/3 видів можуть втратити до 80% площі свого ареалу протягом XXI століття. У західноєвропейських горах фіксується тенденція до міграції високогірних видів рослин. Починаючи з 1905 року, 2/3 із 171 високогірного виду за кожні 10 років піднімалися на 29 м [24].

У цілому реакцію рослин на зміни клімату зводять до трьох типів: міграція, адаптація або зникнення [23; 25]. Автор статті розділяє дане твердження та вважає, що такі реакції притаманні також представникам тваринного світу.

У разі стрімкого потепління міграція видів рослин може призвести до зміни екосистеми, скорочення біорізноманіття, витіснення природних аборигенних видів, які росли історично й еволюційно сформували свої угруповання чи харчові ланцюги. Чужорідні (інтродуковані) види можуть бути завезені цілеспрямовано людиною, або ж потрапити випадково на певну

територію. Деякі з них настільки добре почувують себе в новому середовищі, що активно розмножуються, захоплюють усе нові території та витісняють аборигенні види. Їх і називають інвазійними. Серед інвазійних видів зустрічаються види-трансформери, які не просто витісняють одного чи двох природних конкурентів, а й своєю життєдіяльністю впливають на умови довкілля (наприклад, деякі рослини мають здатність змінювати хімічний склад ґрунту). Відомими прикладами інвазійних рослин в Україні є: борщівник, золотарник канадський, клен американський, дуб червоний, види амброзії, ваточник сирійський, маслинка вузьколиста, рослини-паразити – вовчок соняшниковий (кумський), повитиця польова [26].

Адаптація до кліматичних змін негативно вплине на види з тривалим онтогенезом, зокрема, на багаторічні рослини. У конкурентній боротьбі вони втратять свої позиції, поступившись місцем видам з коротким життєвим циклом, насамперед, однорічним бур'янам.

Зникнення як реакція організмів на зміну клімату – це вимирання певних видів рослин або тварин. Я. Дідух зазначає, що, за прогнозами, протягом століття з окремих територій зникнуть 17-35% видів, а в Європі, зокрема до 2080 р., свій ареал скоротить близько 50% видів рослин. Ці процеси спостерігаються вже сьогодні. Наприклад, флора Бостона упродовж 1850-2007 рр. втратила майже 600 видів рослин, із яких 32% – рідкісні [23].

Зникають зазвичай такі таксони [24]:

1) що не мають шляхів відступу (поширені на вершинах гір, островах, які можуть бути затопленими, у високих полярних широтах, на околицях континентів тощо);

2) з обмеженими ареалами (вузькі ендеміки), хоча на Кубі зафіксовано 44 ендемічні види (ксерофіти), що стали інвазійними;

3) із поганою здатністю до поширення чи тривалим і складним циклом розвитку (комахоїдні, орхідні, епіфіти в тропіках);

4) чутливі до екстремальних умов, незначна зміна яких порушує еконішу;

5) із коеволюційними чи синхронними відносинами з іншими видами рослин і тварин (епіфіти, пацієнти, що існують в умовах, створених специфічним фітосередовищем, наприклад, під кронами густих листяних лісів тощо);

6) із негнучкими фізіологічними реакціями на мінливість клімату і викликані його наслідками (вражені епіфітотіями, епізоотіями, тобто хворобами, що викликають поширення різних мікроорганізмів, грибів, тварин) [24, с. 36-37].

Відповідно до даних Міжнародного союзу охорони природи та природних ресурсів (МСОП; англ. International Union for Conservation of Nature, IUCN) з 134 425 видів, які були оцінені, 37 400 видам загрожує зникнення, ці види мають статуси вразливий,

під загрозою і під критичною загрозою зникнення. Серед них 41% амфібій, 26% ссавців, 14% птахів, 34% хвойних рослин, 33% коралів, 36% акул і скатів, 28% ракоподібних. Варто відмітити, що 900 видів вже взагалі зникли, а ще 79 зникли у дикій природі [27]. Червоний список Міжнародного союзу охорони природи та природних ресурсів є найбільшим переліком видів, укладеним за результатами оцінки стану на глобальному і регіональних рівнях.

Отже, за цими даними можна робити висновки про сучасний стан біорізноманіття Землі. Вплив кліматичних змін на біорізноманіття є вражаючим та має глобальний характер.

Глобальними аспектами впливу зміни клімату на біорізноманіття є:

- глобальне потепління, яке призводить до зміщення ареалів біологічних видів, порушення термінів розмноження та міграції, а також до збільшення ризику їх вимирання;

- зміни в режимі опадів: кількіс та розподіл опадів викликають посухи або повені, що негативно впливає на рослинність та тваринний світ, викликає їх міграцію, або спричиняє зникнення;

- підвищення рівня моря загрожує прибережним екосистемам, таким як мангрові ліси та коралові рифи, які самі є частиною біорізноманіття, а також виступають важливими місцями існування багатьох видів флори та фауни;

- екстремальні погодні явища: урагани, пожежі та посухи – збільшення їх частоти та інтенсивності може призвести до знищення екосистем та популяцій видів.

Зміни клімату на глобальному рівні можуть по-різному проявитися на регіональному (локальному) рівні [24, с. 38].

Локальні аспекти впливу кліматичних змін на біорізноманіття випливають із специфічних умов тієї або іншої природно-географічної зони. Так, за даними Л. Вагалюк, М. Лісового, природними екосистемами України є хвойні, змішані, широколистяні ліси, субсередземноморські рідколісся, лісостеми, степи, субальпійські та альпійські луки (полонини, яйла), напівпустелі, піщані пляжі, коси та дюни, екосистеми кам'янистих схилів, підземні порожнини (печери), болота, солонці та солончаки, прісноводні річки та озера, солонуватоводні озера та естуарії (лимани), солоні озера та затоки, скелясті береги морів, морські екосистеми Чорного та Азовського морів і Керченської протоки [28, с. 11]. Біорізноманіття України налічує щонайменше 74 000 видів рослин, тварин та грибів (зокрема рослин – більш як 27 тисяч видів, тварин – більш як 35 тисяч видів, грибів – більш як 12 тисяч видів); щорічно надходять повідомлення про знахідки нових для країни видів [28, с. 11], що є, зокрема, результатом міграції внаслідок кліматичних змін.

Локальні зміни біорізноманіття на території України проаналізовано групою авторів у монографії

«Збереження біорізноманіття у гірських і рівнинних регіонах України в умовах кліматичних змін» (2022). Зокрема, дослідники відмічають нестабільні тенденції біорізноманіття комах. Деякі види на тлі кліматичних змін демонструють депресією чисельності (лучно-степові види турунів і денні лускокрилі), тоді як термофільні європейсько-середземноморські (субсередземні) види навпаки, з потеплінням клімату виявляють експансію в значно північніші регіони. Наслідками кліматичних змін, які призводять до змін функціонування метапопуляцій планктонних ракоподібних у високогірних масивах Українських Карпат, є висихання астатичних водоем або надто короткий час їхнього існування для розвитку генерацій гіллястостусих чи веслоногих. Часті й тривалі бездощові періоди в останнє десятиліття призвели до зникнення багатьох астатичних планктоценозів [29].

Болотні екосистеми виконують клімато- й водорегуляційну ролі, а також є оселищами великої кількості рідкісних і зникаючих видів рослин і тварин, у тому числі – реліктових. Зазнають впливу кліматичних змін і степи. На півночі відбувається їх олущення, перетворення на луки, що несе за собою зміну типу рослинності. На півдні степи переживають процеси опустелювання, що також призводить до зміни флори та фауни.

Прослідкувати зміну біорізноманіття на території України можна за допомогою Червоної книги [30]. Червона книга України є основним документом, у якому узагальнено матеріали про сучасний стан рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, види тваринного і рослинного світу, які постійно або тимчасово перебувають (зростають) у природних чи штучно створених умовах у межах території України, її континентальної шельфу та виключної (морської) економічної зони [31]. Кількість видів в Червоній книзі збільшується (Рис. 1), що свідчить про зміну біорізноманіття України в бік його зменшення. Так, перша Червона книга України (1980) включала 85 видів (підвидів) тварин і 151 вид вищих рослин. Друге видання (1994 – «Тваринний світ»; 1996 – «Рослинний світ») включало 382 види тваринного та 541 вид рослинного світу. Третє видання (2009) – 542 види тварин та 826 видів рослин і грибів. У 2021 році у затверджені переліки рідкісних і таких, що зникають, потрапили 687 видів тварин та 858 видів рослин і грибів [32].

Зміни клімату в Арктиці призводять до танення льодовиків, а це загрожує існуванню багатьох видів, таких як білі ведмеді та моржі. У тропічних лісах зміни в режимі опадів можуть призвести до знеліснення та втрати біорізноманіття цього регіону.

Отже, локальні аспекти впливу зміни клімату на біорізноманітність можна прослідкувати, вивчаючи той чи інший географічний регіон. В одних з них провідним буде перетворення степу на іншу екосистему; дець – зміна болотних екосистем внаслідок посухи або надмірних опадів. Змінюються русла

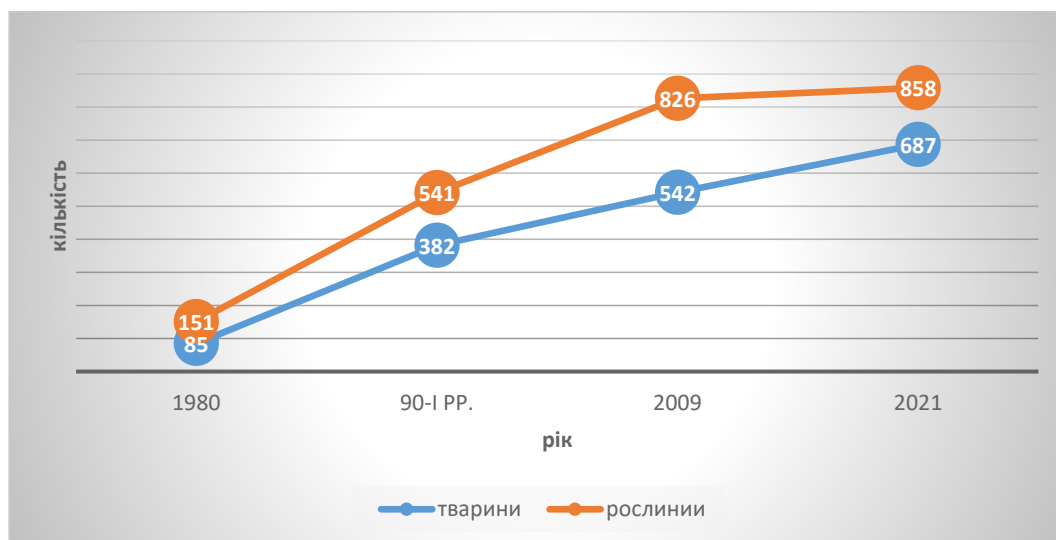


Рис. 1. Кількість видів тварин та рослин у Червоній книзі України

Джерело: розроблено автором на основі матеріалів сайту [32]

річок, висихають озера, тануть льодовики. Всі ці явища і будуть визначати тенденції змін біорізноманіття на локальному рівні.

**Головні висновки.** Отже, зміни клімату є однією з найсерйозніших загроз для біорізноманіття на нашій планеті. Кліматичні зміни набули такого масштабу, коли варто застосовувати термін «кліматична криза». Зроблено висновок, що глобальними чинниками зміни різноманіття у сучасному світі виступають кліматичні зміни, які виявляють себе переважно як глобальне потепління, а всі інші кліматичні зміни є його наслідками. На біорізноманіття Землі впливають підвищення рівня моря через танення льодовиків; збільшення інтенсивності та частоти екстремальних погодних умов, таких як урагани, повені, посухи та шторми; збільшення дефіциту води, що призводить до опустелювання та зниження врожайності; закислення океану; масштабні пожежі. Вони викликають зміни біорізноманіття на планеті Земля, які можуть відбуватися трьома шляхами: міграція, адаптація або зникнення.

Згідно зі звітом WWF «Жива планета» 2024, Земля наближається до небезпечних переломних моментів, що становлять серйозну загрозу для люд-

ства. Впродовж наступних п'яти років знадобляться величезні зусилля міжнародної спільноти для подолання подвійної кліматичної та природної кризи [33]. Тому критично важливим завданням для людства стає проблема збереження біорізноманіття на планеті Земля. Глобальна спільнота повинна спрямувати зусилля на реставрацію та охорону природних екосистем, включаючи лісові масиви, болотні угіддя та степові біотопи; мінімізацію антропогенного впливу на дику фауну та флору шляхом оптимізації практики мисливства, рибальства та інших форм експлуатації природних ресурсів; створення сприятливих умов для існування видів, що знаходяться під загрозою зникнення, зокрема, шляхом створення центрів збереження та розведення; формування мережі охоронюваних територій різного типу (наземних, прісноводних та морських) з урахуванням прогнозованих кліматичних змін та їх потенційного впливу на біорізноманіття.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати досліджень можуть бути використані для розробки програм моніторингу стану біорізноманіття, які дозволять відстежувати зміни, що відбуваються під впливом кліматичних змін.

### Література

1. Конвенція про охорону біологічного різноманіття від 1992 року. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_030#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030#Text).
2. Паризька угода (Угоду ратифіковано Законом № 1469-VIII від 14.07.2016). URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_161#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text).
3. Дорожня карта кліматичних цілей України до 2030 року. Бачення громадськості. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2020/02/dk-clim-ciley-full.pdf>.
4. Fiekowsky P., Douglass C. Climate Restoration: The Only Future That Will Sustain the Human Race. Rivertowns Books. 265 p., URL: [https://www.researchgate.net/publication/379416635\\_Fiekowsky\\_Peter\\_y\\_Douglass\\_Carole\\_2022\\_Climate\\_Restoration\\_The\\_Only\\_Future\\_That\\_Will\\_Sustain\\_the\\_Human\\_Race\\_Rivertowns\\_Books](https://www.researchgate.net/publication/379416635_Fiekowsky_Peter_y_Douglass_Carole_2022_Climate_Restoration_The_Only_Future_That_Will_Sustain_the_Human_Race_Rivertowns_Books).
5. Randers J. 2052. A Global Forecast for the Next Forty Years. Chelsea Green, 2012. 416 p.
6. Яковичина Т.Ф. Адаптація ЄС до змін клімату та стійкі екосистеми: Навчальний посібник. Дніпро: ПДАБА. 2023. 109 с.

7. Клок С. В., Корнус А. О., Бобир О. О., Корнус О. Г., Данильченко О. С. Аналіз локальних кліматичних змін за результатами спостережень на метеорологічній станції Бориспіль. *Слобожанський науковий вісник*. Серія: Природничі науки. № 2. 2024. С. 98-106. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.2.13>.
8. Збереження біорізноманіття у гірських і рівнинних регіонах України в умовах кліматичних змін / За ред. В. Кияк, І. Данилик, І. Шпаківська, О. Кагало, О. Лобачевська. Львів: Простір-М, 2022. 189 с. URL: <https://ecoinst.org.ua/pdf/zberezhennia-bioriznomanittia-monographia-2022.pdf>.
9. WWF. URL: [https://wwf.panda.org/discover/about\\_wwf](https://wwf.panda.org/discover/about_wwf).
10. Екодія. URL: <https://ecoaction.org.ua/pro-nas>.
11. Вернадський В. І. Вибрані праці. К. : Наукова думка, 2005. 302 с.
12. Клімат. В. М. Бабиченко, Л. М. Гущина, Н. В. Ніколаєва. *Енциклопедія Сучасної України*. Редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2013. URL: <https://esu.com.ua/article-8461>.
13. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_044#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text).
14. Зміна клімату в Україні та світі: причини, наслідки та рішення для протидії. URL: <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html>.
15. Провідний інститут міждисциплінарних кліматичних досліджень Норвегії. URL: <https://www.cicero.oslo.no/no>.
16. Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrum Frankfurt M. URL: <https://www.senckenberg.de/de/institute/sbik-f>.
17. Всесвітня програма дослідження клімату (WCRP). URL: <https://uk.council.science/member/world-climate-research-programme-wcrp>.
18. Як пов'язані війна, якість повітря та клімат? URL: <https://www.savednipro.org/yak-povyazani-vijna-yakist-povitrya-ta-klimat>.
19. Von Weizsaecker, E., Wijkman, A. Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet. Springer, 2018. 220 p.
20. Вимирання загрожує мільйону видів тварин та рослин. URL: <https://ecoaction.org.ua/vymyranattia-zahrozhuie-miljonu.html>.
21. Катастрофа для дикої природи: вчені підрахували, скільки тварин загинули у пожежах в Австралії. URL: [https://24tv.ua/pozhezhi-avstraliyi-skilki-tvarin-zaginulo-tsifri-novini-v-sviti\\_n1386030](https://24tv.ua/pozhezhi-avstraliyi-skilki-tvarin-zaginulo-tsifri-novini-v-sviti_n1386030).
22. Все складно: заплутані стосунки між людством, кліматом та біорізноманіттям. URL: <https://ecoaction.org.ua/bioriznomanittia.html>.
23. Bramwell D. Plant adaption and climate change 2nd World Scientific Congress Challenges in Botanical Research and Climate Change. Programme Book of abstract 29 Juni 4 july 2008. Delft, The Netherlands.
24. Дідух Я. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії. *Вісник Національної академії наук України*. 2009. № 2. С. 34-44. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu\\_2009\\_2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2009_2_12).
25. Havens K.H. Plant responses to climate change: phenology, adaptation, migration // 2nd World Scientific Congress Challenges in Botanical Research and Climate Change. Programme Book of abstract 29 Juni 4 july 2008. Delft, The Netherlands.
26. Інвазійні види шкідливих організмів в Україні. *Пропозиція. Головний журнал з питань агробізнесу*. URL: <https://propozitsiya.com.ua/invaziyni-vydy-shkidlyvyh-organizmiv-v-ukrayini>.
27. Види Червоного списку МСОП. URL: <https://wownature.in.ua/articles/vydy-chervonoho-spysku-msop>.
28. Біорізноманіття і його збереження: навчальний посібник / Л.В. Вагалюк, М.М. Лісовий, 2023. 300 с. URL: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/navch.posibnik\\_bioriznomanittya\\_ta\\_yogo\\_zberezhennya.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/navch.posibnik_bioriznomanittya_ta_yogo_zberezhennya.pdf).
29. Збереження біорізноманіття і раритетних типів оселищ в умовах кліматичних змін. Наукові рекомендації / Ред. В. Кияк, І. Данилик, І. Шпаківська, О. Кагало, О. Лобачевська. Львів: Простір-М, 2022. 55 с. URL: <https://ecoinst.org.ua/pdf/zberezhennia-bioriznomanittia-recomendacii-2022.pdf>.
30. Червона книга України. URL: <https://redbook-ua.org>.
31. Закон України «Про Червону книгу України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3055-14#Text>.
32. Види, занесені до Червоної книги України. URL: <https://wownature.in.ua/articles/vydy-zaneseni-do-chervonoj-knyhy-ukrainy>.
33. WWF. URL: <https://wwf.ua/?15343441/living-planet-report-2024>.

## БАГАТОРІЧНА ДИНАМІКА СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ В РАЙОНІ СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ»

Кричун Д.М.<sup>1</sup>, Прокоф'єв О.М.<sup>2,3</sup>, Боровська Г.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кіровоградський обласний центр з гідрометеорології  
вул. Чміленка, 84, 25022, м. Кропивницький

<sup>2</sup>Одеський національний університет імені І.І. Мечникова  
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

<sup>3</sup>Інститут кліматично орієнтованого сільськогосподарства  
Національної академії аграрних наук України  
вул. Маяцька дорога, 24, 67667, смт. Хлібодарське  
[dmitrii.krychun@gmail.com](mailto:dmitrii.krychun@gmail.com), [leggg0707@gmail.com](mailto:leggg0707@gmail.com), [bga6319@gmail.com](mailto:bga6319@gmail.com)

З середини ХХ століття спостерігається потепління атмосфери і океану, льодовий покрив обох півкуль зменшується, а рівень світового океану підвищується. Глобальне потепління, а також суттєва зміна клімату, яка спостерігається з 1950-х років, на думку багатьох вчених, є наслідком впливу антропогенного фактору, пов'язаного з викидом парникових газів. Саме полярні зони планети найбільш чутливі до зміни клімату. Важлива задача для науковців сьогодні це – вивчити різні стани системи океан-атмосфера, а потім спробувати перенести на клімат окремих районів нашої планети результату їх впливу.

Окрім впливу на глобальні кліматичні процеси, Антарктида відіграє ключову роль у підтримці екологічної рівноваги нашої планети. Її суворі кліматичні умови безпосередньо формують унікальні екосистеми Південного океану, які є домівкою для різних організмів. Морський лід, який покриває значні частини Антарктики, слугує середовищем існування для багатьох видів, включаючи криль – основу харчового ланцюга для багатьох морських мешканців. Криль є важливим джерелом харчування для риб, тюленів, китів і пінгвінів. Зміни в обсязі морського льоду, що спричинені потеплінням клімату, безпосередньо впливають на доступність цього ресурсу і можуть спричинити ланцюгові реакції в екосистемах Південного океану.

Кліматичні зміни в Антарктиді також мають глобальний ефект. Танення антарктичних льодовиків підвищує рівень світового океану, загрожуючи прибережним регіонам і островам, а також порушує термохалінну циркуляцію океанів – систему, яка впливає на клімат у багатьох частинах світу. Зменшення кількості морського льоду змінює структуру харчових ланцюгів, впливаючи на риболовлю та економіку країн, які залежать від морських ресурсів. Окрім цього, зміни у водних потоках та океанічних течіях можуть змінювати глобальні погодні патерни, що спричинить більш екстремальні погодні явища в різних кутках світу.

Таким чином, дослідження клімату та метеорологічного режиму Антарктиди є надзвичайно важливим не лише для розуміння регіональних екологічних процесів, але й для прогнозування глобальних змін у кліматичній системі. Антарктида виступає своєрідним барометром змін, що дозволяє науковцям краще оцінити потенційні наслідки глобального потепління. Вивчення цього континенту допомагає не лише оцінити екологічні виклики, а й розробити стратегії для їх пом'якшення, зокрема зменшення викидів парникових газів, захист морських екосистем та розробку глобальних екологічних політик.

**Ключові слова:** клімат, приземна температура повітря, Антарктичний півострів, середнє значення, асиметрія, ексцес.

### Long-term dynamics of statistical characteristics of the thermal regime in the area of the “Academic Vernadsky” station. Krychun D., Prokofiev O. Borovska H.

Since the mid-20th century, warming of the atmosphere and oceans has been observed, the ice cover of both hemispheres has been shrinking, and the global sea level has been rising. Global warming and significant climate changes observed since the 1950s are, according to many scientists, a consequence of anthropogenic factors related to greenhouse gas emissions. The polar regions of the planet are particularly sensitive to climate change. A crucial task for scientists today is to study the various states of the ocean-atmosphere system and then attempt to apply the results of their influence to the climate of specific regions of our planet.

In addition to its impact on global climate processes, Antarctica plays a key role in maintaining the ecological balance of our planet. Its harsh climatic conditions directly shape the unique ecosystems of the Southern Ocean, which serve as habitats for a variety of organisms. Sea ice, covering significant parts of Antarctica, provides a critical environment for many species, including krill—a cornerstone of the food chain for numerous marine inhabitants. Krill serves as a vital food source for fish, seals, whales, and penguins. Changes in the volume of sea ice, driven by climate warming, directly affect the availability of this resource and can trigger cascading effects in the ecosystems of the Southern Ocean.

Climate changes in Antarctica also have a global impact. The melting of Antarctic glaciers raises global sea levels, threatening coastal regions and islands, and disrupts the thermohaline circulation of the oceans – a system that influences climate across many parts of the world. The reduction in sea ice alters the structure of food chains, affecting fisheries and the economies of countries that depend on marine resources. Additionally, changes in water flows and ocean currents can modify global weather patterns, leading to more extreme weather events in different parts of the world.

Therefore, studying the climate and meteorological regime of Antarctica is critically important not only for understanding regional ecological processes but also for forecasting global changes in the climate system. Antarctica acts as a kind of barometer for change, enabling scientists to better assess the potential consequences of global warming. Research on this continent helps evaluate ecological challenges and develop strategies to mitigate them, including reducing greenhouse gas emissions, protecting marine ecosystems, and formulating global environmental policies. *Key words:* climate, near-surface air temperature, Antarctic Peninsula, mean, skewness, kurtosis.



**Постановка проблеми.** Антарктида – найхолодніший материк Землі. Своїми унікальними природними особливостями Антарктида завдячує географічному положенню. Практично весь материк знаходиться за Південним полярним колом. Сонце ніколи не піднімається високо над горизонтом. Влітку в Антарктику приходить полярний день, а взимку – полярна ніч, тривалість яких на Південному полюсі доходить до півроку. Косі сонячні промені не можуть зігріти цей материк, тому Антарктика перебуває у владі вічного холоду. Вона вкрита кілометровим крижаним панциром, тільки місцями з-під льоду проглядають чорні голі антарктичні скелі – нунатаки [1-3].

Природний світ материка досить мізерний. З рослин тут переважають мохи та лишайники, є кілька видів квіткових рослин. На берегах Антарктики влаштовують свої лежбища морські котики, селяться зграї пінгвінів. У Антарктиді активно ведуться міжнародні дослідження, зараз тут працює близько 37 станцій із загальною чисельністю персоналу до 3000 осіб. Дійсно, кліматичні умови Антарктики – є найсуворішими на всій планеті, при винятково низьких температурах тут випадає дуже мало опадів, і дмуть найсильніші вітри, швидкість яких може сягати 90 м/с [2-3].

Саме завдяки своїм особливостям в антарктичному регіоні найбільш яскраво проявляються загальнопланетарні зміни клімату, а саме глобальне підвищення температури.

**Актуальність даного дослідження** виходить з необхідності постійного моніторингу метеорологічного режиму Антарктиди та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін, оскільки цей регіон є одним із ключових індикаторів глобальних екологічних процесів. Зміни температури, обсягів морського льоду та циркуляції повітряних мас в Антарктиді впливають на стабільність екосистем Південного океану, які є важливою частиною біосфери планети.

Постійне спостереження за цими процесами дозволяє виявляти довгострокові тренди, які відображають глобальне потепління, і прогнозувати їхній вплив на біорізноманіття та функціонування екосистем.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження виконувалось у відповідності до цілей, що були сформульовані в науково-дослідних роботах Одеського державного екологічного університету та Одеського національного університету імені І.І. Мечникова з тем: «Оцінка стану кліматичної системи Західної Антарктиди у світлі мінливості циркуляції тропосфери і низької стратосфери, термічних та динамічних характеристик Південного океану, а також динаміки зледеніння» (№ ДР 0104U000958); «Вплив кліматичних змін в полярних регіонах на динаміку загального вмісту озону, температурно-вологісного режиму атмосфери та розпов-

сюдження морського льоду» (№ ДР 0110U000088); «Оцінка ампліфікації зміни клімату в полярних регіонах на основі даних радіозондування та даних наземних спостережень».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Динаміка термічного режиму досліджуваного регіону кінця XX – початку XXI століть та оцінка його майбутніх змін представлені в публікаціях як зарубіжних так і вітчизняних вчених [4-14]: Turner J. та ін. (2005); Convey P. та ін. (2009); Abrahamsen E.P. та ін. (2020); Stenni B. та ін. (2017); González-Herrero S. та ін. (2020), Martazinova V.F. та ін. (2010), Краковська С.В. та ін. (2017), Прокоф'єв О.М. та ін. (2013, 2015, 2021, 2023).

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Відомо, що підвищення глобальної температури впливає не лише на абсолютні значення температури повітря в Антарктиді, але й на кількість опадів, а також динаміку льодового покриву та морського льоду. Такі зміни впливають на функціонування унікальних екосистем цього регіону, включаючи харчові ланцюги в Південному океані.

У цьому контексті вивчення термічного режиму Антарктиди дає можливість не лише глибше зрозуміти процеси, що відбуваються у цьому регіоні, але й розробити прогнози змін глобального клімату. Це допоможе адаптувати стратегії управління природними ресурсами, зменшити негативні екологічні наслідки та попередити значні економічні втрати, пов'язані з кліматичними катастрофами.

Таким чином, моніторинг і дослідження температурних змін в Антарктиді є важливими не лише для розуміння сучасних кліматичних тенденцій, але й для забезпечення екологічної стабільності планети в умовах глобального потепління.

**Метою** даного дослідження є встановлення основних рис багаторічної динаміки термічного режиму Антарктичного півострова в районі станції «Академік Вернадський».

Вихідними даними виступають багаторічні значення середньої місячної температури повітря за 00 UTC на українській антарктичній станції «Академік Вернадський», отримані з бази даних Британської Антарктичної служби (<https://www.bas.ac.uk>). Період спостережень охоплює періоди двох останніх кліматичних норм (1961-1990pp. та 1991-2020pp.) і складає більше 70 років (з 1947 по 2020pp.).

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Сучасні дослідження клімату Антарктиди свідчать, що очікувані зміни мають, в основному, негативні наслідки для глобальної кліматичної системи та екосистем регіону. Льодовиковий щит, морський лід та унікальні екосистеми Антарктичного континенту є ключовими елементами, які впливають на стан Світового океану, рівень його води та термохалінну циркуляцію. Ці фактори мають прямий вплив на стабільність клімату у різних частинах світу.

Зміни температурного режиму, просторового і часового розподілу тепла в Антарктиді, впливають на динаміку льодовикового покриву та сезонний хід утворення морського льоду. Ця інформація є надзвичайно важливою для прогнозування глобальних кліматичних змін, особливо тих, які можуть мати значний вплив на прибережні регіони, екосистеми та економіку багатьох країн.

Дослідження кліматичних процесів в Антарктиді дозволяє ефективніше використовувати кліматичні ресурси для вирішення конкретних соціально-економічних завдань, розробки глобальних екологічних політик та адаптаційних стратегій у відповідь на зміни клімату.

**Виклад основного матеріалу.** Клімат будь-якої місцевості можна охарактеризувати за допомогою статистичних характеристик. На першому етапі дослідження проведено розрахунок статистичних характеристик середньомісячних та середньорічних значень приземної температури повітря антарктичної станції «Академік Вернадський». В таблиці 1 наведені розраховані значення статистичних характеристик для всього періоду досліджень з 1947 по 2020рр.

Найвищі середньомісячні значення приземної температури спостерігаються в період антарктичного літа – січень-лютий і складають 0,8 та 0,7°C відповідно. Найнижчі – фіксуються в період антарктичної зими – червень-липень: -8,4 та -8,7°C відповідно. Річна амплітуда приземної температури складає 9,5°C.

Річний хід мінімальних температур повторює загальні риси річного ходу середніх температур, але слід зазначити, що він має один яскраво виражений максимум (січень, -1,4°C) та мінімум (липень, -20,1°C). Річна амплітуда мінімальних температур складає 18,7°C, що майже в два рази більше за амплітуду середніх значень температур. Річний хід багаторічних максимальних значень також відповідає річному ходу середніх значень, але найбільші максимальні значення фіксуються в лютому (2,4°C), а найменші – в серпні (-2,9°C). Річна амплітуда максимальних значень майже вдвічі менша за амплітуду середніх і складає 5,3°C.

В річному ході середньоквадратичного відхилення (табл. 1) спостерігається чітко виражений макси-

мум (червень – 4,4°C) та мінімум (грудень – 0,6°C), тобто максимальні значення середньоквадратичного відхилення фіксуються в період антарктичного літа, а мінімальні – в період антарктичної зими, що пов'язане з характером загальної циркуляції атмосфери в цьому регіоні.

Коефіцієнт асиметрії протягом більшості місяців року від'ємний і коливається у невеликих межах від -0,4 до -1,1, що свідчить про суттєву відмінність розподілу температури від нормального розподілу та його не стаціонарність. Найбільші значення коефіцієнту асиметрії фіксуються напочатку зими (квітень-травень) – -3,2 та -2,1 відповідно.

Щодо коефіцієнту ексцесу, то він протягом року має як додатні, так і від'ємні значення, тобто протягом деяких місяців року приземна температура змінюється в широкому діапазоні (з вересня по січень), а в деякі – у вузькому (з лютого по серпень), що, знову ж таки, обумовлено характером загальної циркуляції в регіоні.

На наступному етапі дослідження було прийняте рішення розділити досліджуваний період на два тридцятирічних періоди (1961-1990рр. та 1991-2020рр.), які відповідають кліматичним нормам (відповідно до рекомендацій Всесвітньої метеорологічної організації) і розраховувати статистичні характеристики приземної температури повітря станції «Академік Вернадський» окремо для кожного періоду (табл. 2).

Аналіз проведених розрахунків дозволяє стверджувати, що за досліджуваний період відбулося суттєве збільшення приземної температури повітря в районі станції «Академік Вернадський» протягом усіх місяців року! Якщо в період першої кліматичної норми (1961-1990рр.) багаторічні середньомісячні значення приземної температури для літніх місяців не перевищували 0,7°C, то в період другої кліматичної норми (1991-2020рр.) ці значення вже є вищими за 1,0°C. Найбільше зростання середньомісячних приземних температур від періоду першої кліматичної норми до другої припадає на середину зими: липень (2,6°C), серпень (3,0°C). Тобто за період від першої до другої кліматичної норми багаторічна середньомісячна температура повітря на станції «Академік Вернадський» зросла протягом усіх місяців року на величину від 0,1 (грудень, літо) до 3,0°C (серпень, зима). Отримані результати добре ілюструє табл. 3.

Таблиця 1

**Статистичні характеристики приземної температури повітря станції «Академік Вернадський», розраховані за період 1947-2020рр.**

| хар-ка | I    | II   | III  | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X    | XI   | XII  | year |
|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| min    | -1,4 | -3,0 | -4,6 | -14,0 | -13,9 | -17,1 | -20,1 | -17,4 | -14,2 | -9,5 | -4,7 | -1,7 | -8,1 |
| max    | 2,3  | 2,4  | 1,6  | 0,5   | -0,2  | -1,1  | -2,6  | -2,9  | -2,1  | -0,6 | 0,0  | 1,7  | -1,2 |
| серед  | 0,8  | 0,7  | -0,4 | -2,4  | -4,2  | -6,2  | -8,4  | -8,7  | -7,1  | -4,5 | -2,1 | -0,2 | -3,6 |
| Sx     | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 2,3   | 2,6   | 3,1   | 4,4   | 3,5   | 3,0   | 1,9  | 1,1  | 0,6  | 1,5  |
| As     | -0,4 | -0,9 | -0,9 | -3,2  | -2,1  | -1,1  | -1,0  | -0,7  | -0,5  | -0,5 | -0,5 | 0,5  | -0,9 |
| E      | -0,4 | 2,5  | 1,8  | 6,1   | 5,2   | 1,5   | 0,3   | 0,0   | -0,3  | -0,2 | -0,2 | 0,9  | 0,6  |

Таблиця 2

Статистичні характеристики приземної температури повітря станції «Академік Вернадський», розраховані за різні кліматичні періоди

| 1961-1990pp. |      |      |      |      |      |       |       |       |       |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| хар-ка       | I    | II   | III  | IV   | V    | VI    | VII   | VIII  | IX    | X    | XI   | XII  | year |
| min          | -0,7 | -1,0 | -2,6 | -5,6 | -7,4 | -11,3 | -19,9 | -16,4 | -14,2 | -8,5 | -4,6 | -0,8 | -6,1 |
| max          | 2,3  | 2,4  | 1,4  | -0,4 | -1,6 | -2,7  | -2,7  | -3,4  | -2,1  | -1,6 | -0,5 | 0,8  | -1,2 |
| серед        | 0,7  | 0,7  | -0,5 | -2,3 | -4,2 | -6,3  | -9,0  | -9,8  | -7,5  | -5,0 | -2,3 | -0,2 | -3,8 |
| Sx           | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,4  | 1,4  | 2,3   | 4,8   | 3,6   | 3,1   | 2,0  | 1,1  | 0,4  | 1,3  |
| As           | 0,3  | 0,4  | -0,1 | -0,6 | -0,5 | -0,4  | -0,8  | -0,3  | -0,2  | -0,1 | -0,4 | 0,5  | 0,2  |
| E            | -1,1 | -0,6 | -0,6 | -0,2 | 0,0  | -0,7  | -0,3  | -0,6  | -0,5  | -1,0 | -0,9 | -0,8 | -1,0 |
| 1991-2020pp. |      |      |      |      |      |       |       |       |       |      |      |      |      |
| хар-ка       | I    | II   | III  | IV   | V    | VI    | VII   | VIII  | IX    | X    | XI   | XII  | year |
| min          | -0,4 | -0,3 | -2,2 | -4,6 | -6,9 | -10,9 | -12,2 | -12,2 | -11,8 | -9,5 | -4,5 | -1,2 | -4,3 |
| max          | 2,2  | 2,3  | 1,6  | 0,5  | -0,2 | -1,1  | -2,6  | -2,9  | -2,3  | -0,6 | 0,0  | 1,7  | -1,5 |
| серед        | 1,1  | 1,0  | -0,1 | -1,6 | -3,0 | -4,8  | -6,4  | -6,9  | -6,2  | -4,0 | -1,7 | -0,1 | -2,7 |
| Sx           | 0,7  | 0,7  | 0,8  | 1,0  | 1,3  | 2,1   | 2,3   | 2,1   | 2,4   | 1,8  | 0,9  | 0,7  | 0,7  |
| As           | -0,4 | -0,1 | -0,4 | -0,6 | -0,8 | -1,1  | -1,0  | -0,3  | -0,2  | -1,1 | -0,4 | 0,9  | -0,5 |
| E            | -0,4 | -0,9 | 0,6  | 2,3  | 2,1  | 1,5   | 1,0   | 0,2   | -0,3  | 2,8  | 1,8  | 0,7  | -0,4 |

Таблиця 3

Різниці між багаторічними середніми значеннями приземної температури повітря станції «Академік Вернадський» II та I кліматичних періодів (°C)

| I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | year |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 1,2 | 1,5 | 2,6 | 3,0  | 1,3 | 1,1 | 0,5 | 0,1 | 1,1  |

Для мінімальних температур характерна така сама тенденція, як і для середніх: протягом майже усіх місяців року спостерігається зростання мінімальної температури від першого кліматичного періоду до другого. Максимальне зростання фіксується в зимовий період (7,7°C – липень), мінімальне – в літній (0,3°C – січень). Слід зазначити, що у грудні на станції «Академік Вернадський» мінімальні температури від першого до другого кліматичного періоду зменшилися, хоча й не суттєво на 0,4°C.

Що стосується динаміки багаторічних максимальних середньомісячних приземних температур за два кліматичні періоди, то картина їх розподілу суттєво відрізняється від розподілу середніх та мінімальних. А саме, в січні та лютому фіксується зменшення максимальних температур від першого кліматичного періоду до другого. Величина зменшення складає лише 0,1°C. Слід також відмітити, зменшення максимальних температур фіксується також в жовтні на величину 0,2°C.

Перейдемо до аналізу середньоквадратичних відхилів (табл. 2). Для більшості місяців року найбільші значення середньоквадратичних відхилів фіксуються для повного періоду спостережень з 1947 по 2020pp., що зрозуміло, оскільки за вказаний період розкид середніх значень є максимальним. В той же час для чотирьох зимових місяців (з

липня по жовтень) найбільші значення середньоквадратичного відхилення характерні для першого кліматичного періоду (1961-1990pp.), що свідчить про наявність в ці місяці в першому кліматичному періоді більш високих екстремальних (мінімальних та / або максимальних) значень приземної температури повітря.

Середньоквадратичні відхилення, які фіксуються в другому кліматичному періоді (1991-2020pp.), є найменшими для усіх місяців року, що може свідчити про те, що приземна температура в період останньої кліматичної норми на станції «Академік Вернадський» коливалася у дещо вужчих межах, ніж у попередні роки.

Річний хід коефіцієнта асиметрії для різних періодів спостережень більш-менш одноманітний (табл. 2). Для більшості місяців року найбільші значення коефіцієнту фіксуються для повного періоду спостережень (з 1947 по 2020pp.), що є зрозумілим. В другому кліматичному періоді коефіцієнти асиметрії переважно найменші. Слід зазначити, що для усіх місяців року та усіх періодів характерні від'ємні коефіцієнти асиметрії, окрім листопада.

Що стосується коефіцієнту ексцесу (табл. 2), то для нього характерна плямистість в розподілі протягом року за різні періоди спостережень. Так, весною та на початку зими (з лютого по червень) найбільші

коефіцієнти експесу фіксуються для повного періоду спостережень. В інші місяці року найбільші коефіцієнти експесу характерні для другого кліматичного періоду.

**Головні висновки.** Проведене дослідження статистичних характеристик приземної температури повітря Антарктичного півострову для різних кліматичних періодів дозволяє стверджувати про певні порушення стабільності термічного режиму досліджуваного регіону, а саме потепління в другий кліматичний період (1991-2020рр.) по відношенню до першого (1960-1991рр.) протягом усіх місяців року, яке досягає максимальних значень в зимовий період року.

Отримані результати – це перший крок у дослідженні змін термічного режиму Антарктичного півострова. Наступним кроком буде розрахунок та аналіз трендової складової приземної температури повітря, а також аномалій приземної температури, розрахованих для різних кліматичних періодів. Отримані результати можуть бути використані для розробки екологічних стратегій з адаптації до кліматичних змін, таких як захист морських екосистем, створення природоохоронних зон і впровадження практик сталого управління природними ресурсами. Таким чином, моніторинг клімату Антарктиди не лише сприяє розумінню регіональних змін, але й допомагає вирішувати глобальні екологічні виклики.

### Література

1. Антарктида. URL: <https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B4%D0%B0> (дата звернення 23.09.2024).
2. Природна історія Антарктики. URL: <https://expedicia.org/prirodnaistoriya-antarktiki/> (дата звернення 23.09.2024).
3. Районування, клімат, топографія та геологія району Аргентинських островів. URL: <https://expedicia.org/rayonuvannya-klimattopografiya-ta-geo/> (дата звернення 23.09.2024).
4. Antarctic climate change during the last 50 years / Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J., Lachlan-Cope T.A., Carleton A. M., Jones P.D., Jagovkina S. *International journal of Climatology*. 2005. № 25(3). Pp. 279-294.
5. Antarctic climate change and the environment / Convey P., Bindaschadler R., Di Prisco G., Fahrback E., Gutt J., Hodgson D.A. *Antarctic Science*. 2009. № 21(6), Pp. 541-563.
6. Данова Т.Є., Прокоф'єв О.М. Динаміка приземної температури повітря Антарктиди у світлі сучасних кліматичних змін. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки*. 2013. № 16. С. 62-67.
7. Antarctica and the Southern Ocean / Abrahamsen E.P., Barreira S., Bitz C.M., Butler A., Clem K.R., Colwell S., Wang L. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2020. № 101(8). Pp. S287-S320.
8. Antarctic climate variability on regional and continental scales over the last 2000 years / Stenni B., Curran M.A., Abram N.J., Orsi A., Goursaud S., MassonDelmotte V., Frezzotti M. *Climate of the Past*. 2017. № 13(11). Pp. 1609-1634.
9. Climate warming amplified the 2020 record-breaking heatwave in the Antarctic Peninsula / González-Herrero S., Barriopedro D., Trigo R. M., LópezBustins J. A., Oliva M. *Communications Earth & Environment*. 2022. № 3(1), Pp. 122.
10. Prokofiev, O.M., Chernyshov V.A. Dynamics of the meteorological regime of the Antarctic peninsula using the example of the Antarctic station Bellingshausen in Modern aspects of natural science research in the context of sustainable development of society: Scientific monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2023. Pp. 339-352.
11. Martazinova, V.F., Tymofeev, V.E., Ivanova, E.K. Modern Regional Climate of Antarctic Peninsula and Vernadsky base. *Ukrainian Antarctic Journal*. 2010. № 9. Pp. 231-248.
12. Краковська С.В., Писаренко Л.А. Зміна приземної температури повітря у XX – XXI сторіччях в районі Антарктичного півострова за даними кліматичних моделей. *Український антарктичний журнал*. 2017. Вип. 16. С. 52-65.
13. Prokofiev O., Goptsiy M. Dynamics of the Temperature Regime of the Antarctic Peninsula. *Другий Всеукраїнський гідрометорологічний з'їзд: тези доповідей*. Одеса: Одеський державний екологічний університет. 2021. С. 113-114.
14. Прокоф'єв О.М. Багаторічна мінливість приземної швидкості вітру у Східній Антарктиді. *Фізична географія та геоморфологія*. 2015. №. 2(78). С. 145-151.
15. Воциліна Д.С., Прокоф'єв О.М. Дослідження багаторічних змін приземної температури повітря на станції Новолазарівська. *iScience Poland*. 2019. Issue 4(13). Part 1. С. 34-39.

## АНАЛІЗ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ ГРОЗОВОЇ АКТИВНОСТІ НА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ

Недострелова Л.В.<sup>1</sup>, Даус М.Є.<sup>2</sup>, Чумаченко В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

<sup>2</sup>Одеський національний морський університет  
вул. Мечникова, 34, 65029, м. Одеса  
[nedostrelova@ukr.net](mailto:nedostrelova@ukr.net), [dme2468@gmail.com](mailto:dme2468@gmail.com)

В статті представлено результати аналізу просторово-часових тенденцій грозової активності на території Північно-Західного Причорномор'я за період 2005-2020 рр. Проведено кліматично-статистичну обробку даних про грозову діяльність у регіоні дослідження. В результаті розрахунків отримано багаторічний, сезонний і місячний розподіли кількості гроз у пунктах спостереження, а також розраховано кліматичний показник – кількість днів з грозами. Гроза є найбільш небезпечним явищем погоди, що може супроводжуватися інтенсивними зливовими опадами, сильним вітром, градом, шквалом, а іноді і смерчем. В умовах сучасних змін клімату, як показують дослідження останніх десятиліть, зростає повторюваність, тривалість і інтенсивність небезпечних гідрометеорологічних явищ. На формування гроз суттєво впливає температурний і вологісний режим атмосфери, її склад і стратифікація, волого- і теплообмін між підстилаючою поверхнею і шарами повітря. Потепління клімату супроводжуються змінами вказаних характеристик атмосфери, що, в свою чергу, призводить до змін режимних параметрів грозової активності. Результати дослідження дають можливість зробити наступні висновки. Протягом всього періоду найбільш активно грози формувалися на метеостанції Миколаїв, мінімальну активність грозоутворень зафіксовано в Херсоні. В багаторічному ході виявлено коливальний характер грозової діяльності з різними періодами і амплітудами коливань у відповідності до станцій. Сезонна мінливість грозоутворень показує, що гроза формується у всі сезони року, за виключенням станції Херсон, де взимку грози не спостерігалися. Максимальну кількість випадків зафіксовано влітку. Інтенсивніше процеси грозоутворення формуються в літні місяці, а саме в червні-липні, коли в атмосфері утворюються найбільш сприятливі умови для розвитку конвективних процесів. *Ключові слова:* грозова активність, сезонний розподіл, багаторічний хід, кліматичні показники, потепління клімату.

**Analysis of spatiotemporal variability of thunderstorm activity on the territory of the Northwestern Black Sea Region at the beginning of the 21st century. Nedostrelova L., Daus M., Chumachenko V.**

The article presents the results of the analysis of spatiotemporal trends of the thunderstorm activity on the territory of the Northwestern Black Sea Region for the period 2005-2020. Climatic and statistical processing of data of thunderstorm activity in the investigation region was carried out. As a result of the calculations, multi-annual, seasonal and monthly distributions of the number of thunderstorms at observation points were obtained, and a climatic indicator was also calculated – the number of days with thunderstorms. A thunderstorm is the most dangerous weather phenomenon, which can be accompanied with intense downpours, strong winds, hail, squalls, and sometimes a tornado. In the conditions of modern climate change, as shown by investigations of recent decades, the frequency, duration and intensity of dangerous hydrometeorological phenomena are increasing. The formation of thunderstorms is significantly affected with the temperature and humidity regime of the atmosphere, its composition and stratification, moisture and heat exchange between the underlying surface and air layers. Climate warming is accompanied with changes in the specified characteristics of the atmosphere, which, in turn, leads to changes in the regime parameters of thunderstorm activity. The results of the investigation allow us to draw the following conclusions. Throughout the entire period, thunderstorms were most actively formed at the Mykolaiv weather station, the minimum activity of thunderstorms was recorded in Kherson. Over the course of many years, an oscillatory nature of thunderstorm activity was revealed with different periods and amplitudes of oscillations in accordance with the stations. Seasonal variability of thunderstorms shows that thunderstorms form in all seasons of the year, with the exception of the Kherson station, where thunderstorms were not observed in winter. The maximum number of cases was recorded in summer. Thunderstorm formation processes are formed more intensively in the summer months, namely in June-July, when the most favorable conditions for the development of convective processes are formed in the atmosphere. *Key words:* thunderstorm activity, seasonal distribution, multi-year course, climatic indicators, climate warming.

**Постановка проблеми.** Гроза є найбільш небезпечним явищем погоди, що може супроводжуватися інтенсивними зливовими опадами, сильним вітром, градом, шквалом, а іноді і смерчем. Жодна галузь економіки країни не ігнорує інформацію про можливість формування грозової активності. Природні явища постійно впливають і на життєдіяльність людини. Кожне суспільство пристосовується до регіональ-

них погодних і кліматичних умов і відповідно до них забезпечує своє існування і діяльність. Негативні наслідки для економіки і суспільства виникають при формуванні аномальних явищ погоди. Вивчення і розуміння особливостей регіональних умов формування гроз є метою аналізу грозової діяльності.

**Актуальність дослідження.** В умовах сучасних змін клімату, як показують дослідження останніх

десятиліть [1-4], зростає повторюваність, тривалість і інтенсивність небезпечних гідрометеорологічних явищ. На формування гроз суттєво впливає температурний і вологісний режим атмосфери, її склад і стратифікація, волого- і теплообмін між підстилаючою поверхнею і шарами повітря [1, 5-7]. Потепління клімату супроводжуються змінами вказаних характеристик атмосфери, що, в свою чергу, призводить до змін режимних параметрів грозової активності.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Утворення грози є наслідком нестійкої стратифікації атмосфери, що виявляється у виникненні значних вертикальних рухів дуже вологого повітря з великими термічними градієнтами і утворення потужної конвективної хмарності [6, 7]. Існує велика кількість гіпотез про формування електричної структури грозової хмари. Але загально прийнятої теорії цього складного явища ще не розроблено. Найбільше визнання має схема будови грозової хмари, яка була запропонована Сімпсоном та Робінзоном, а потім уточнена Байерсом, Брейамом, Пірсом й іншими [5]. Окрім того, Україна має складний характер атмосферних процесів і умов погоди. Територія країни знаходиться на стику циркуляційних систем помірних і субтропічних широт. У ряді досліджень [8] автори виділяють три характерні особливості циркуляції в Україні: ослаблення циклонічної і посилення антициклонічної діяльності, різноманіття і складність сезонних змін атмосферної циркуляції, ослаблення активності атмосферних процесів. Особливості географічного положення та різноманіття синоптичних процесів, які зумовлюють погодні умови України і сприяють частому виникненню стихійних гідрометеорологічних явищ, надзвичайно ускладнюють розподіл їх у часі та просторі [1, 9, 10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом повторюваність і інтенсивність кліматичних і погодних аномалій в світі зростає. Кліматологи пов'язують сучасні зміни в режимі атмосферних явищ з потеплінням клімату [11-13]. Як стверджують автори [1-3, 14], кліматичні зміни повинні враховуватися при стратегічному плануванні сталого розвитку країни в цілому і кожного регіону зокрема, а також при формуванні державної програми адаптації до змін клімату. В цьому аспекті необхідно мати розуміння про режимні зміни метеорологічних величин, що визначають, по суті, клімат. Особлива увага повинна приділятися небезпечним і стихійним явищам погоди.

Гроза – складне атмосферне явище, що характеризується інтенсивним хмароутворенням і багаторазовими електричними розрядами у вигляді блискавок. Грози виникають у купчасто-дощових хмарах, які у цьому випадку, називаються грозовими [5-8, 15]. Грози є важливою складовою глобального електричного поля, що об'єднує атмосферу і Землю. Дослідження грозової діяльності допоможе скласти

повну картину цілого ряду процесів, що відбуваються в атмосфері.

Споживачами інформації про формування грози є спеціалісти будь-якої галузі економіки країни, органи державної і місцевої влади, населення. Особливу небезпеку грози і явищ, які пов'язані з ними, представляють для повітряного транспорту, сектору енергетики і зв'язку, сільського та лісового господарства тощо [6, 7, 15].

Грозова активність є характерною для помірних широт у теплий період року і формується в результаті розвитку конвективних процесів в атмосфері. В холодний період року грозова діяльність на території України також може виникати, але повторюваність її дуже низька. Найчастіше грози утворюються в літній сезон з максимумом, зазвичай, у червні-липні. Синоптичний аналіз грозоутворень дає можливість стверджувати, що максимальну повторюваність мають внутрішньомасові грози, а також грозова активність, що формується на холодних атмосферних фронтах. Добовий розподіл гроз показує, що грозова діяльність більш активна в другій половині дня, що пояснюється зростаючою інтенсивністю конвективних процесів в атмосфері в післяполудневі години. Частіше фіксуються грози з опадами, але відмічаються і сухі грози, повторюваність яких нижча за повторюваність гроз з опадами [8, 15].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Проблема зростання повторюваності і інтенсивності небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ турбує як науковців, так і спеціалістів багатьох галузей економіки країни, органи влади і населення. Збільшення аномальних явищ може спричинити негативні, а іноді й руйнівні та невіправні наслідки для економіки країни, навколишнього середовища, життєдіяльності і здоров'я людини. Детальний аналіз просторово-часової динаміки повторюваності грозоутворень є важливим питанням для дослідження регіонального клімату України, особливо в сучасних умовах кліматичних змін.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Для аналізу просторово-часових тенденцій грозової активності на території Північно-Західного Причорномор'я за вихідну інформацію використовувалися дані щоденних спостережень за атмосферними явищами на метеорологічних станціях півдня України: Одеса, Миколаїв, Херсон за період 2005-2020 рр. Проведено кліматично-статистичну обробку даних про грозову діяльність у регіоні дослідження. В результаті розрахунків отримано багаторічний, сезонний і місячний розподіли кількості гроз у пунктах спостереження, а також розраховано кліматичний показник – кількість днів з грозами. Для аналізу отриманих результатів використано комп'ютерні технології, існуючі програми і графічні пакети.

**Виклад основного матеріалу.** Багаторічну мінливість грозової активності на станціях Північно-Західного Причорномор'я в період 2005-2020 рр. представлено на рис. 1. Аналіз отриманих результатів показав, що річна кількість гроз в Миколаєві суттєво відрізняється від розподілу явища на інших двох станціях – в Одесі і Херсоні. В Миколаєві максимум зафіксований у 2010 році і становить 70 гроз. В 2012, 2014 та 2018 роках спостерігалася також велика кількість випадків відповідно – 69, 68 та 67 гроз. Мінімальне значення на даній метеостанції виявлено в 2015 році – це 22 випадки, в наступному році показник становить 23 грози, що майже повторює розподіл в Одесі в ці роки. Максимум в Одесі припадає на 2017 рік і складає 38 випадків, найменша кількість гроз спостерігалася в 2009 році, що становить 15 гроз. Розподіл має три піки грозоутворень: 2005-2006, 2014 і 2017 роки. Багаторічна мінливість грозової діяльності на метеостанції Херсон має свої особливості: три піки підвищених показників – це 2010 р. – 27, 2014 р. – 33, 2019 р. – 29 гроз; три піки знижених значень: 7 гроз в 2006 р., 12 в 2011 р. та 8 в 2015 році.

Наступний крок в роботі – виявлення сезонної динаміки грозової активності на території Північно-Західного Причорномор'я. На рис. 2 представлено розподіл кількості гроз по сезонах. На станції Одеса процеси грозоутворення визначено у всі сезони року. Найбільші кількість спостерігається на літку – від 10 до 32 випадків, далі за кількістю йде весняний сезон з максимумом 9 гроз в 2016 році, восени максимально 7 гроз у 2020 році та взимку 1 гроза в 2014 році. В Миколаєві грозова активність зафіксована також у всіх сезонах, максимальні значення припали на літо – 54 випадки у 2013 р., весною дося-

гали позначки 26 гроз у 2014 році, максимум восени спостерігалися у 2018 та 2020 рр. по 10 випадків. Зимові грози були зафіксовані у 2005 та 2009 рр. по 1 випадку. Грозова діяльність на метеостанції Херсон виявлена лише в трьох сезонах, крім зими. Найбільша активність припадає на літній час з максимумом в 2010 році в кількості 23 гроз, мінімумом в 2006 році 6 випадків, на друге місце по кількості виходить весняний період з максимальним значенням 14 випадків за 2014 рік. В осінній період грозова активність значно менша і досягає максимальних значень в 2009, 2018 і 2020 рр. по 3 випадки.

На рис. 3 наведено середньомісячну динаміку грозової активності у пунктах дослідження. Аналіз показує, що на станції Миколаїв зафіксовано найбільшу кількість випадків, що майже в 2 рази перевищує кількість в двох інших містах. Загалом місячний хід на вибраних станціях повторюють один одного, мінімальні значення припадають на початок весни та зими, максимумами приходяться на літні місяці, з піком в червні-липні. Середньомісячні показники в Одесі мають максимум в липні 121 гроза, мінімум визначено в березні та грудні по 1 випадку.

На станції Миколаїв бачимо чітко виражений пік у 220 випадків в червні, мінімальні значення характерні для початку весни і зими: в квітні 4, у грудні 2 грози. В Херсоні мінливість гроз зі своїми особливостями: найбільшу кількість виявлено в літні місяці червень та липень 89 та 91 випадок відповідно. В березні та грудні грози були відсутні на відміну від інших досліджених метеостанцій.

Цікаво дослідити і кліматичні показники грозової активності. Тож, в роботі для досягнення цього завдання пораховано і наведено аналіз кліматичного показника – кількість днів з грозами. На рис. 4 пред-



Рис. 1. Багаторічний розподіл гроз на станціях Північно-Західного Причорномор'я за період 2005-2020 рр.



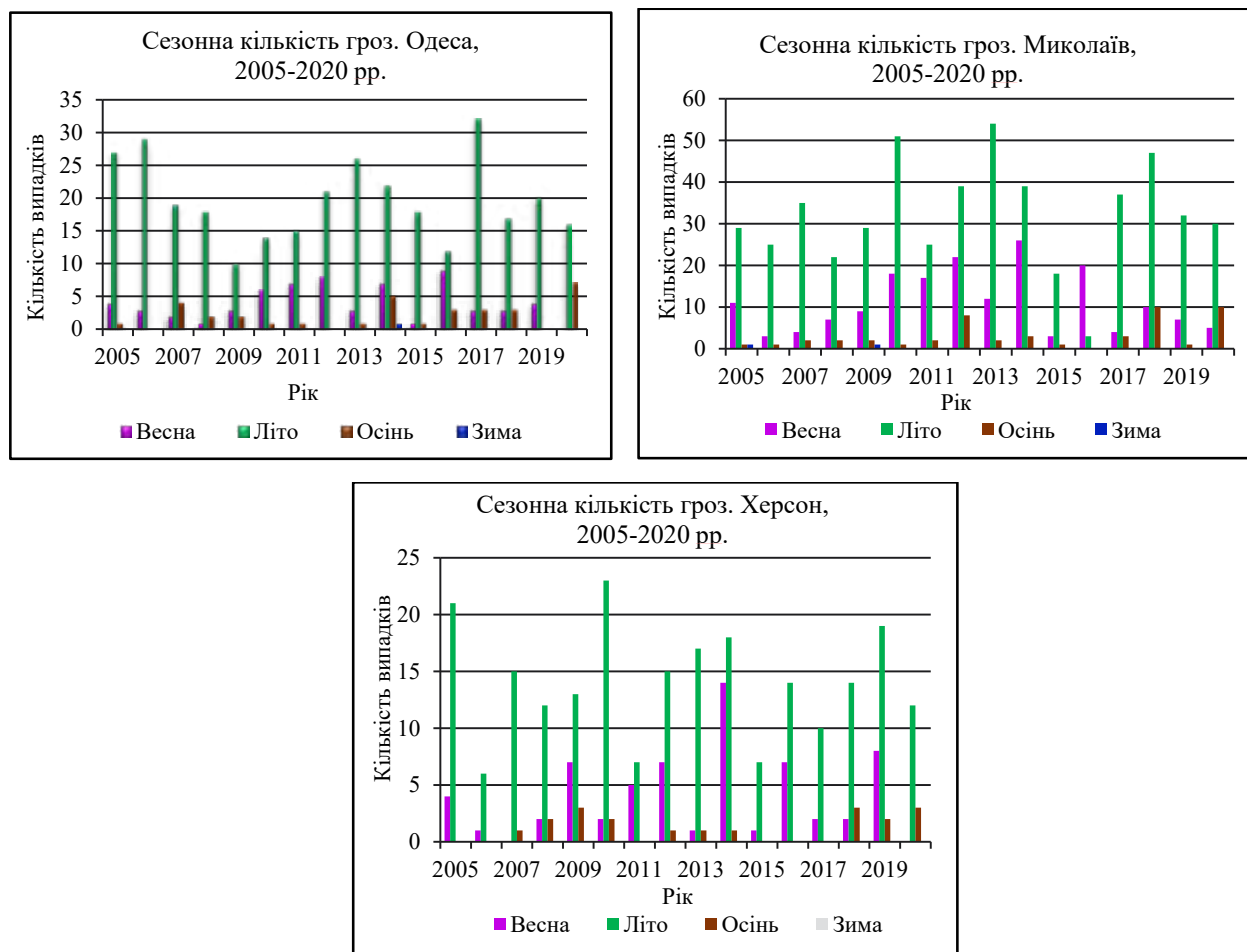


Рис. 2. Сезонний розподіл гроз на станціях Північно-Західного Причорномор'я за період 2005-2020 рр.

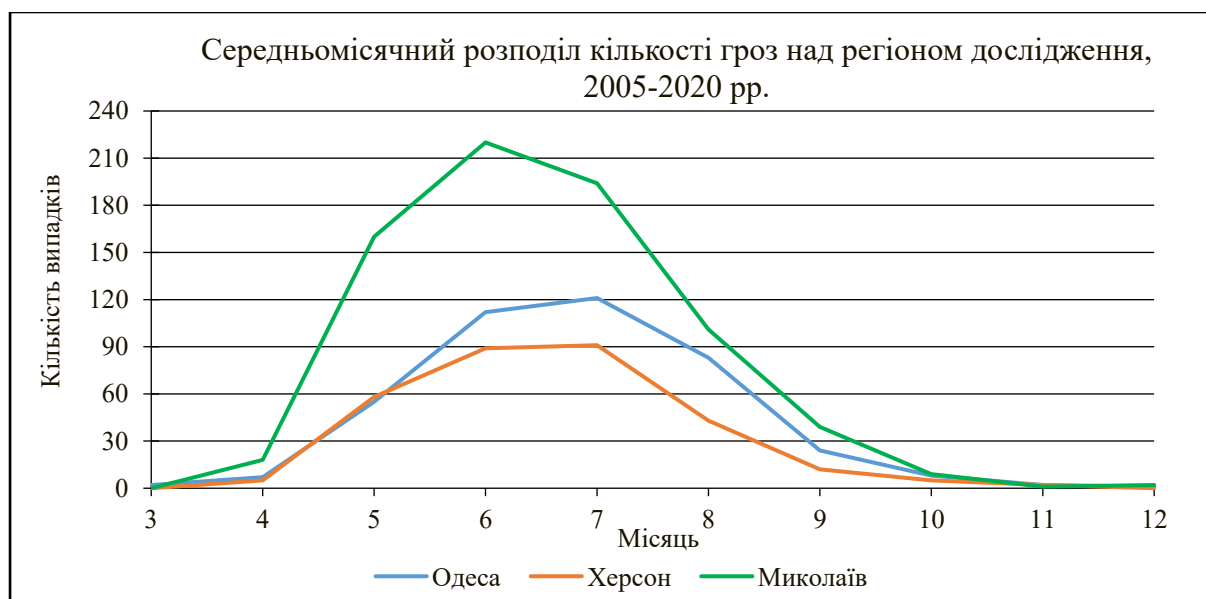


Рис. 3. Середньомісячний розподіл гроз на станціях Північно-Західного Причорномор'я за період 2005-2020 рр.

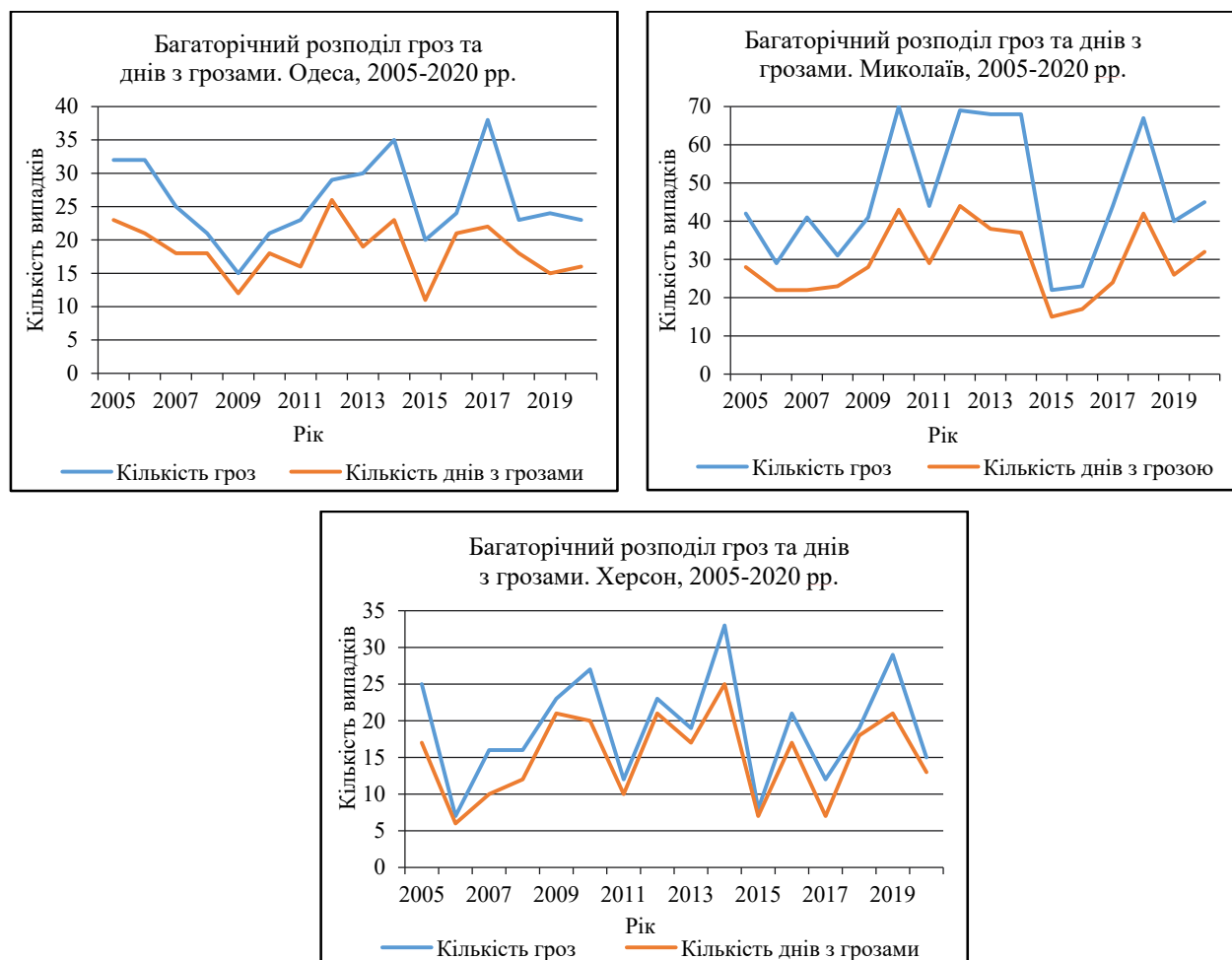


Рис. 4. Багаторічний розподіл гроз та днів з грозами на станціях Північно-Західного Причорномор'я за період 2005-2020 рр.

ставлено інформацію про просторово-часову динаміку кліматичної характеристики для кожної з досліджених станцій.

В Одесі криві кількості гроз та днів з грозами не співпадають, тобто днів з грозами менше за кількістю випадків, але ці криві повторюють хід одна одної, особливо в першій половині досліджуваного періоду. Для Миколаєва слід відмітити найбільші різниці в значеннях випадки-дні серед трьох міст. Кількість днів в середньому менша на 20 значень за кількість випадків. На станції Херсон крива кількості днів майже співпадає з кривою кількості випадків. В деякі роки, наприклад, 2006 і 2015, можемо фіксувати майже однакову кількість гроз і днів з явищем на даній станції.

**Головні висновки.** В статті представлено аналіз грозової активності на території Північного-Західного Причорномор'я протягом 2005-2020 рр. Результати дослідження дають можливість зробити наступні висновки. Протягом всього періоду найбільш активно грози формувалися на метеостанції

Миколаїв, мінімальну активність грозоутворень зафіксовано в Херсоні. В багаторічному ході виявлено коливальний характер грозової діяльності з різними періодами і амплітудами коливань у відповідності до станцій. Сезонна мінливість грозоутворень показує, що гроза формується у всі сезони року, за виключенням станції Херсон, де взимку грози не спостерігалися. Максимальну кількість випадків зафіксовано влітку. Інтенсивніше процеси грозоутворення формуються в літні місяці, а саме в червні-липні, коли в атмосфері утворюються найбільш сприятливі умови для розвитку конвективних процесів.

**Перспективи використання результатів досліджень.** Результати аналізу можуть бути використані для вдосконалення методів прогнозу небезпечних і стихійних явищ на території Північно-Західного Причорномор'я і загалом України, особливо в умовах сучасних змін клімату, які призводять до збільшення повторюваності, просторових масштабів і інтенсивності небезпечних і аномальних явищ погоди.

## Література

1. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах змін клімату : монографія / Од. держ. еколог. ун-т; за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса, 2018. 548 с.
2. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України : монографія / Од. держ. еколог. ун-т; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: ТЕС, 2015. 520 с.
3. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України : монографія / Од. держ. еколог. ун-т; за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса : Екологія, 2011. 694 с.
4. Кульбіда М. І., Барабаш М. Б., Єлістратова Л. О. Прогноз змін клімату України на початку ХХІ століття. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Географія*. 2011. № 23. С. 10-17.
5. Школьник Є.П. Фізика атмосфери. Київ: КНТ. 2007. 698 с.
6. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди: Підручник. Одеса, 2010. 407 с.
7. Івус Г.П. Практикум зі спеціалізованих прогнозів погоди: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2007. 322 с.
8. Недострелова Л.В., Чумаченко В.В. Часовий розподіл гроз на АМСЦ Одеса на початку ХХІ століття. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 16-23. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.02>
9. Врублевська О. О., Катеруша Г. П. Клімат України та прикладні аспекти його використання: навч. пос. Одеса: ТЕС, 2012. 180 с.
10. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
11. Замфірова М. С., Хохлов В. М. Режим температури повітря та опадів в Україні в 2021-2050 роках за даними ансамблю моделей CORDEX. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>
12. 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.
13. Хохлов В. М., Єрмоленко Н. С. Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. № 16. С. 76-82.
14. Україна і політика протидії зміні клімату: економічний аспект : аналітична доповідь / за ред. В. Р. Сіденка та О. О. Веклич. Київ : Заповіт, 2016. 208 с.
15. Семергей-Чумаченко А.Б., Жук Д.О., Візнюк Р.О. Mode and Conditions of Formation of Thunderstorms in Odesa Region. *World Science*. 2023. 4 (82). С. 1-12. [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30122023/8080](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122023/8080)

## МІЖРІВНЕВИЙ ОБМІН У ГРАНИЧНОМУ ШАРІ АТМОСФЕРИ ЯК ПРЕДИКТОР ПРОГНОЗУ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІАЦІЙНИХ ТУМАНІВ

Яцишен А.О.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова  
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса  
[yatanatoli@gmail.com](mailto:yatanatoli@gmail.com)

У статті пропонується підхід до виявлення зв'язку між чинниками, що сприяють міжрівневому турбулентному обміну у граничному шарі атмосфери та вертикальною потужністю радіаційних туманів. Для виявлення залежності інтенсивності туману від величини коефіцієнту турбулентного обміну, за допомогою зазначеного алгоритму були проведені відповідні розрахунки за даними температурно-вологісного зондування атмосфери на станції Lindenberg. Для розрахунку коефіцієнта турбулентності та визначення його впливу на еволюцію і утворення туманів, краще використовувати станції на яких проводиться чотириразове зондування атмосфери. На багатьох станціях підйом радіозонду проводиться не більше ніж двічі на добу о 00 та 12 СГЧ, а на території України, взагалі, один раз на добу, що не дає змогу отримати більш достовірні результати. дослідження показали наявність оберненої залежності між зниженням швидкості вітру у приземному шарі атмосфери і значеннями коефіцієнту турбулентності в'язкості.

Було виявлено, що зі зменшенням середньої швидкості вітру в шарі збільшується середнє значення коефіцієнту турбулентності в'язкості. Окрім цього було виявлено, що приземні інверсії, у разі утворення радіаційного туману, охоплюють шар від 200 до 900 м. Одночасно за методом Геффера була розрахована потужність шару туману, значення температури повітря і швидкості вітру біля поверхні землі та на верхній межі шару туману, окрім цього був розрахований вертикальний градієнт температури і зсув вітру в шарі туману. В рамках цього дослідження було вирішено приділити більше уваги детальному аналізу впливу посилення турбулентного обміну на вертикальну потужність радіаційного туману. Слід зауважити, що змінення коефіцієнту обміну в шарі туману має деякі особливості порівняно зі зміною температури і вітру в нижньому шарі атмосфери. Перш за все при наявності приземної інверсії, як правило, швидкість вітру біля поверхні землі є дуже малою, відповідно і коефіцієнт турбулентного обміну теж у цих випадках набуває малих значень, оскільки інтенсивні вихори, що обумовлюють обмін, можуть утворюватися лише при великих швидкостях вітру біля земної поверхні. *Ключові слова:* коефіцієнт турбулентності, граничний шар, радіаційний туман, вертикальна потужність.

**Interlevel exchange in the boundary layer of the atmosphere as a predictor for forecasting radiation fog characteristics.**  
Yatsyshen A.

This article proposes an approach to detecting the linkage between factors that contribute to inter-level turbulent exchange in the boundary layer of the atmosphere and the vertical strength of radiation fog. To identify the dependence of fog intensity on the value of the turbulent exchange coefficient, relevant calculations were conducted using temperature and humidity sounding data from the Lindenberg station. For calculating the turbulence coefficient and determining its impact on fog evolution and formation, it is advisable to use stations that conduct four soundings of the atmosphere daily. Many stations perform radio sounding no more than twice a day at 00 and 12 UTC, while in Ukraine, it is conducted only once a day, which does not allow for obtaining more reliable results. The research revealed an inverse relationship between the reduction of wind speed in the surface layer of the atmosphere and the values of turbulent viscosity coefficient.

It was found that with a decrease in the average wind speed in the layer, the average value of the turbulent viscosity coefficient increases. Additionally, it was discovered that surface inversions, in cases of radiation fog formation, encompass a layer from 200 to 900 m. Simultaneously, using the Hefer method, the thickness of the fog layer, air temperature values, and wind speed near the surface and at the upper boundary of the fog layer were calculated. Moreover, the vertical temperature gradient and wind shift within the fog layer were determined. Within the scope of this research, it was decided to pay more attention to the detailed analysis of the impact of enhanced turbulent exchange on the vertical strength of radiation fog. It should be noted that the changes in the exchange coefficient in the fog layer have some peculiarities compared to the changes in temperature and wind in the lower layer of the atmosphere. Firstly, in the presence of a surface inversion, the wind speed near the ground surface is generally very low, and consequently, the turbulent exchange coefficient also assumes low values in these cases since intensive vortices that facilitate exchange can only form at high wind speeds near the ground surface. *Key words:* turbulence coefficient, boundary layer, radiation fog, vertical power.

**Актуальність дослідження.** Тумани, як небезпечне явище погоди, завжди привертали увагу дослідників. Причинами цього є їх вплив на різні галузі національної економіки такі як екологія, транспорт, комунальна сфера, а з початком російсько-української війни ще й ефективність проведення військових операцій. Найбільш вразливою

галуззю до впливу туманів є транспортна логістика (особливо авіаційна), оскільки вони унеможливають стійке функціонування аеропортів упродовж періоду їх існування. Саме тому вдосконалення методів їх прогнозування (як з використанням даних чисельних моделей, так і розрахункових методів, адаптованих до конкретного місця) дозво-

ляє суттєво мінімізувати збитки або підвищити рентабельність діяльності.

З точки зору екології міст утворення туманів тісно пов'язане з наявністю стійкої стратифікації атмосфери, яка не сприяє природній вентиляції атмосфери і зумовлює накопичення шкідливих домішок біля поверхні землі.

Вплив туманів на ефективність ведення військових операцій різними видами Сил оборони України і застосування їх штатного озброєння.

**Постановка проблеми.** До найінформативніших предикторів прогнозу утворення та еволюції радіаційних туманів традиційно відносяться прогноз кількості і форми хмарності, температурно-вологісна стратифікація у граничному шарі атмосфери, прогноз швидкості вітру біля поверхні землі і характеристики радіаційного випромінювання підстильної поверхні.

Проте аналіз стадій розвитку радіаційних туманів [1,2,9] свідчить, що важливим чинником їх утворення і еволюції є вертикальний профіль напрямку і швидкості вітру, який є механізмом не лише перерозподілу тепла і вологи у граничному шарі атмосфери, але й зумовлює напрямок турбулентних потоків тепла, які впливають не лише на еволюцію туману, а й на його просторові характеристики [3,4,8].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Похідною від вертикального профілю вітру є утворення турбулентності, яка, як динамічний фактор, виступає механізмом міжрівневого обміну у граничному шарі атмосфери. Закономірності її розвитку залежать від багатьох чинників, на що вказують дослідження різних авторів [5,6,10,11]. Насамперед, коефіцієнт турбулентності, що є її кількісною характеристикою, по-різному розраховується в залежності від типу стратифікації атмосфери, одразу накладаючи певні обмеження при прогнозуванні радіаційних туманів.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Окремими авторами показано, що стійка стратифікація при слабкому вітрі утворює той ступінь турбулентності, що є необхідним для поширення туману по вертикалі, але недостатнім для його розсіювання [4,5,7]. На перший погляд можна вважати, що зростання коефіцієнту турбулентності  $k$  (або швидкості вітру) зумовлює збільшення вертикальної потужності туману. Проте варто зауважити, що розподіл коефіцієнту турбулентності в шарі туману має специфічні особливості порівняно з розподілом температури і вітру у приземному шарі атмосфери. Насамперед, наявність приземної інверсії зумовлює, як правило, незначну швидкість вітру біля поверхні землі, через що коефіцієнт турбулентного обміну набуває малих значень. Крім того, турбулентному обміну притаманна властивість механічного регулювання, яке приводить турбулентні потоки на верхній і нижній межах шару обміну до одного знаку і рівності за величиною. Цей процес порушується при наявно-

сті інверсійних шарів, коли відбувається накопичення вологи і інших субстанцій в одних шарах за рахунок їх перенесення з інших. Тому у туманах, що утворюються у підінверсійних шарах, значення  $k$  прагне до нульових значень або набуває дуже малих значень, а його вертикальний профіль має складний вид.

Дослідження також показали наявність оберненої залежності між швидкістю вітру у приземному шарі атмосфери і значеннями коефіцієнту турбулентності. Зокрема виявлено, що зі зменшенням середньої швидкості вітру в шарі збільшується середнє значення коефіцієнту турбулентності. Окрім цього встановлено, що приземні інверсії, у випадках радіаційного туману, охоплюють шар від 200 до 900 м.

Таким чином, у першу чергу, нам необхідно визначитися з розрахунком коефіцієнта турбулентності і висоти шару, у якому його розподіл буде інформативним для прогнозування радіаційного туману. У другу чергу, необхідно визначити процедуру розрахунку вертикальної потужності туману де встановлення залежності між нею і інтенсивністю турбулентного обміну.

Запропонована формула для розрахунку середнього для граничного шару коефіцієнту турбулентного обміну, а також для розрахунку висоти граничного шару атмосфери:

$$\bar{k} = 3,2u_r^2 \frac{\theta_0 \cdot 10^{-6}}{\gamma_a - \gamma} \sin \phi, \quad (1)$$

де  $u_r$  – швидкість геострофічного вітру;  
 $\gamma_a$  і  $\gamma$  – середні для шару адіабатичний і фактичний вертикальні градієнти температури відповідно;  
 $\theta_0$  – потенціальна температура біля поверхні землі;

$\phi$  – географічна широта.

Для розрахунку висоти граничного шару  $H_z$  будемо використовувати формулу [6].

$$H_z = u_r \sqrt{\frac{\pi \cdot \theta_0}{g(\gamma_a - \gamma)}}, \quad (2)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння.

Ці формули обрані

Для визначення вертикальної потужності шару радіаційного туману використовувався метод Геффера (Heffer's estimate) [3,5], який схематично представлений на рис. 1.

**Основний матеріал.** Для відбору вихідних даних (випадків радіаційного туману) висувалося декілька умов. По-перше, умова однорідності повітряної маси, по-друге, тривалість туману мала складати не менше 3 годин, по-третє, його утворення має спостерігатись після заходу сонця. При цьому, для одержання можливості діагностування передумов виникнення радіаційних туманів перевага надавалася випадкам туманів, які утворилися після 00 СГЧ.

Оскільки детальність дослідження часової еволюції характеристик туману напряму залежить від часового розділення даних радіозондування,

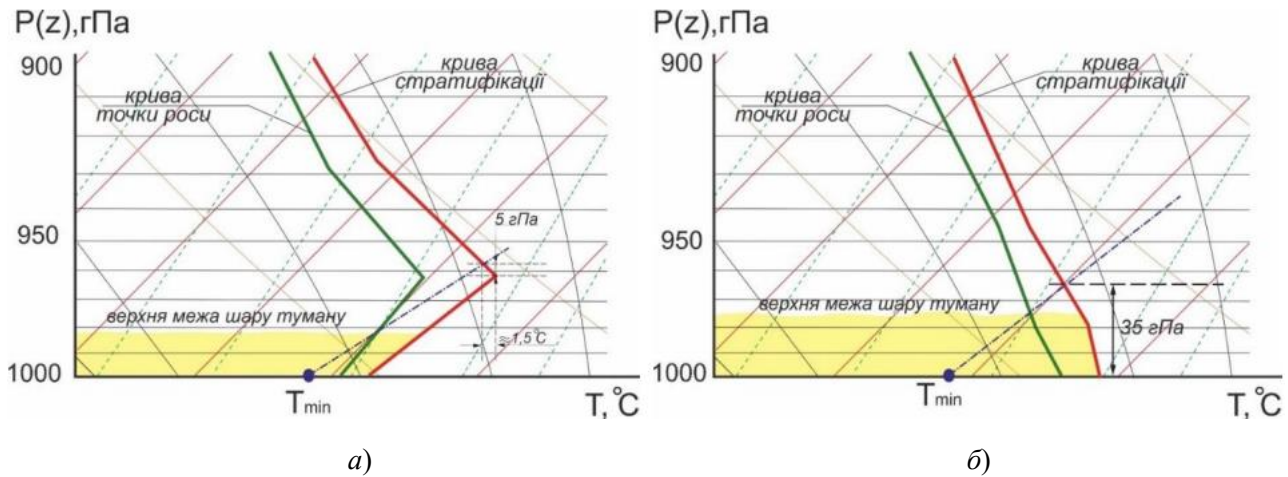


Рис. 1. Оцінка верхньої межі шару туману за способом Геффера (Heffer's estimate): а) при наявності радіаційної інверсії; б) при відсутності радіаційної інверсії

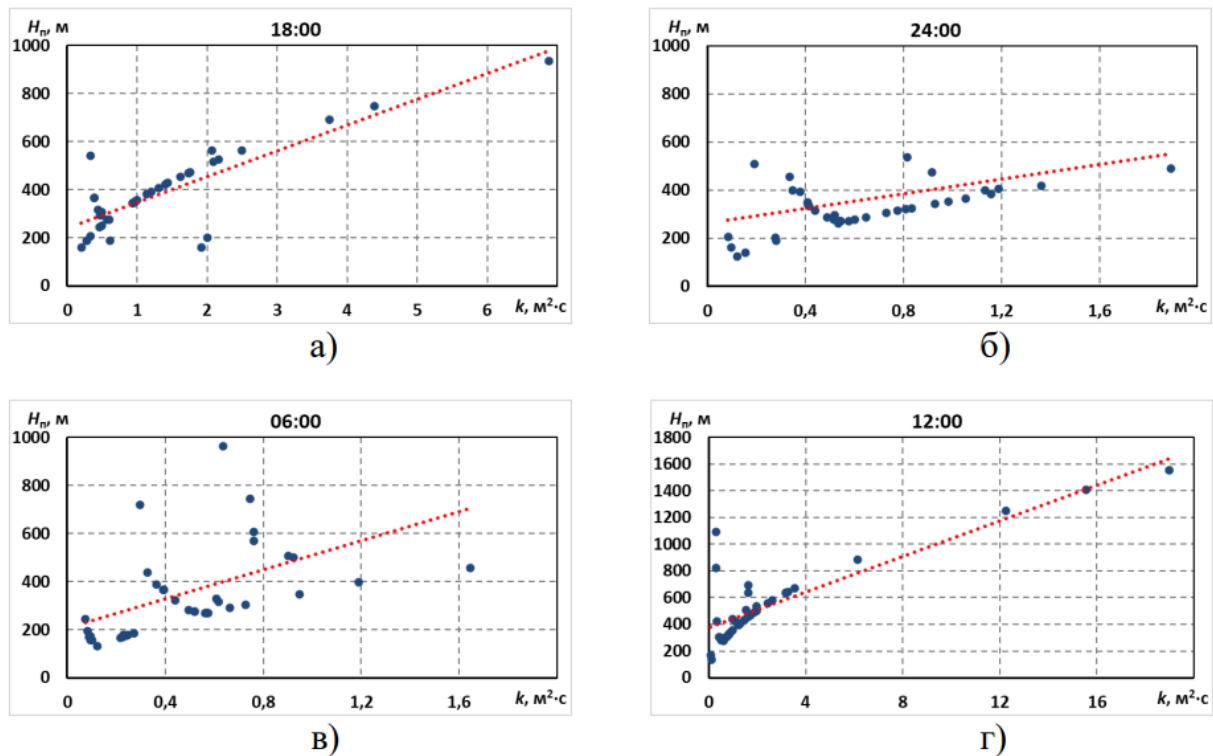


Рис. 2. Залежність висоти граничного шару від коефіцієнту турбулентного обміну в дні з туманом: а) 18 СГЧ; б) 24 СГЧ; в) 06 СГЧ; г) 12 СГЧ

то для проведення дослідження залучалися дані 4-разових упродовж доби радіозондувань станції Lindenberg (10393) з координатами 52°12'14" пн.ш., 14°06'42" сх.д., розташування якої приблизно відповідає широті Києва. Був відібраний 21 випадок радіаційних туманів в період з 01.08.2016 по 01.08.2021, які відповідали вищезазначеним умовам, з паралельним відбором даних радіозондування за 18 годин попередньої доби та 00, 06 і 12 СГЧ поточної доби, коли спостерігався туман.

За результатами розрахунків побудовані графіки залежності коефіцієнту турбулентного обміну  $k$  від товщини граничного шару атмосфери в дні з туманом за 18, 24, 06 і 12 СГЧ (рис. 2). З нього видно, що перед утворенням туману (рис. 2а) спостерігається відносно стійка залежність між висотою граничного шару і коефіцієнтом турбулентного обміну. Значення коефіцієнту турбулентного обміну коливається у межах від 0,2 до 3 м² с, в основному не перевищуючи 2,5 м² с, у той час коли висота граничного шару

не перевищує 1000 м і, в основному, коливається від 150 до 600 м (коефіцієнт кореляції  $r = 0,84$ ). Таку ж, доволі стійку залежність ( $r = 0,86$ ), можна спостерігати і на графіку, що відображає залежність між висотою граничного шару і коефіцієнтом турбулентного обміну після розсіяння туману згідно (рис. 2г). Видно, що значення коефіцієнту збільшуються і в основному варіюються в межах від 0 до 4 м<sup>2</sup> с, але максимальне значення сягає 18 м<sup>2</sup> с, а висота граничного шару не перевищує 1600 м і в основному коливається від 150 до 800 м. На рисунку 3.1б за 24 СГЧ можна спостерігати певну залежність між коефіцієнтом турбулентного обміну і висотою граничного шару ( $r = 0,58$ ), але тут варто звернути увагу на зменшення тісноти зв'язку, яка у 06 СГЧ (рис. 2в) збільшується ( $r = 0,308$ ).

Це, насамперед, пояснюється утворенням інверсійного шару в період з 18 до 24 СГЧ і подальшим збільшеннями його інтенсивності. Як видно з (1), збільшення потужності інверсійного шару, тобто збільшення від'ємного значення вертикального градієнту температури в цьому шарі, прямо пов'язано зі зменшенням значення коефіцієнту турбулентного обміну в межах цього шару. Оскільки в нічні часи (о 24 СГЧ) у всіх випадках спостерігається утворення інверсійного шару або ізотермії, а у ранкові (о 06 СГЧ) інверсія посилюється, то і розкид точок на рис. 2б і 2в відповідно збільшується.

З аналізу рис. 3, видно, що майже для всіх випадків туману різної вертикальної потужності спостерігається стабільне зменшення середнього значення коефіцієнту турбулентного обміну в нічні години і значне його збільшення вдень. Відносно рівний добовий хід  $k$  (з незначними коливаннями від 0,43 до 0,71) має місце для туманів вертикальної потужності більше 300 метрів. Мінімальні значення коефіцієнту

турбулентного обміну спостерігаються о 06 СГЧ, що пояснюється відносним збільшенням значення швидкості градієнтного вітру біля поверхні землі о 24 СГЧ і його зменшенням о 6 СГЧ. Відносно рівний хід кривої середніх значень коефіцієнту турбулентного обміну при туманах потужністю більше 300 м пояснюється незначними коливаннями градієнтного вітру та температури біля поверхні землі і збереженням інверсії після сходу Сонця при їх утворенні.

Теоретично посилення турбулентного обміну до деякої інтенсивності повинно сприяти утворенню туманів більшої вертикальної потужності. З урахуванням цього, має існувати деяка залежність між збільшенням значень коефіцієнту турбулентного обміну і вертикальної потужності шару радіаційного туману. Для цього були визначені середні значення коефіцієнту турбулентного обміну для туманів різної вертикальної потужності (рис. 4).

З нього видно, що зв'язок між збільшенням коефіцієнту турбулентного обміну  $k$  і потужністю шару туману  $H_m$  спостерігається лише до висоти 170 м, а вище за цей рівень спостерігається абсолютно зворотній зв'язок (стабільне зменшення значення коефіцієнту турбулентного обміну зі збільшенням товщини шару туману). З метою виявлення чинників, що можуть впливати на такий розподіл коефіцієнту турбулентного обміну на графік (рис. 4б) була нанесена крива залежності середніх значень швидкості вітру в шарі туману. З графіку на рис. 4б, видно, що загальний хід розподілу середніх значень швидкостей вітру в залежності від потужності шару туману в цілому повторює загальний хід коефіцієнту турбулентного обміну.

Варто зауважити, що на графіку на рис. 4б, на відміну від графіку нарис. 4а, максимальне значення середньої швидкості вітру приходить на

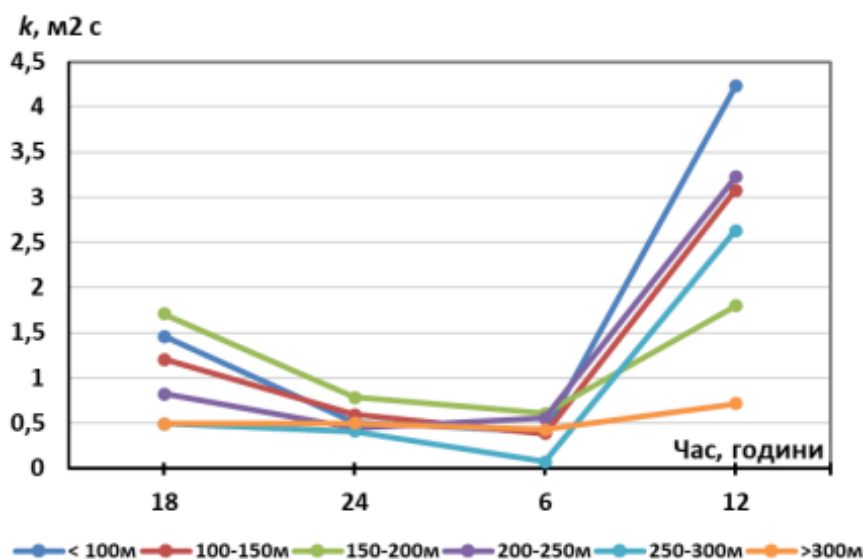


Рис. 3. Добовий хід коефіцієнту турбулентності  $k$  у дні з радіаційними туманами



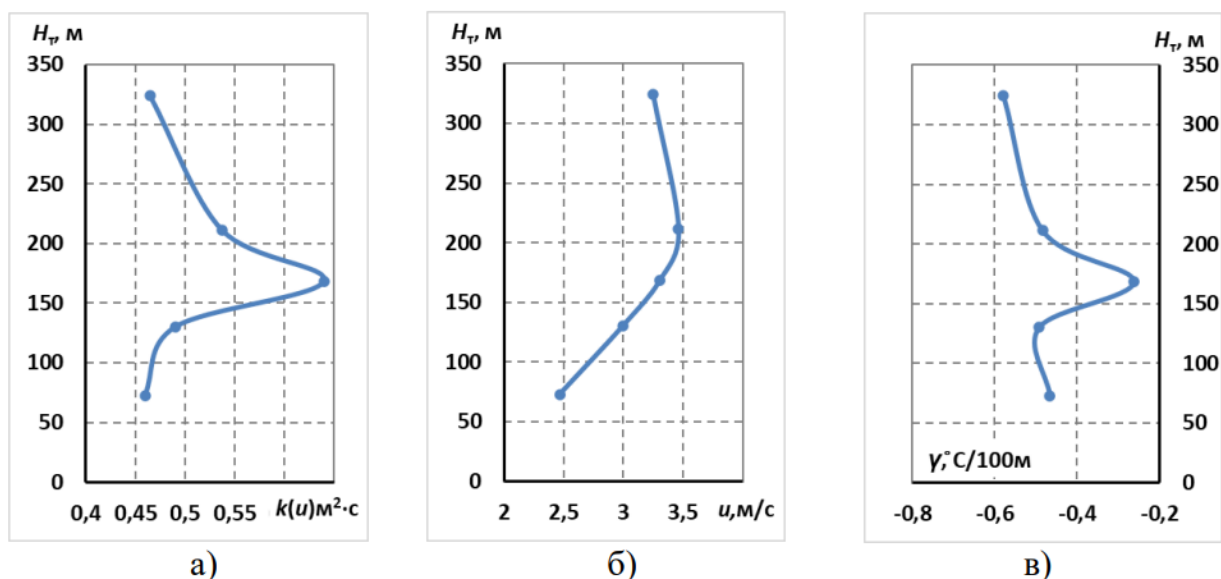


Рис. 4. Залежність вертикальної потужності радіаційних туманів  $H_m$  від: а) коефіцієнту турбулентності  $k$ ; б) середньої швидкості вітру; в) вертикального градієнту температури  $\gamma$

рівень з дещо вищими значеннями потужності шару туману (220 м), а вище за цей рівень спостерігається зниження середніх значень швидкості вітру, але не таке інтенсивне, як зниження середніх значень турбулентного обміну в цьому шарі. На графіку залежності потужності шару туману від вертикального градієнту температури (рис. 4в) спостерігається поступове збільшення від'ємних значень градієнту температури з різким його зменшенням для шару потужністю 170 м.

Аналіз (1) свідчить, що між значенням коефіцієнту турбулентного обміну і швидкістю вітру біля поверхні має спостерігатися прямопропорційна залежність, така ж як і з вертикальним градієнтом температури. Деякі відмінності у загальному ході кривих можна пояснити збільшенням або зменшенням впливу вітру і вертикального градієнту температури на величину коефіцієнту турбулентного обміну в шарах туману різної потужності. Так, в туманах з середньою потужністю шару до 130 м, спостерігається незначне збільшення значення  $k$  (рис. 4а), і у цьому ж шарі спостерігається незначне збільшення від'ємних значень градієнту температури, що мало б призвести до зниження його значень. Але цього не відбувається за рахунок збільшення у ньому швидкості вітру. При туманах з середньою потужністю шару від 130 до 170 м спостерігається різке збільшення значення  $k$ , що супроводжується одночасним збільшенням швидкості вітру і зменшенням від'ємних значень вертикального градієнту температури. А при туманах з потужністю шару більше 170 м, навпаки, спостерігається зменшення коефіцієнту турбулентного обміну при одночасному зменшенні значень швидкості вітру і збільшенні від'ємних значень градієнту температури.

Розрахунок середніх значень вертикального зсуву вітру для шарів туману різної інтенсивності представлений на рис. 5 з розмірністю  $\Delta V/\Delta z \times 10^{-1}$ . Для порівняння на графік також нанесена крива коефіцієнту турбулентного обміну для туманів різної вертикальної потужності.

Як видно з рис. 5, між середніми значеннями коефіцієнту турбулентного обміну і вертикального зсуву вітру існує чітка зворотна залежність.

Для туманів з середньою вертикальною потужністю до 170 м спостерігається збільшення коефі-

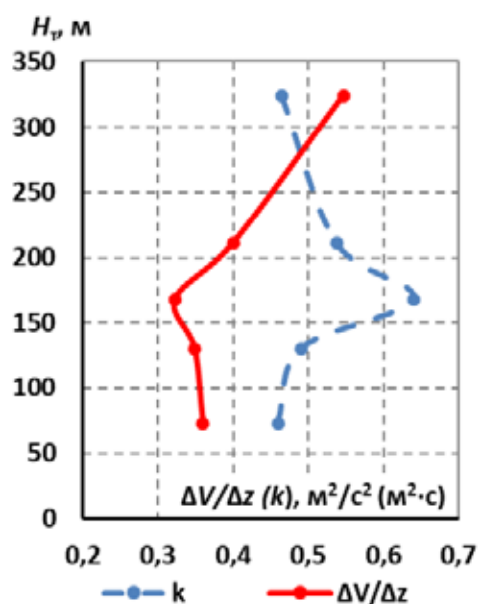


Рис. 5. Графік залежності потужності шару туману  $H_m$  від коефіцієнту турбулентного обміну  $k$  і вертикального зсуву швидкості вітру  $\Delta V/\Delta z$

цієнту турбулентного перемішування, а для туманів більшої потужності він поступово зменшується, в той час як значення вертикального зсуву вітру навпаки зменшуються до 170 м і збільшується для туманів більшої вертикальної потужності. Як було вказано вище, турбулентний обмін у підінверсійних туманах, хоча і слабкий, але все ж таки існує і його виявляється достатньо для формування туманів із середньою потужністю до 170 м, а до формування туманів більшої вертикальної потужності долучаються інші динамічні процеси, що спрямовують потоки тепла і вологи до вищих рівнів, збільшуючи вертикальну потужність шару туману.

**Висновки.** Зв'язок коефіцієнту турбулентного обміну і висоти граничного шару атмосфери, який є тісним у денні години, зникає при формуванні інверсійного шару. Для туманів, які мають вертикальну товщину до 150-170 м, характерні пікові значення у вертикальному розподілі коефіцієнту тур-

булентності, що зумовлює найбільшу інтенсивність таких туманів. Часова еволюція коефіцієнту турбулентності збігається з часовою еволюцією швидкості вітру, його зростання з висотою, найбільш характерне для інтенсивних туманів з вертикальною потужністю 130-170 м, збільшується при паралельному посиленні інверсії. Зменшення коефіцієнту турбулентності з висотою зумовлює «розбухання» шару туману і послаблення його інтенсивності.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Одержані результати дають можливість подальшого удосконалення кліматологічного блоку прогнозування туманів у прикладному програмному забезпеченні (наприклад, RAOB) шляхом внесення відповідних поправок у вітрові показники. Крім цього, отримані характеристики часової еволюції турбулентного обміну у ГША забезпечують уточнення розрахункових методів прогнозу радіаційних туманів.

### Література

1. Грушевський О.М. Атмосферне вологоперенесення у міжфронтальному просторі, збірник наукових праць Військового Інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка, 2006 р. – Вип. 2. – С. 194-198.
2. Грушевський О., Міщенко Н. Прогноз низької хмарності і туманів. Навчальний посібник. – Електронна версія, 2023. – 128 с.
3. Грушевський О.М., Ешану О.Є., Міщенко Н.М. Структура динамічних характеристик нижнього шару атмосфери при наявності низької хмарності. Український гідрометеорологічний журнал. – 2016. – № 18. – С. 48-59.
4. Bezold, W. Von, 1890, Zur Thermodynamik der Atmosphäre. Sitzber. kgl. preuss. Akad. Wiss. Berlin, 19pp.
5. Heffer, D.I.: A test of Kennington's method of forecasting the time of clearance of radiation fog. Meteorol Mag, 1965, pp. 259-264.
6. Bott, A. and T. Trautmann A new efficient forecast model of radiation fog and low-level stratiform clouds. Atmos. Res. 64, 2002, pp. 191-203.
7. K. E. Pickering and J. E. Justo, Observations of the relationship between dew and radiation fog, Journal of Geophysical Research Oceans, vol. 83, no. C5, 1978, pp. 2430-2436.
8. Craddock, J.M., Prichard D.L., 1951: Forecasting the formation of radiation fog – a preliminary approach. Met. Res. Pap. No. 624.
9. Dejmal, K., Repal, V. Implementation of methods for the radiation fog prediction. – International Journal of Energy and Environment. – 2010. – Vol. 4, No. 3. – pp. 79-87.
10. Duynkerke: Turbulence, Radiation and fog in Dutch Stable boundary layer Boundary-Layer Meteorology, 90, 1998, pp. 447-477.
11. Fleagle, R. G., Parrot, W. H. And Barad, M. L., Theory and effects of vertical temperature distribution in turbid air. J. Meteor., 1952, pp. 53-60.
12. Hansen, B.: A fuzzy logic-based analog forecasting system for ceiling and visibility, Weather and Forecasting, 2007, 1319-1330

# ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 502.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.25>

## МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ НАЦІОНАЛЬНИХ ПАРКІВ В УМОВАХ КОМПЛЕКСНОГО ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ<sup>1</sup>

Бабенко В.М., Новожилова Т.Б., Крючкова В.В., Нечипоренко Д.І., Ліфер В.Є.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

[volodymyr.babenko@khpi.edu.ua](mailto:volodymyr.babenko@khpi.edu.ua)

У роботі розглянуто та проаналізовано дані по стану ґрунтів що піддалися впливу військових дій на прикладі національного природного парку (НПП) розташованого на північному сході України в Харківській області. Аналіз проводився починаючи з зими 2022 року, коли з'явилась реальна можливість повернутись до моніторингу на території, які в осені 2022 року повернулись під контроль України. Дослідження проводились за допомогою співробітників національного парку та студентки, що навчається в НТУ «ХПІ» на кафедрі хімічної техніки та промислової екології. Проведення дослідження стали можливі тільки після часткового розмінування шляхів та за допомогою людини, що народилась в Слов'янському районі Донецької області.

Попередні моніторингові дослідження дозволили обрати середньостатистичну територію з характерними рисами впливу на ґрунти в національному парку. В рамках дослідження вперше доведено критично великий вміст нехарактерних, для ґрунтів досліджуваного регіону, хімічних з'єднань неорганічних та органічних сполук.

Аналіз даних, які було отримано в ході досліджень, дозволив виявити концентрацію з'єднань міді, цинку та азоту в перерахунок на нітрати ( $\text{NO}_3^-$ ), що суттєво перевищує нормативи ГДК в ґрунтах та в річці Сіверський Донець, навіть після двох років після припинення на цій території повномасштабних бойових дій у листопаді 2022 року.

Серед купи зовнішніх чинників, які постійно впливають на НПП, таких як промислові викиди з підприємств, виробництво аграрної продукції та просте антропогенне туристичне втручання, з березня 2022 року додалось повномасштабне військове вторгнення. Цей останній фактор суттєво вплинув на всі екосистеми НПП, де вперше почала страждати рослинність, дерева та трава від пожеж та прямої військової дії, а вже наприкінці весни 2022 року всі наслідки війни потрапили в ґрунти та частково в річку Сіверський Донець. Унікальна для сходу України історична територія потрапила під надмірне навантаження, при якому руйнація екосистем проходила по всіх рівнях, починаючи з лісових пожеж, механічної руйнації ґрунтового покриву, змін в хімічній концентрації річкової води та атмосферного повітря.

Отримані, в результаті моніторингового дослідження ґрунтів дані, можуть бути використані при плануванні відновлювальних заходів, як для досліджуваного НПП, так і для інших природних парків, малих та великих за площею рекреаційних територій, наявність яких забезпечує людину необхідними природними ресурсами та підтримує біологічне різноманіття. *Ключові слова:* моніторинг навколишнього середовища, ґрунти, комплексний вплив військових дій, національний природний парк, екосистеми, забруднення довкілля.

**Monitoring of the soils of national parks under the conditions of complex influence of military actions. Babenko V., Novozhilova T., Kryuchkova V., Nechiporenko D., Lifer V.**

The work reviews and analyzes data on the state of soils affected by military actions using the example of a national natural park (NNP) located in the north-east of Ukraine in the Kharkiv region. The analysis was conducted starting in the winter of 2022, when there was a real opportunity to return to monitoring in the territories that returned to the control of Ukraine in the fall of 2022. The research was conducted with the help of national park employees and a student studying at NTU "KhPI" at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology. The research became possible only after the roads were partially demined and with the help of a person born in the Slavyansk district of the Donetsk region.

Previous monitoring studies allowed us to select an average statistical area with characteristic features of the impact on soils in the national park. The study first proved a critically high content of uncharacteristic, for the soils of the study region, chemical compounds of inorganic and organic compounds.

Analysis of the data obtained during the research revealed concentrations of copper, zinc and nitrogen compounds in terms of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), which significantly exceed the MPC standards in soils and in the Siverskyi Donets River, even two years after the cessation of full-scale hostilities in this territory in November 2022.

Among the pile of external factors that constantly affect the NNP, such as industrial emissions from enterprises, agricultural production and simple anthropogenic tourist interference, a full-scale military invasion was added in March 2022. This last factor significantly affected all ecosystems of the National Park, where vegetation, trees, and grass first began to suffer from fires and direct military action. By the end of spring 2022, all the consequences of the war had entered the soil and partially the Siverskyi Donets River. The historical territory, unique to eastern Ukraine, came under excessive load, in which the destruction of ecosystems occurred at all

<sup>1</sup> Збір даних щодо складу та якісної оцінки твердого фракції ґрунтів та поверхневої річкової води у різних частинах НПП виконувались, в тому числі, студентами кафедри хімічна техніка та промислова екологія НТУ «ХПІ» в якості складової наукової роботи студентів у період з 2023/2024 навч. рік по 2024/2025 навч. рік.

levels, starting with forest fires, mechanical destruction of the soil cover, and changes in the chemical concentration of river water and atmospheric air.

The data obtained as a result of soil monitoring can be used in planning restoration measures, both for the researched NNP and for other natural parks, small and large recreational areas, the presence of which provides humans with the necessary natural resources and supports biological diversity. *Key words:* environmental monitoring, soils, complex impact of military actions, national natural parks, ecosystems, environmental pollution.

**Постановка проблеми.** Екологічний стан НПП є важливою і необхідною складовою в моніторингу навколишнього середовища, його невід'ємною частиною серед головних трьох складових, а саме фоновому моніторингу, який проводиться на територіях де заборонена практично вся господарська діяльність. Для розуміння та розрахунків антропогенного навантаження потрібно знати кількісний та якісний склад компонентів ґрунту, їх фонові або природні значення, відсотковий склад мінеральних компонентів та нехарактерних хімічних сполук присутніх в верхніх шарах ґрунтів на територіях де заборонена усіляка промислова та сільськогосподарська діяльність.

**Актуальність дослідження.** Національні природні парки, заповідники та заказники є невід'ємною частиною природного фонду збереження дикої природи України. Якість ґрунтів є запорукою сталого існування всього біологічного комплексу НПП. Отримання своєчасних і актуальних даних про якісний та кількісний стан ґрунтів неможливий без моніторингових досліджень на місцевості, а в умовах військових дій він стає набагато складнішим за рахунок невиявлених вибухових пристроїв, але без цього першого кроку неможливо робити подальші дії у відновленні та зберіганні унікальних природних ресурсів.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема дослідження відповідає «Цілі сталого розвитку: Україна» [1, с. 110], де прописано, що 40% площі країни належать до території екологічної мережі. Необхідність забезпечення збереження, відновлення та сталого використання наземних і внутрішніх прісноводних екосистем, стале управління лісами, саме ці завдання закріплені у Національній доповіді по сталому управлінню лісами в Україні [1, с. 108].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для розробки планів щодо відновлення НПП до стану в якому він знаходився до повномасштабного вторгнення, було досліджено стан ґрунтів та води в Національному парку «Святі гори». Перші дослідження, в історичній та парковій зоні, розпочались з часів його утворення в 1997 році [2]. Як показує практика, у багатьох НПП є як схожі, так і від'ємні риси, але головною відмінністю природних парків, що розташовуються в східних областях України є факт комплексного впливу на них військових дій [3]. Для отримання актуальної інформації по впливу на стан довкілля від військових дій на сьогодні створено мапу руйнувань та пожеж. Повний комплекс

втручань від військових дій, на територіях природних парків, навіть на сьогодні, не достатньо досліджено по причинах що частина земель не пройшла розмінування. На території парку є суттєві руйнування культурної спадщини, прямі потрапляння артилерійських і мінометних снарядів, авіабомб та іншої вибухової речовини що містить в собі з'єднання свинцю, азоту, вуглеводні сполуки, марганцю, фосфору, міді, барію, нікелю, цинку та інших. Проте, як зазначають автори дослідження [4, с. 318], для природних парків зверталась більша увага на розвиток екологічного туризму, на розвиток інфраструктури, а не на дослідження біологічного різноманіття НПП та можливості рекреаційних територій. Аспект дослідження лісового й лугового стану, річкових систем та ґрунтів відкладався по різними причинами і тепер без цього складно та практично неможливо проводити не просто поверхневі, а більш глибокі дослідження НПП в Україні.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Після аналізу публікацій стає зрозумілим, що відношення до НПП в Україні має дещо перекошений характер. З однієї сторони є гарний потенціал вивчення природних зон для туризму та відпочинку, а з іншої сторони суттєво не вистачає інформації по стану ґрунтів, біологічному лісовому різноманіттю та стану водних об'єктів.

**Новизна.** Вперше досліджено, за допомогою студентів другого рівня навчання та співробітників НПП, стан ґрунтів після комплексного впливу на них військових дій, проведено моніторинг пожеж та руйнації об'єктів на території парку та їх зв'язок зі станом ґрунту.

**методологічне або загальнонаукове значення.** У даній роботі використовували метод натурного експерименту та ваговий метод з використанням електронних аналітичних ваг ТМ AXIS моделі ANZ160C.

**Викладення основного матеріалу.** Ґрунти є базовою основою всього біологічного різноманіття суходолу, їх загальні властивості визначають не тільки продуктивність сільського господарства, а і комфортність існування людини. Мінеральна фракція ґрунту визначає їх фізико-хімічні властивості [5, с. 16–22], твердість, кислотно-лужний показник, можливості утримувати в собі воду та інші. Хоча в Харківській та Донецької областях ґрунти й достатньо схожі, але є й відмінності, а саме як приклад, на території НПП «Святі гори» де річка утворила собі русло, а береги мають суттєву різницю. Сіверський донець в цьому

місті огинає великий пагорб, який складається з карбонатних крейдових порід з суттєво враженими берегами, пологими північними й східними та високими південним й південно-західним схилами. Це й зумовлює суттєву різницю в ґрунтах і якщо мінеральний та морфологічний склад верхнього шару пологих берегів достатньо вивчався, то ґрунти паркової зони лісу та крутих схилів було обійдене стороною, а саме там розташовується більша частина НПП яка потрапила під вплив військових дій.

На першому етапі дослідження було зібрано загально доступну інформацію про утворення верхнього шару порід степових та лісостепових територій, що зумовлено меншою кількістю опадів в цієї частині України.

На другому етапі було досліджено динаміку змін неоднорідності ґрунтів, що обумовлено впливом зовнішніх факторів, а саме військовими діями у межах лісостепової зони. Згідно удосконаленої схеми фізико-географічного районування степової зони України, в даному дослідженні нам цікава одна з трьох зон, а саме Донецький край, де й знаходиться НПП. Суттєва різниця верхнього шару в складу ґрунтів пояснюється їх утворенням, водною та вітровою ерозією та алювіальними річковими наносами. В низинах, поруч з річковими наносами переважають потужні чорноземи з високим вмістом гумусу, а на пагорбах, на ущільнених силікатних та карбонатних породах розташовуються каштанові ґрунти. Діагностичною ознакою каштанових ґрунтів є чітка диференціація профілю за елювіально-ілювіальним типом, яка діагностується як морфологічно, так і за результатами гранулометричного аналізу. Елювіальний профіль, за морфологічними ознаками діагностується тільки в цілих непошкоджених ґрунтах саме які зустрічаються в НПП, а на сільськогосподарське освоєних територіях присутній тільки у вигляді слабо помітного шару з  $SiO_2$  у вигляді довгих структурних пластів, що залягають на глибинах нижче 50–60 см [5, с. 58; 6, с. 52].

Потужність гумусової частини, у верхніх шарах на пагорбах, у темно-каштанових ґрунтах становить 50–60 см. Карбонати та з'єднання легкорозчинних солей знаходяться на глибинах 150–200 см, а вміст в них гумусу не перевищує 3%. Для каштанових ґрунтів гумусова складова знаходиться на глибині до 40–50 см, а вміст гумусу в неї менший ніж в темно-каштанових ґрунтах і за підрахунками практично в 2 рази менший та знаходиться на рівні 1,5%, та рідше до 2,5%. Карбонати та з'єднання легкорозчинних солей залягають на глибинах 70–120 см. Практично доведено, що такі ґрунти характеризуються малим співвідношенням між з'єднанням кальцієм і магнієм, а ще досить малим вмістом катіонів, менше 5% суми по натрію, для верхніх горизонтів шарів ґрунту. Хімічна, за вмістом хлориду натрію, підвищена солоність спостерігається на території НПП лише в межах старих річкових системах оса-

дного ілювіальних карбонатних пластів. І остання особливість каштанових ґрунтів на півдні та сході України, це те що вміст гумусу у верхньому горизонті практично завжди на 10 та навіть 30% менше, але при наявності в пухкої мінеральної складової, він більш рівномірно розподіляється вглибину, практично до 120–150 см в глиб профілю. До цієї особливості додається факт збільшення катіонів, де вміст кальцію в 1,2–1,6 рази перевершує вміст натрію, що позитивно діє на швидкість росту окремих порід листяних дерев. Загалом, мінералізація ґрунтових вод, сам тип водного режиму цих територій, характерні пагорби, яри та долини мікрорельєфу зумовили формування солонців на каштанових ґрунтах, в так званих сухих балках, де вода з'являється тільки навесні. Солонці невеликими «плямами» зазвичай залягають в низині балок на лугових територіях з каштановими ґрунтами, таке ж явище спостерігається і на півночі Харківської області де потужність «важкого» чорнозему місцями сягає 120–150 см.

Аналіз вищевикладених даних лише підтверджує прогнозовану вразливість таких ґрунтів до втручання нехарактерних з'єднань, особливо у вигляді слабо водорозчинних сполук важких металів, які вимиваються опадами дуже повільно, «застряють» на роки та утворюють нерозчинні у воді сполуки з такими хімічними елементами (табл. 1).

Такі висновки підтверджуються дослідженнями складу річкової води де спостерігається перевищення вмісту по свинцю, міді, цинку, кадмію, іонів з'єднань азоту (табл. 1) та ґрунтів півдня та південного сходу України [6, с. 58].

На сьогодні достовірно відомо і є візуальні підтвердження про застосування РФ різноманітної зброї з вмістом отруйних хімічних речовин (рис. 1), в 2022 році було зроблено фото та відео зйомку такого застосування в Харківській області.

Кількісний аналіз складу води, який було надано співробітниками НПП, підтверджує, що попри практично непрацюючу промисловість цієї частини регіону в поверхневих водах присутні з'єднання  $Pb$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Cd$  та іонів  $NO_2^-$ . Наявність з'єднань важких металів, кількість яких ґрунтах на території НПП та в річкової води, при проведенні моніторингових досліджень в 2024 році, була вище екологічних нормативів тільки підтверджує негативний вплив на цей регіон. При моніторингових дослідженнях підтверджується факт того, що кількість мінеральної складової сполук с вмістом важких металів, збільшується після весняних та осінніх дощів, коли підвищується вимивання верхнього шару ґрунту. В 2024 році немає можливості досліджувати повністю всю територію національного природного парку, тому данні по вимиванню ґрунтів збирались в осінній та весняний періоди. На сьогодні спостереженнями та результатами аналізу доведено, що при військових діях частина отруйних речовин потрапляє в ґрунти, локально руйнує біосферу та, як свідчать резуль-

Таблиця 1

## Дослідження параметрів річки Сіверський Донець в районі НПП у жовтні 2024 року

| Пара-<br>метри | Показники                                                   |                             | Стан                                                                                                  | Екологічні нормативи<br>якості води |
|----------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Фізичні        | Колір                                                       |                             | Сіруватий                                                                                             | Світлий або слабо-жовтий відтінок   |
|                | Запах                                                       |                             | Ледь помітний металевий, але завдяки холодній погоді та дощу, характерного різкого запаху не виявлено | Не має різкого запаху, свіжий       |
|                | Температура                                                 |                             | 3,4°C                                                                                                 | 3°C                                 |
|                | Прозорість                                                  |                             | Каламутна                                                                                             | Прозора                             |
| Хімічні        | <i>pH</i>                                                   |                             | 8,8                                                                                                   | 6,5–8,5                             |
|                | Солоність                                                   |                             | 0,8 г/л                                                                                               | 0,5г/л                              |
|                | Токсичні елементи, які можуть бути викликані бойовими діями | Свинець ( <i>Pb</i> )       | 0,015                                                                                                 | ≤ 0,01                              |
|                |                                                             | Мідь ( <i>Cu</i> )          | 1,6                                                                                                   | ≤ 1,0                               |
|                |                                                             | Цинк ( <i>Zn</i> )          | 6,2                                                                                                   | ≤ 5,0                               |
|                |                                                             | Кадмій ( <i>Cd</i> )        | 0,0031                                                                                                | ≤ 0,003                             |
|                |                                                             | Ртуть ( <i>Hg</i> )         | 0,0005                                                                                                | ≤ 0,0005                            |
|                | Твердість (жорсткість)                                      |                             | 6,5 ммоль/л                                                                                           | 1,5–4,0 ммоль/л                     |
|                | Азотні сполуки                                              | Нітрити ( $NO_2^-$ )        | 0,01 мг/л                                                                                             | ≤ 0,02 мг/л                         |
|                |                                                             | Нітрати ( $NO_3^-$ )        | 48 мг/л                                                                                               | ≤ 45 мг/л.                          |
|                |                                                             | Амонійний азот ( $NH_4^+$ ) | 0,7                                                                                                   | ≤ 0,5 мг/л                          |



Рис. 1. Хмара дуже небезпечного хімічного з'єднання, оксиду азоту з характерною назвою: «лисячий хвіст» – через свій колір

тати, ще протягом наступних років поступово вимивається опадами й фіксується не тільки в ґрунтах, а і в поверхневих річкових водах. Саме цим пояснюється збільшення кількості іонів  $NO_2^-$  у 2 рази в зразках води.

Моніторингові спостереження підтверджують, що комплексний вплив військових дій на НПП в Україні, став головним чинником завдяки якому якість ґрунтів, особливо це стосується місць проведення повномасштабних військових операцій,

суттєво погіршилась вже влітку, в 2022 році. Значна частина територій, а це фактично 174 тис. км<sup>2</sup> на березень 2024 року залишається замінованою [7], цей факт підтверджено в офіційних доповідях, а без проведеного розмінування ні наукові дослідження та ніяка господарська діяльність, без ризику для життя, неможлива. Тому, на сьогоднішній день, можна зробити тільки попередні прогнози, оптимістичний та песимістичний, по стану пошкодження ґрунтів на територіях НПП в Україні.

**Головні висновки.** Повномасштабні військові дії, під які потрапили території НПП є головними чинниками якісних змін поверхневого шару ґрунту. Наявність підвищеного рівня сполук важких металів, в порівнянні з їх кількістю в 2019–2021 роках, пояснюється саме комплексним впливом військових дій, а саме: прямим влучанням усіх типів боєприпасів та вибухівки, застосуванням отруйних хімічних речовин, мінування територій, пожежами всіх типів житлових і промислових об'єктів та лісових й лугових територій, потраплянням паливних та мастильних матеріалів в біосистеми і нарешті просто загибель від усіх перерахованих впливів людей, тварин та птиці. Позитивною тенденцією є зменшення кількості замінованих територій завдяки підтримки

міжнародних організацій, але потрібно розуміти, що ця частка складає лише 1–2% від загальної площі областей які потрібно досліджувати.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Моніторингові дослідження, що проводились на території НПП та в прилеглих до нього територіях, надають статистичний об'єм інформації, який подалі буде використовуватись в дослідженнях по комплексному впливу військових дій на ґрунти. Отримані в роботі данні будуть використані як у навчальному процесі, при викладанні матеріалу дисципліни Моніторинг довкілля, так і в подальших дослідженнях для шляхів по використанню та відновленню земельних ресурсів після закінченню військових дій на всій території України.

### Література

1. 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: 10.12.2024)
2. Указ президента України «Про створення національного природного парку «Святі Гори» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/135/97#Text> (Із змінами, внесеними згідно з Указом Президента № 57/2010 (57/2010) від 22.01.2010)
3. Війна в Україні: створено мапу руйнувань, заподіяних Росією. Read more at: URL: [https://ua.igotoworld.com/ua/article/1482\\_viina-v-ukrajini-stvoreno-mapu-ruinuvan-zapodijanih-rosijeyu.htm](https://ua.igotoworld.com/ua/article/1482_viina-v-ukrajini-stvoreno-mapu-ruinuvan-zapodijanih-rosijeyu.htm)
4. Лариса Теодорович *Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2013. Вип. 41. С. 318–330.*
5. *Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник / Л. М. Шутенко, О. Г. Рудь, О. В. Кічаєва та ін. ; за ред. Л. М. Шутенка ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 563 с.*
6. Паньків З. П. Ґрунти України: навчально-методичний посібник / З. П. Паньків. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2017. 112 с.
7. В Україні заміновано близько 174 тисячі кв. км території, значна частина якої – аграрні угіддя, Марчук. URL: <https://hromadske.radio/news/2024/03/05/v-ukraini-zaminovano-blyzko-174-tysiachi-kv-km-terytorii-znachna-chastyna-iakoi-aharni-uhiddia-marchuk>



## ДІЄВІ АЛГОРИТМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕКОЛОГІЧНОМУ МОНІТОРИНГОВІ

Стасевич С.П., Махняк А.Я.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів

[serhiy.p.stasevych@lpnu.ua](mailto:serhiy.p.stasevych@lpnu.ua), [andrii.y.makhniak@lpnu.ua](mailto:andrii.y.makhniak@lpnu.ua)

Сучасний світ став зовсім іншим, відмінним від усіх попередніх епох розвитку людства. Прийдешня цифровізація світової економіки перебудовує всі механізми взаємодії між людьми і державами: змінюються принципи спілкування людей, торгівлі та укладання угод. Бізнес, щоб залишатися конкурентоспроможним і зберегтися у майбутньому, змушений маневрувати дуже швидко, освоювати нові можливості на ринках, особливо на цифровому.

Сучасний смартфон дозволяє проводити спілкування людей у режимі реального часу «будь-де, будь-коли і завжди» з усіма частинами світу. Мобільні технології стали рушійною силою появи нових інноваційних моделей роботи фінансових організацій в цифровому середовищі. Новий напрямок роботи в цифровому середовищі називається фінтех (фінансові технології, англ. FinTech) – технології, що включають програмне забезпечення, додатки, процеси та бізнес-моделі. Людство перетворило смартфон на ще розумніший пристрій – на апарат для укладання угод: ми здатні здійснювати транзакції і торгувати один з одним у режимі реального часу, віч-на-віч, 24 на 7.

Останнім часом говорять про нові інноваційні тенденції, що несуть світовій економіці сучасні інформаційно-комунікаційні технології: «Smart», «Digital Factory» та «Digitalization». Звідси й походить назва «Цифрова економіка», яка об'єднує багато інноваційних технологій: Інтернет речей, великі дані, хмарні обчислення, віддалений та мобільний доступ, бездротовий зв'язок, 3D друк тощо.

Глобальна інформатизація суспільства у всіх сферах суспільного життя та бурхливий розвиток інформаційно-комунікаційних систем формують єдиний світовий інформаційний простір, збільшуючи доступність користувачів до загальних інформаційно-обчислювальних ресурсів серверів, сховищ, мережі, додатків та інших хмарних послуг (cloud computing).

Штучний інтелект (ШІ, англ. Artificial Intelligence, AI) є провідною технологією сучасної епохи Четвертої промислової революції [1] (Індустрія 4.0 або 4IR, англ. The Fourth Industrial Revolution – Industry 4.0, нім. Industrie 4.0). Штучний інтелект здатний включати людську поведінку та інтелект у машини чи системи. Таким чином, моделювання на основі штучного інтелекту є ключем до побудови автоматизованих, інтелектуальних та розумних систем відповідно до потреб сьогодення. Для вирішення реальних проблем можуть застосовуватися різні типи штучного інтелекту, такі як аналітичний, функціональний, інтерактивний, текстовий і візуальний ШІ, для підвищення інтелекту та можливостей програми. *Ключові слова:* штучний інтелект, моделі штучного інтелекту, моніторинг навколишнього середовища, довкілля, переваги використання штучного інтелекту, недоліки використання штучного інтелекту.

### **Effective artificial intelligence algorithms in environmental monitoring. Stasevych S., Makhniak A.**

The modern world has become entirely different, distinct from all previous eras of human development. The impending digitalization of the global economy is reshaping all mechanisms of interaction between people and states: the principles of human communication, trade, and agreements are changing. To remain competitive and survive in the future, businesses are forced to maneuver very quickly, mastering new opportunities in markets, especially in the digital one.

The modern smartphone allows people to communicate in real-time “anywhere, anytime, and always” with all parts of the world. Mobile technologies have become the driving force behind the emergence of new innovative business models for financial organizations in the digital environment. This new direction of work in the digital environment is called FinTech (Financial Technology) – technologies that include software, applications, processes, and business models. Humanity has transformed the smartphone into an even smarter device – an apparatus for making deals: we are capable of conducting transactions and trading with each other in real-time, face-to-face, 24/7.

Recently, there has been talk about new innovative trends that modern information and communication technologies are bringing to the global economy: “Smart,” “Digital Factory,” and “Digitalization.” Hence the name “Digital Economy,” which combines many innovative technologies: the Internet of Things, big data, cloud computing, remote and mobile access, wireless communication, 3D printing, and more.

The global informatization of society in all spheres of public life and the rapid development of information and communication systems are forming a unified global information space, increasing users' access to common information and computing resources of servers, storage, networks, applications, and other cloud services (cloud computing).

Artificial Intelligence (AI) is the leading technology of the modern era of the Fourth Industrial Revolution [1] (Industry 4.0 or 4IR). Artificial intelligence is capable of incorporating human behavior and intelligence into machines or systems. Thus, AI-based modeling is key to building automated, intelligent, and smart systems according to today's needs. Various types of AI, such as analytical, functional, interactive, textual, and visual AI, can be used to solve real-world problems and enhance the intelligence and capabilities of applications. *Key words:* artificial intelligence, artificial intelligence models, environmental monitoring, environment, advantages of using artificial intelligence, disadvantages of using artificial intelligence.

**Постановка проблеми.** Штучний інтелект став важливою інтеграцією в зусилля з моніторингу навколишнього середовища, спрямованих на підвищення об'єктивності результатів і поліпшення доступності для регіонів, які страждають від обмежених ресурсів. Він дозволяє аналізувати великі набори даних, що є корисним для виявлення закономірностей і здійснення точних прогнозів. Можливості штучного інтелекту використовуються для вирішення різноманітних завдань у сфері моніторингу навколишнього середовища, серед яких – прогнозування природних катаклізмів, контроль за станом повітря, води, ґрунту, а також виявлення і контроль за концентрацією забруднюючих речовин.

**Актуальність дослідження.** Процес екологічного моніторингу передбачає систематичні спостереження, методичні вимірювання та постійну оцінку природного середовища та всіх його компонентів. Моніторинг поточного стану навколишнього середовища та виявлення будь-яких змін, які можуть бути шкідливими для екосистеми або здоров'я населення, є його основною метою.

Статистичний аналіз, лабораторний аналіз та ручний відбір проб є типовими методами, що використовуються для моніторингу стану навколишнього середовища. Основними проблемами традиційних методів екологічного моніторингу є їх висока вартість, тривалість та низька точність. Ці фактори значно обмежують їх ефективність. Вартість використання цих процедур є однією з найбільших перешкод. Витрати, пов'язані з ручним відбором проб і лабораторним аналізом є доволі високі, вони включають працю кваліфікованих працівників, обладнання та хімікати. Як наслідок, програми екологічного моніторингу часто мають вузьку спрямованість, використовують невеликі розміри вибірок і не дають повної картини стану навколишнього середовища. Через тривалий процес ручного відбору проб та лабораторного аналізу, рішення та реагування на надзвичайні ситуації (стихійні лиха, кризи забруднення) можуть бути значно відкладені. Окрім цього, суб'єктивність спостереження людини та її потенційна помилка обмежують точність традиційних методів моніторингу навколишнього середовища [2]. Через людський фактор, ручний відбір проб та лабораторний аналіз може призводити до помилок та неточностей у зборі та обробці даних.

Використання передових технологій і наявність належним чином підготовленого технічного персоналу, необхідного для точного моніторингу навколишнього середовища, часто перешкоджають обмеженням у фінансуванні та дефіцитом кваліфікованих спеціалістів. Отже, забезпечення регулярного моніторингу стає важким завданням, особливо в регіонах з обмеженими ресурсами. І це особливо помітно в областях, де бракує технологічної інфраструктури та досвіду [3].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Застосування інноваційних методологій з використанням дієвих алгоритмів штучного інтелекту у моніторингу навколишнього середовища дозволяє розробити ефективну систему управління екологічною безпекою у державі. Особливо це стає актуальним для приведення докільця, постраждалого від воєнних дій, до нормованого стану у відповідності до європейських та світових норм.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вибираючи модель штучного інтелекту для моніторингу навколишнього середовища, важливо враховувати такі фактори, як доступність і актуальність даних, обчислювальні ресурси та експертиза. Деякі моделі штучного інтелекту потребують великих даних та потужного обладнання, тоді як інші можуть працювати з меншими обсягами даних та меншими обчислювальними витратами.

*Метод опорних векторів* (SVMs, від англ. Support Vector Machine) добре підходить для обробки великих даних і вивчення складних взаємозв'язків між змінними, його можна використовувати з різними типами даних, включаючи зображення та текст. Наприклад, SVMs ефективно використовуються для завдань класифікації зображень, таких як виявлення вирубки лісів та ідентифікації дикої природи [4].

*Метод опорно-векторної регресії* (ОВР, SVR, від англ. Support Vector Regression) варіант SVM, використовується для задач регресії в екологічному моніторингу, пропонуючи ефективне рішення для прогнозування параметрів екологічного контролю [5].

*Метод дерева рішень* (Decision tree) відносно простий у навчанні та інтерпретації, що робить його доступним для різних типів даних. Цей метод зазвичай використовується для таких завдань, як виявлення та моніторинг вирубки лісів, моніторинг якості повітря та якості води. Одним із недоліків дерева рішень є їхня схильність до перенавчання, особливо на зашумлених даних. Через цей метод не є найкращим вибором для завдань, де потрібно здійснювати розпізнавання зображень чи аналізувати текст.

*Випадкові ліси* (Random Forest) – цей метод машинного навчання відноситься до так званих ансамблевих методів. Він базується на об'єднанні великої кількості слабких моделей (в даному випадку – дерева рішень) в єдину модель з кращими прогностичними властивостями. Ці моделі більш стійкі до перенавчання, ніж окремі дерева рішень, і можуть обробляти різні типи даних, включаючи зображення та текст [6]. Випадкові ліси зазвичай використовуються для класифікації зображень, обробки тексту та завдань прогнозування часових рядів у екологічному моніторингу. Незважаючи на свою надійність, випадкові ліси можуть вимагати значного обсягу пам'яті та обчислювальної потужності.

*Рекурентні нейронні мережі* (RNNs, від англ. Recurrent Neural Networks) – це вид штучних нейронних мереж, який спеціалізується на обробці послідовних даних, таких як текст, мова, часові ряди тощо. RNNs здатні виявляти довгострокові зв'язки в даних, що робить їх цінними інструментами для прогнозування екстремальних погодних явищ та отримання інформації з екологічних документів. Навчання RNNs може займати багато часу та потребувати значних обчислювальних ресурсів. Також ця модель має проблеми з навчанням довгих послідовностей через зникаючий градієнт. Це означає, що мережа може «забувати» попередні дані, що ускладнює навчання.

*Згорткові нейронні мережі* (CNNs or ConvNet, від англ. Convolutional Neural Networks) добре підходять для класифікації зображень і завдань, пов'язаних з просторовими даними. CNNs можуть вивчати складні шаблони із зображень без явного програмування, що робить їх ідеальними для виявлення вирубки лісів та ідентифікації дикої природи [7]. Навчання даної моделі вимагає багато часу та потребує значних обчислювальних ресурсів, особливо для великих моделей та великих наборів даних. Дана модель потребує великої кількості даних для складних завдань, що при недостатній їх кількості може призводити до перенавчання та погано працювати на нових прикладах. Навчання моделей CNNs може бути ускладненим через відсутність анотованих наборів даних для візуального розпізнавання. Моделі попереднього навчання з використанням даних зі схожих доменів можуть пом'якшити цю проблему [8].

*Гібридні моделі*, що інтегрують найкращі аспекти машинного та глибокого навчання, характеризуються високою точністю та надійністю. За допомогою цих моделей успішно вирішуються завдання моніторингу навколишнього середовища, що характеризуються складними нелінійними залежностями між різними параметрами. Хоча гібридні моделі можуть бути складнішими в навчанні та інтерпретації, вони забезпечують чудову продуктивність для задач екологічного моніторингу де ціна помилки є надто висока.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** У теперішній час навколишнє середовище України перебуває не тільки під впливом антропогенного навантаження, але й від пагубних наслідків воєнних дій Росії., що піддає руйнації промислові та інфраструктурні об'єкти, що значно забруднює довкілля внаслідок їх ушкоджень та руйнації.

Вибір правильної моделі штучного інтелекту для конкретного екологічного завдання є критично важливим, адже кожна з них має свої сильні та слабкі сторін. SVMs та SVR ефективні для завдань з великими даними та регресією, але можуть бути економічно недоцільними через витрати на обчис-

лювальні потужності. Дерева рішень прості та інтерпретовані, але схильні до перенавчання. Випадкові ліси вирізняються надійністю та універсальністю, але їх використання потребує значних обчислювальних ресурсів. CNNs є ідеальними для обробки зображень, проте їх ефективність залежить від великих обсягів мічених даних та значної обчислювальної потужності. RNNs, в свою чергу, добре працюють з послідовними даними, але також потребують значних обчислювальних ресурсів та складної архітектури системи. Гібридні моделі забезпечують найвищу точність і надійність, але їх складно тренувати та інтерпретувати. Тому необхідно обґрунтовано вибирати правильну модель штучного інтелекту для вирішення конкретної екологічної задачі.

**Новизна.** Дослідження пропонує аналіз основних алгоритмів штучного інтелекту, що використовуються для побудови моделей екологічного моніторингу навколишнього середовища (ґрунтів, якості повітря та води, прогнозуванні стихійних лих тощо). Розглядаються переваги і недоліки використання штучного інтелекту у різних видах екологічного моніторингу.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Застосування сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій у моделях штучного інтелекту значно прискорює і оптимізує процеси автоматизації отримання, обробки, зберігання та візуалізації екологічної інформації.

**Викладення основного матеріалу.** Варто визнати, що разом із численними перевагами у сфері штучного інтелекту для моніторингу навколишнього середовища, існує і кілька суттєвих недоліків і проблем. Потрібно завжди пам'ятати про актуальність даних, які є доречними для відповідальної та обґрунтованої розробки моделей ШІ.

*Залежність від кількості та якості вхідних даних.* Через недостатність або упередженість даних, модель може показувати низьку продуктивність чи виділятися алгоритмічною упередженістю. До прикладу модель ШІ для моніторингу якості повітря, навчена на даних з міських районів, може виявитися неефективною в сільській місцевості через відмінності в умовах, це може призвести до неточних прогнозів та прийняттю шкідливих рішень [9, 10].

*Ресурсомісткість.* Значні обчислювальні витрати, необхідні для навчання та запуску складних моделей ШІ, можуть стати бар'єром для розвитку та впровадження технологій штучного інтелекту. Це в першу чергу актуально для невеликих організацій та країн, що розвиваються. Ця диспропорція може посилити існуючу нерівність. Лише ті хто володіє достатніми ресурсами зможуть ефективно використовувати передові технології штучного інтелекту.

*Інтерпретованість* моделей ШІ, особливо глибокого навчання, залишається серйозним викликом. Через їхню складність, їх часто називають «чорними скриньками» («black boxes»), що ускладнює

розуміння процесів прийняття рішень. Здатність розуміти, як і чому модель ШІ приймає те чи інше рішення, є запорукою довіри користувачів до них і це є постійним викликом для розробників.

Суттєві перестороги мають *ризик стосовно безпеки моніторингу*. Невеликі, ретельно продумані та підібрані зловмисником зміни у вхідних даних можуть обдурити модель ШІ [11]. Безпека та надійність ШІ є критично важливими, адже зловмисники можуть завдати значної шкоди. Як приклад маніпуляції системами ШІ в інтелектуальних мережах, може порушити розподіл електроенергії та завдати значної економічної шкоди. Окрім цього, зловмисник також може вплинути на продуктивність та ефективність моделі. Такі маніпуляції можуть призвести до збільшення витрати енергетичних ресурсів, що негативно впливає на навколишнє середовище. Тому розробка енергоефективних та стійких моделей штучного інтелекту є нагальною потребою.

За своєю суттю моделювання штучного інтелекту ґрунтується на принципі навчання на основі даних. *Якість та кількість даних* є критично важливими для успіху моделювання штучного інтелекту. Моделі штучного інтелекту навчаються на великих наборах даних, просіюючи дані, щоб виявити закономірності, тенденції та взаємозв'язки. Вони допомагають контролювати якість води, аналізуючи такі параметри, як рівень рН, каламутність та вміст нітратів, для прогнозування можливого забруднення. Також моделі штучного інтелекту, застосовують, у сфері моніторингу якості повітря, аналізують дані з різних датчиків для прогнозування рівня забруднення та виявлення джерел забруднення. Використання машинного навчання та алгоритмів глибокого навчання в моніторингу навколишнього середовища є надзвичайно важливим, адже вони дозволяють опрацьовувати великі об'єми даних для прогнозування та прийняття ефективних рішень.

*Узагальнення (Generalization)* – це здатність моделі ШІ, навченої на конкретних наборах даних, успішно працювати з іншими, подібними, щоб робити прогнози або рішення в ширшому контексті. Ця гнучкість гарантує, що моделі штучного інтелекту можуть ефективно обробляти нові, невидимі дані [12]. Практичним прикладом застосування принципу узагальнення є модель CDLSTM (The Climate Deep Long Short-Term Memory), яка, аналізуючи історичні кліматичні дані, прогнозує майбутні кліматичні зміни.

*Баланс між складністю та простотою моделі*. Моделі ШІ не повинні бути ні надто складними, ні надто спрощеними. Занадто складні моделі можуть призвести до перенавчання, коли вони досягають високої точності на тренувальних даних, але втрачають здатність узагальнюватись на нових даних [13]. І навпаки, занадто спрощені моделі можуть не вловлювати складні закономірності в даних.

Баланс між складністю та узагальненням можна побачити на прикладі моделей моніторингу навколишнього середовища, які використовують випадкові ліси. *Ансамблеві методи (Ensemble methods)*, що лежать в основі випадкових лісів, допомагають запобігти перенавчанню, зберігаючи при цьому надійність прогнозів.

Ключове значення має *інтерпретація моделі*. Розуміння принципів роботи моделі штучного інтелекту та її обґрунтувань є критично важливим для забезпечення довіри користувачів та вирішення етичних питань. Для моніторингу навколишнього середовища інтерпретовані моделі допомагають зацікавленим сторонам зрозуміти фактори, що сприяють забрудненню, тим самим сприяючи прийняттю вірно обґрунтованих рішень. Як приклад, дерева рішень, що використовуються в екологічному моніторингу, можуть надавати чіткі, інтерпретовані правила, які пояснюють, як конкретні умови навколишнього середовища призводять до певних результатів [14].

**Головні висновки.** Попри переваги використання ШІ для моніторингу навколишнього середовища, існує низка питань, які необхідно вирішити для успішного впровадження даної технології. Якість даних є критично важливим фактором і це є однією з домінуючих перешкод. Щоб системи ШІ могли робити точні прогнози та вибір, їм потрібні точні та надійні дані. Недостатньо якісні дані можуть стати причиною неточних прогнозів та суджень, що може мати серйозні наслідки для навколишнього середовища та здоров'я людей. Доступність даних для навчання та здійснення аналізу представляє ще одну складність. Окрім технологічних аспектів, необхідно звернути увагу на етичні питання, пов'язані з моніторингом довкілля за допомогою ШІ. Існує занепокоєння щодо того, хто володіє цими даними, як забезпечується їх конфіденційність та як можна запобігти їх неправомірному використанню.

Не зважаючи на очевидні переваги моделей ШІ для моніторингу стану навколишнього середовища варто враховувати які екологічні наслідки він несе. Технології штучного інтелекту, особливо ті, що пов'язані з обробкою великих обсягів даних, можуть мати значний вплив на навколишнє середовище, тому необхідно розробити стратегії управління, щоб забезпечити екологічну стійкість. Однією з основних проблем є **значне споживання енергії**, пов'язане з навчанням та експлуатацією моделей ШІ [15]. Часто така електроенергія отримана з невідновлюваних джерел енергії. Таке високе споживання енергії може призвести до збільшення викидів вуглецю, протидіючи позитивному впливу ШІ на стан довкілля. До того ж, апаратне забезпечення, що використовується для функціонування ШІ, зокрема сервери та системи зберігання даних, вимагає виробничих процесів, які часто передбачають використання рідкоземельних елементів та інших невідновлюваних ресурсів [16].

Підсумовуючи, незважаючи на значний прогрес, який пропонують моделі ШІ для моніторингу навколишнього середовища, необхідно уважно стежити за їхнім впливом на екологію. Майбутні дослідження та політичні рішення мають бути спрямовані на створення умов, які забезпечать стаке використання ШІ, максимізуючи його переваги та мінімізуючи негативний вплив на навколишнє середовище.

**Перспективи використання результатів дослідження.** У порівнянні зі традиційними методами, використання моделей ШІ для моніторингу навколишнього середовища має низку переваг.

Системи моніторингу навколишнього середовища, що базуються на ШІ, здатні обробляти величезні обсяги даних з різних джерел, що дозволяє отримувати точну та актуальну картину стану довкілля. Крім того, їхнє застосування надає можливість автоматизувати збір та аналіз даних, що призводить до зменшення вартості програм моніторингу. На відміну від звичайних підходів, системи моніторингу навколишнього середовища, що використовують ШІ, здатні збирати та аналізувати дані з вищою точністю, що зменшує кількість помилок та неточностей.

### Література

1. The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. By Klaus Schwab. December 12, 2015. URL: <https://www.foreignaffairs.com/world/fourth-industrial-revolution> (дата звернення: 14.02.2025).
2. Hameed, M., Sharqi, S.S., Yaseen, Z.M., Afan, H.A., Hussain, A., Elshafie, A. Application of artificial intelligence (AI) techniques in water quality index prediction: a case study in tropical region, Malaysia. *Neural Comput. Appl.* 2017. № 28. С. 893–905. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2404-7>.
3. Li, Y., Feng, Z., Chen, S., Zhao, Z., Wang, F. Application of the artificial neural network and support vector machines in forest fire prediction in the Guangxi autonomous region, China. *Discrete Dyn. Nat. Soc.* 2020. № 1. С. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/5612650>.
4. Zagajewski, B., Kluczek, M., Raczko, E., Njegovec, A., Dabija, A., Kycko, M. Comparison of random forest, support vector machines, and neural networks for post-disaster forest species mapping of the krkono'se/karkonosze transboundary biosphere reserve. *Remote Sens.* 2021. № 13(13), 2581. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13132581>.
5. Ye, Z., Yang, J., Zhong, N., Tu, X., Jia, J., Wang, J. Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review. *Sci. Total Environ.* 2020. № 699:134279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134279>.
6. El-Magd, S.A.A., Soliman, G., Morsy, M., Kharbush, S. Environmental hazard assessment and monitoring for air pollution using machine learning and remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2022. № 20 (6), С. 6103–6116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04367-6>.
7. Zhang, H., Zhang, L., Wang, S., Zhang, L. Online water quality monitoring based on UV–Vis spectrometry and artificial neural networks in a river confluence near Sheffield-on-Loddon. *Environ. Monit. Assess.* 2022. № 194:630. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10118-4>.
8. Ghorbani, Z., Behzadan, A.H. Monitoring offshore oil pollution using multi-class convolutional neural networks. *Environ. Poll.* 2021. № 289:117884. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117884>.
9. Almalawi, A., Alsolami, F., Khan, A.I., Alkhatlan, A., Fahad, A., Irshad, K., Qaiyum, S., Alfakheh, A.S. An IoT based system for magnify air pollution monitoring and prognosis using hybrid artificial intelligence technique. *Environ.* 2022. № 206:112576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112576>.
10. Rowley, A., Karakus, O. Predicting air quality via multimodal AI and satellite imagery. *Remote Sens. Environ.* 2023. № 293:113609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113609>.
11. Baniecki H., Biecek, P. Adversarial attacks and defenses in explainable artificial intelligence: a survey. *Information Fusion.* 2024 № 107(5):102303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102303>.
12. Sarker, I.H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. *SN Computer Science.* 2020. № 3:158. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x>.
13. Kernbach, J.M., Staartjes, V.E. (2022). Foundations of machine learning-based clinical prediction modeling: part II—Generalization and overfitting. In: Staartjes, V.E., Regli, L., Serra, C.(eds). *Machine Learning in Clinical Neuroscience: Acta Neurochirurgica Supplement.* 2022. № 134. С. 15–21. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85292-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85292-4_3).
14. Ryo, M., Angelov, B., Mammola, S., Kass, J.M., Benito, B.M., Hartig, F. Explainable artificial intelligence enhances the ecological interpretability of blackbox species distribution models. *Ecography.* 2020. № 44 (2). С. 199–205. DOI: <https://doi.org/10.1111/ecog.05360>.
15. Bloomfield, P., Clutton-Brock, P., Pencheon, E., Magnusson, J., Karpathakis, K. Artificial Intelligence in the NHS: Climate and Emissions. *J. Clim. Change Health.* 2021. № 4:100056. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2021.100056>.
16. Gundeti, R., Vuppala, K., Kasireddy, V. The Future of AI and Environmental Sustainability: Challenges and Opportunities. In H. Kannan, R. Rodriguez, Z. Paprika, & A. Ade-Ibijola (Eds.), *Exploring Ethical Dimensions of Environmental Sustainability and Use of AI.* 2024. С. 346–371. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0892-9.ch017>.

## ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРОМАДСЬКОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

Ткачук О.П., Вергеліс В.І.

Вінницький національний аграрний університет

вул. Сонячна, 3, 21008, м. Вінниця

tkachukop@ukr.net

Представлено види станцій громадського моніторингу атмосферного повітря та організації-оператори обладнання. Визначено перелік забруднюючих речовин, які можуть фіксувати станції громадського моніторингу атмосферного повітря. Візуалізовано карти та формат видачі інформації щодо моніторингу атмосферного повітря станціями. Співставлено вимоги Постанови Кабінету Міністрів № 827, Директив 2008/50/ЄС та 107/2004/ЄС щодо можливої адаптації до їх вимог моніторингових спостережень станцій громадського моніторингу атмосферного повітря. Визначено роль та місце таких станцій у державній системі моніторингу атмосферного повітря. Обґрунтовано можливість інтеграції результатів моніторингу атмосферного повітря станціями громадського моніторингу у загальнодержавну систему. Встановлено ризики, які можуть виникати при експлуатації станцій громадського моніторингу атмосферного повітря та можливість виникнення внаслідок них похибок вимірювання.

На сьогодні станції громадського моніторингу атмосферного повітря є важливим джерелом розширення, уточнення та оперативності інформації щодо стану атмосфери. Їх простота у конструкції та у монтажі, бюджетність, розвинена мережа дозволяє оцінювати стан повітря практично будь-де, де є інтернет. Достатня точність таких засобів вимірювання може повністю забезпечувати індикативний рівень моніторингу атмосферного повітря. Але станції громадського моніторингу мають залишатися додатковим джерелом екологічної інформації для уточнення, отримання оперативних даних щодо стану повітря та прийняття перших рішень саме жителями. Основним і найбільш точним джерелом інформації щодо стану атмосферного повітря мають залишатися державні стаціонарні пости моніторингу, що забезпечують фіксований рівень спостережень з обов'язковим розширенням мережі їх функціонування та оновленням технічного забезпечення. Перспективними напрямками використання екологічної інформації, одержаної з станцій громадського моніторингу атмосферного повітря є її інтеграція у загальнодержавну систему моніторингу довкілля. *Ключові слова:* атмосферне повітря, громадський моніторинг, характеристики, адаптація, проблеми, ризики.

### Environmental efficiency of public monitoring of atmospheric air in Ukraine. Tkachuk O., Vergelis V.

Types of public atmospheric air monitoring stations and equipment operator organizations are presented. A list of pollutants that can be recorded by public air monitoring stations has been determined. Maps and the format of issuing information on atmospheric air monitoring by stations are visualized. The requirements of the Resolution of the Cabinet of Ministers No. 827, Directives 2008/50/EC and 107/2004/EC regarding the possible adaptation to their requirements of monitoring observations of public atmospheric air monitoring stations are compared. The role and place of such stations in the state atmospheric air monitoring system is defined. The possibility of integrating the results of atmospheric air monitoring by public monitoring stations into the national system is substantiated. The risks that may arise during the operation of public atmospheric air monitoring stations and the possibility of measurement errors as a result of them have been established.

Today, public atmospheric air monitoring stations are an important source of expansion, clarification, and efficiency of information on the state of the atmosphere. Their simplicity in design and installation, cost-effectiveness, developed network allows you to assess the state of the air almost anywhere there is an Internet connection. Sufficient accuracy of such measuring devices can fully provide an indicative level of atmospheric air monitoring. But public monitoring stations should remain an additional source of environmental information for clarification, obtaining operational data on the state of the air and making the first decisions by the residents themselves. The main and most accurate source of information on the state of the atmospheric air should remain the state stationary monitoring posts, which provide a fixed level of observations with the mandatory expansion of the network of their operation and updating of technical support. Prospective directions for the use of environmental information obtained from public air monitoring stations are its integration into the national environmental monitoring system. *Key words:* atmospheric air, public monitoring, characteristics, adaptation, problems, risks.

**Постановка проблеми.** З 2021 року моніторинг атмосферного повітря в Україні проводиться відповідно до Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 року № 827. Відповідно до «Порядку...» моніторинг атмосферного повітря здійснюють такі суб'єкти: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів, Міністерство охो-

рони здоров'я, Державна служба з надзвичайних ситуацій (ДСНС), Державне агентство зони відчуження, обласні держадміністрації, виконавчі органи міських рад [1].

Існуюча мережа державних постів спостереження за станом атмосферного повітря переважно включає стаціонарні пости типу Пост-2, підпорядковані Українському гідрометеорологічному центру ДСНС. Вони охоплюють лише обласні центри та

промислово-розвинені міста, а їх кількість не дозволяє об'єктивно оцінити стан атмосферного повітря в просторовому форматі як великих міст, так і невеликих населених пунктів і тим більше сіл [2].

**Актуальність дослідження.** Вже давно стало зрозуміло, що мережа стаціонарних постів моніторингу атмосферного повітря не в змозі забезпечити масштабність спостережень. Об'єктивність і точність проведених спостережень стаціонарними постами моніторингу атмосферного повітря не викликає сумніву. Проте їх недостатня кількість через значні фінансові затрати на закупівлю відповідного обладнання, сертифікацію та атестацію не дозволяють розширити їх мережу. Стаціонарні пости спостережень характеризують якість повітря у місці їх розміщення та у час відбору проб. Тому актуальним питанням є пошук альтернативних шляхів отримання інформації щодо стану атмосферного повітря в різних місцях, які віддалені від стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря [3].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Повне впровадження та адаптація Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827 вимагає значного розширення мережі спостережень за станом атмосферного повітря та вільного доступу до інформації щодо якості атмосферного повітря. Це не тільки дозволить визначати якість повітря щодо його впливу на стан здоров'я населення, але й зобов'яже промислові підприємства, що здійснюють забруднення атмосферного повітря, встановлювати очисне обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Принцип моніторингу повітря в ЄС базується на безперервних просторових спостереженнях. Відбір проб повітря по всій країні є недоцільним. ЄС використовує такі методи оцінки якості повітря: фіксовані вимірювання шляхом відбору проб, індикаторні вимірювання та моделювання [4].

Стаціонарні вимірювання передбачають відбір проб повітря, подібно до роботи стаціонарних постів спостереження в Україні. Це найбільш точне вимірювання якості повітря. Індикативні вимірювання відповідають вимогам до якості даних, але є менш суворими, ніж стаціонарні вимірювання. Моделювання – це непряма оцінка концентрацій забруднюючих речовин, що враховує фактори, які впливають на концентрацію забруднюючих речовин. Останні два методи менш точні, але дешевші і можуть охоплювати всю територію держави [5].

Вибір методу вимірювання залежить від фактичної концентрації забруднюючих речовин. Якщо концентрація забруднювачів у повітрі висока, використовуються точні стаціонарні вимірювання. Якщо концентрація забруднюючих речовин низька, вико-

ристовуються індикативні методи та моделювання для наближення до фактичних даних [6].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Неможливість суттєвого розширення фіксованої мережі моніторингу атмосферного повітря в Україні вимагає розширення мережі індикативних вимірювань та системи моделювання. Громадськими організаціями за підтримки Євросоюзу уже впродовж кількох років реалізується програма створення мережі громадського моніторингу атмосферного повітря. Проте такі системи моніторингу атмосферного повітря в Україні не урегульовані. Невідомо, як вони співвідносяться із результатами фіксованої мережі стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря. Це вимагає обґрунтування їх функціонування.

**Новизна.** Дано характеристику системам громадського моніторингу атмосферного повітря, які функціонують у місті Вінниці. Представлено можливі шляхи інтеграції інформації, яка надходить з мережі громадських систем моніторингу атмосферного повітря у загальнодержавну систему.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Дослідження проводилося на основі інформації, що розміщена в наукових джерелах, офіційних сайтах громадських організацій SaveDnipro [7] і Ecosity [8]. Також висвітлено практичний досвід із використання станції громадського моніторингу атмосферного повітря, встановленої у Вінницькому національному аграрному університеті.

**Виклад основного матеріалу.** Сьогодні громадський моніторинг атмосферного повітря – це сучасні інструменти моніторингу та оцінки якості повітря, які встановлюються мешканцями населеного пункту, громадськими організаціями, закладами незалежно від держави. Порівняно з державним моніторингом повітря, ці пости надають оперативну інформацію про якість повітря та достовірні дані про кілька ключових забруднювачів у режимі реального часу [9].

Деякі виробники станцій громадського моніторингу інформують громадськість про рівень забруднення повітря та вказують на онлайн-картах, чи безпечно виходити на вулицю вразливим групам населення. Це переважно невеликі пристрої, які зазвичай монтуються на зовнішній стороні вікна і підключаються до розетки. Пости передають інформацію про якість повітря в мережу через Wi-Fi. Інформація, доступна будь-якому користувачеві, автоматично відображається на онлайн-карті [10] (рис. 1, 2).

Громадський моніторинг повітря – це мережа станцій, встановлених місцевими жителями у своїх будинках, офісах, школах, інших громадських будівлях тощо. Мережа станцій громадського моніторингу дозволяє краще оцінити якість повітря в районі, де вони встановлені [11].





1)

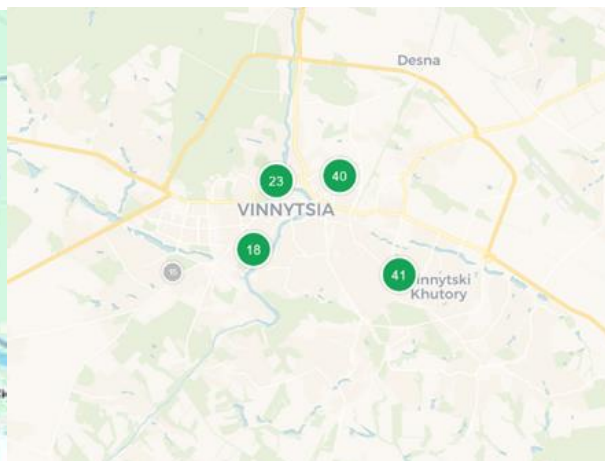


2)

Рис. 1. Станція громадського моніторингу атмосферного повітря SaveEcoSensor (1) і Ecocity (2)



1)



2)

Рис. 2. Онлайн-карти якості атмосферного повітря станцій громадського моніторингу Ecocity (1) та SaveDnipro (2)

Громадські станції моніторингу атмосферного повітря вимірюють основні забруднювачі: дрібнодисперсний пил (PM<sub>10</sub> і PM<sub>2,5</sub>), оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO<sub>2</sub>), аміак (NH<sub>3</sub>) та озон (O<sub>3</sub>). Однак перелік забруднюючих речовин, що контролюються, може від-

різнятися залежно від станції. Зокрема, такі пристрої можуть вимірювати специфічні для регіону забруднювачі, такі як формальдегід, радіацію та інші [12].

Зокрема онлайн інформація щодо якості атмосферного повітря з станцій громадського моніторингу



EcoCity містить інформацію щодо концентрації пилу, основних газів атмосфери, інших токсичних газів, радіаційного фону та метеопараметрів із відображенням інформаційної оцінки щодо загального стану повітря (рис. 3).

Станції громадського моніторингу повітря SaveDnipro висвітлюють інформацію щодо вмісту пилу, радіаційного фону, метеопараметрів та розраховують індекс якості повітря AQI. Також є можливість переглядати динаміку забруднення за попередні 48 год у графічному форматі двох видів з можливістю активного пошуку (рис. 4).

Відповідно до вимог Постанови Кабінету Міністрів № 827 згідно з Директивами 2008/50/ЄС

та 107/2004/ЄС, якість повітря повинна оцінюватися за такими показниками: тверді частинки (PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>), приземний озон (O<sub>3</sub>), діоксид азоту (NO<sub>2</sub>) та діоксид сірки (SO<sub>2</sub>). Ці показники відстежуються з 2017 року для розрахунку Європейського індексу якості повітря. Це дозволяє контролювати якість повітря в режимі реального часу завдяки протоколам передачі даних у реальному часі. Важливо також, що дані можуть оновлюватися кожні шість годин (або частіше) і що можна побачити тенденції вмісту речовин за останні 48 годин [13].

При переведенні оновленої державної системи моніторингу атмосферного повітря у режим онлайн видачі одержаної інформації, можлива інтеграція

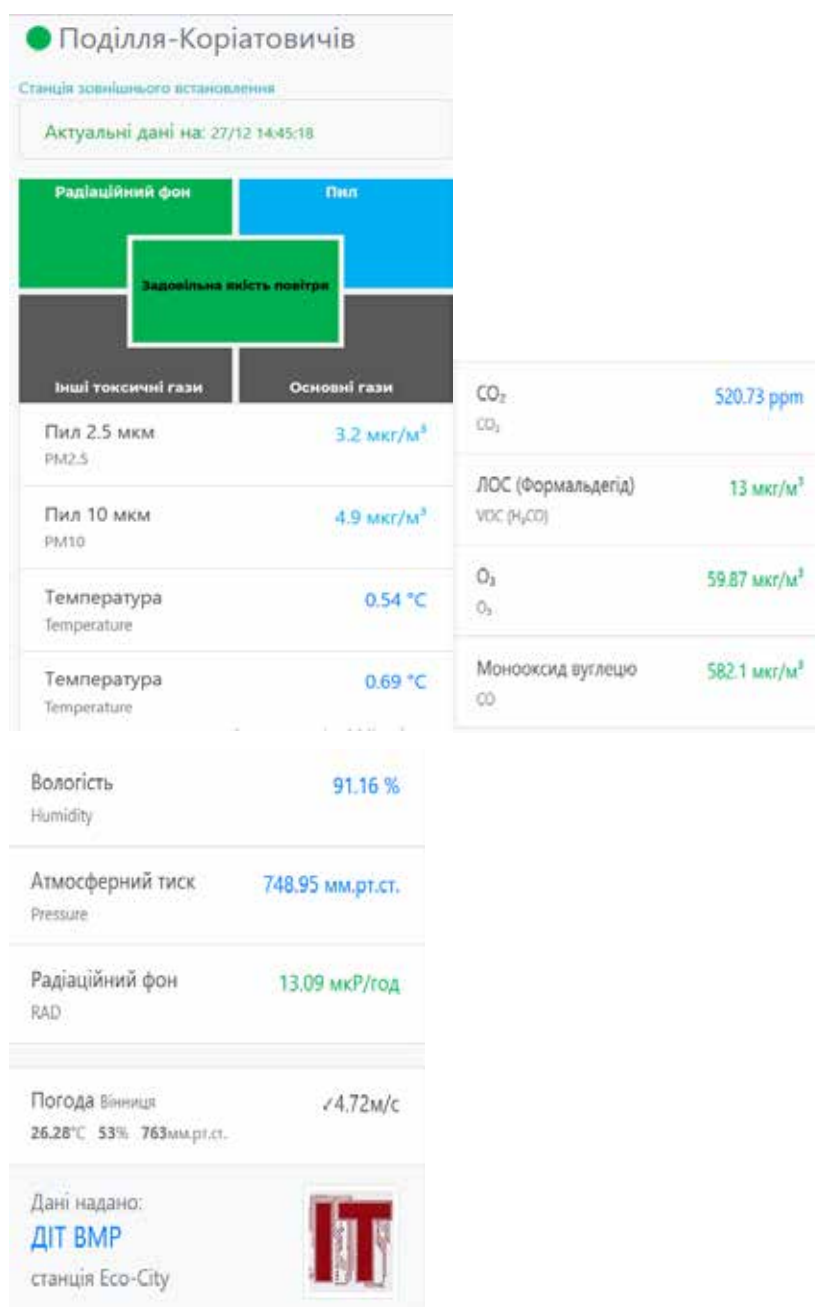


Рис. 3. Інформація з станцій громадського моніторингу атмосферного повітря EcoCity

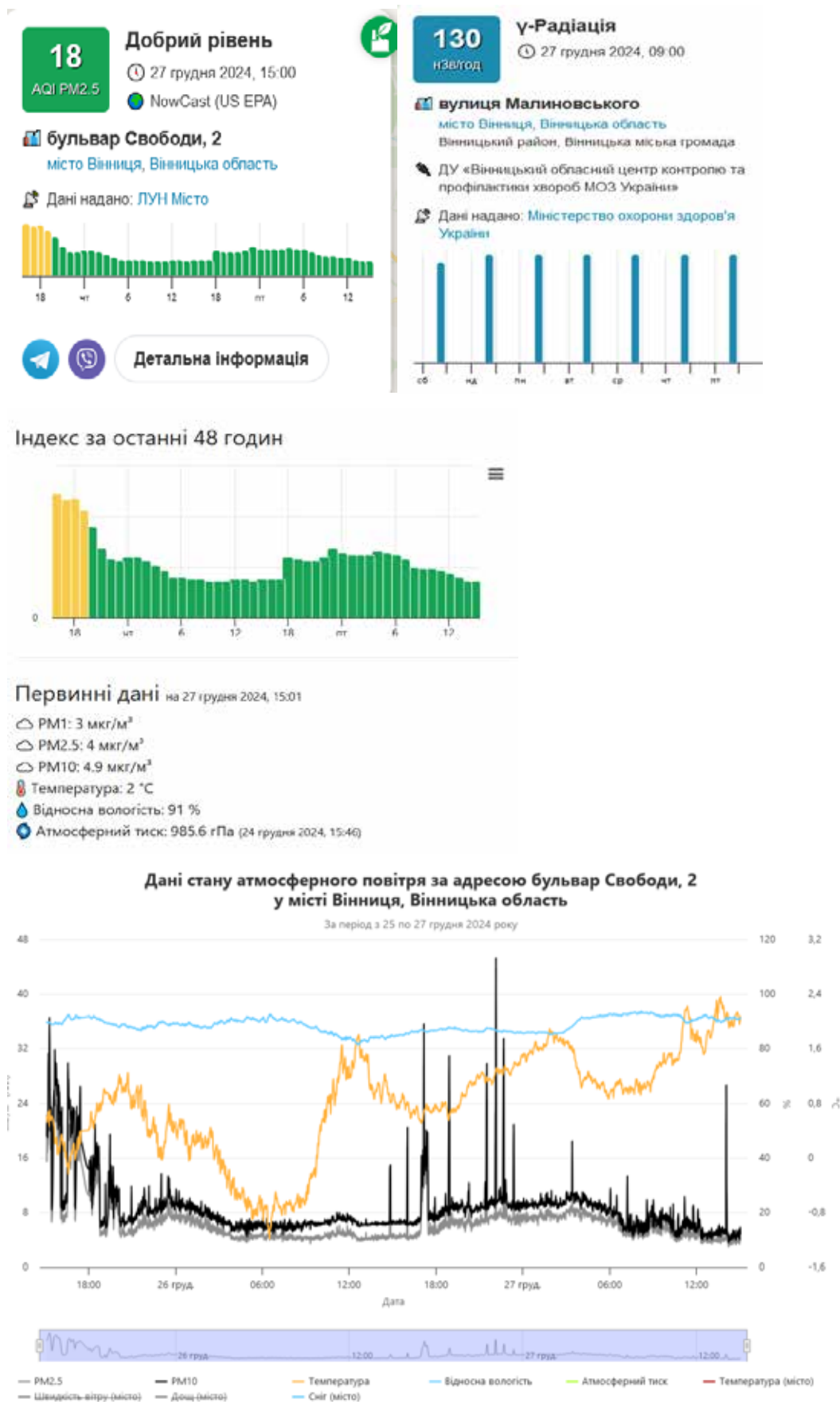


Рис. 4. Інформація з станцій громадського моніторингу атмосферного повітря SaveDnipro

існуючих громадських мереж моніторингу атмосферного повітря. Це суттєво розширить охоплення території, підвищить якість спостережень та дозволить відслідковувати тренди.

Державні пости системи моніторингу атмосферного повітря належать до мережі фіксованих спостережень. Вони мають державну сертифікацію вимірювальних приладів та є джерелами офіційної інформації для використання державними контролюючими органами та ведення позовної діяльності щодо забруднювачів.

Комплексні компактні станції громадського моніторингу атмосферного повітря здійснюють індикативні вимірювання якості повітря. Основним призначенням такого засобу вимірювання є інформування користувачів про стан повітря. А відповідно до Директиви 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи, застосування додаткових методів оцінки якості повітря сприятиме зменшенню необхідної мінімальної кількості фіксованих пунктів відбору проб [10].

Індикативні станції повинні використовуватися разом з мобільними сертифікованими лабораторіями для реагування на систематичні перевищення фонових концентрацій та виявлення джерел забруднення. Статус пересувної сертифікованої лабораторії повинен дозволяти отримувати офіційні результати вимірювань та перевіряти інформацію з індикативної станції.

Оскільки станції громадського моніторингу повітря відносно недорогі, їх можна використовувати в набагато більшій кількості, ніж стаціонарні пости моніторингу, забезпечуючи додаткове джерело інформації, що охоплює більшу територію. Це зменшує фінансове та ресурсне навантаження на місцеві органи влади, які є основними суб'єктами моніторингу.

Відповідно до Європейської Директиви 2008/50/ЄС про якість повітря та чисте повітря, «індикативне вимірювання» – це вимірювання, яке відповідає вимогам до якості даних, які є менш суворими, ніж фіксовані вимірювання.

Режими роботи та діапазони вимірювань датчиків, що використовуються на громадських станціях моніторингу якості повітря, сумісні з цілями цього інструменту оцінки якості повітря. У Директиві 2008/50/ЄС зазначено, що стаціонарні вимірювання на стаціонарних станціях моніторингу можуть бути доповнені методами моделювання та індикативними

вимірюваннями, які забезпечують отримання адекватної інформації про просторово-часовий розподіл забруднюючих речовин та якість повітря. Водночас, методи індикативних вимірювань з використанням громадських станцій моніторингу є більш надійними, ніж методи моделювання, що базується на масивах даних за останні роки, усереднених і розрахованих за допомогою комп'ютерних методів [12].

Існують застереги зростання похибок вимірювання концентрації пилу у повітрі станціями громадського моніторингу в умовах туману. Це пояснюється використанням у станціях для виявлення пилу лазерних променів, які просвітлюють повітря. В умовах туману лазер гірше просвітлює повітря і фіксує туман, як пил. Це збільшувало фіксовані показники концентрації пилу. Проте більшість сучасних станцій громадського моніторингу на сьогодні мають додаткове обладнання, що усуває дану проблему. Це дозволяє говорити про точність вимірювання показників якості повітря станціями громадського моніторингу у 70–90% порівняно із державними фіксованими станціями моніторингу атмосферного повітря [13].

**Головні висновки.** Отже, на сьогодні станції громадського моніторингу атмосферного повітря є важливим джерелом розширення, уточнення та оперативності інформації щодо стану атмосфери. Їх простота у конструкції та у монтажі, бюджетність, розвинена мережа дозволяє оцінювати стан повітря практично будь-де, де є інтернет. Достатня точність таких засобів вимірювання може повністю забезпечувати індикативний рівень моніторингу атмосферного повітря. Але станції громадського моніторингу мають залишатися додатковим джерелом екологічної інформації для уточнення, отримання оперативних даних щодо стану повітря та прийняття перших рішень саме жителями. Основним і найбільш точним джерелом інформації щодо стану атмосферного повітря мають залишатися державні стаціонарні пости моніторингу, що забезпечують фіксований рівень спостережень з обов'язковим розширенням мережі їх функціонування та оновленням технічного забезпечення.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Перспективними напрямками використання екологічної інформації, одержаної з станцій громадського моніторингу атмосферного повітря є її інтеграція у загальнодержавну систему моніторингу довкілля.

### Література

- Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Постанова КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення 3.02.2024).
- Про державну систему моніторингу довкілля: Постанова КМУ від 30 березня 1998 року № 391. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF> (дата звернення 3.02.2024).
- Ткачук О.П., Мазур О.В. Проблеми адаптації системи моніторингу атмосферного повітря в Україні до вимог Європейського Союзу. Екологічні науки. 2024. Т. 1. № 1 (52). С. 65-70.
- Кольцов М., Шевченко Л. Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід. Аналітична записка. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство», 2018. 13 с.

5. Мокін В.Б., Дзюняк Д.Ю., Бондалетов К.О., Олійник В.В. Метод і технологія моніторингу стану атмосферного повітря за допомогою універсальної інформаційно-вимірювальної системи з використанням мобільних пристроїв. *Наукові праці ВНТУ*. 2015. № 4.
6. Максютя Н.С. Удосконалення моніторингу атмосферного повітря агломерацій (на прикладі м. Полтава): дис. д-ра філософії: 183. Нац. ун-т «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка». Полтава. 2020. 240 с.
7. Якість повітря в Україні онлайн: карта моніторингу. SaveEcoBot. URL: <https://www.saveecobot.com/maps> (дата звернення 28.12.2024).
8. Есо-City. Громадський моніторинг стану якості повітря. URL: <https://eco-city.org.ua/> (дата звернення 28.12.2024).
9. Чугай А.В., Лавров Т.В. Громадський моніторинг як інструмент оцінки стану повітряного басейну в регіонах України. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2022. № 30. С. 81-86.
10. Екоclub. Громадський моніторинг повітря: що це та для чого потрібен. URL: [https://ecoclubrivne.org/public\\_monitoring/](https://ecoclubrivne.org/public_monitoring/) (дата звернення 28.12.2024).
11. Технічна підтримка громадського моніторингу повітря: від кількості до якості. URL: <https://cleanair.org.ua/5802/techpidtrymka/> (дата звернення 28.12.2024).
12. Відповіді на гострі питання про громадський моніторинг. URL: <https://cleanair.org.ua/5813/faq/> (дата звернення 28.12.2024).
13. Громадський моніторинг якості повітря: переваги та процедура інтеграції в існуючу моніторингову систему. URL: <https://ecolog-ua.com/news/gromadskyu-monitoryng-yakosti-povitrya-perevagy-ta-procedura-integraciyi-v-isnuyuchu> (дата звернення 28.12.2024).

## ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ НОВОГО ПОРЯДКУ ПРОВЕДЕННЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ І ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ

Ткачук О.П., Мазур О.В.

Вінницький національний аграрний університет

вул. Сонячна, 3, 21008, м. Вінниця

tkachukop@ukr.net

Розглянуто та проаналізовано екологічну складову Постанови Кабінету Міністрів України від 23 липня 2024 р. № 848 Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів. Дана Постанова враховує сьогоденні реалії використання ґрунтів та земель в Україні, Директиви ЄС, що мають відношення до проведення моніторингу ґрунтів та земель.

Моніторинг земель і ґрунтів, відповідно до нового Порядку здійснення моніторингу земель і ґрунтів, включає систематичні спостереження за станом земель і ґрунтів, виявлення у них змін, зокрема із використанням даних дистанційного зондування Землі, а також проведення оцінки: стану використання сільськогосподарських угідь; процесів, пов'язаних із змінами родючості ґрунтів, заростанням земельних ділянок, забрудненням земель пестицидами, важкими металами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами; стану берегових ліній водойм, гідротехнічних споруд; процесів, пов'язаних із утворенням ярів, зсувів, із сільовими потоками, землетрусами, карстовими, кріогенними та іншими явищами; стану земель населених пунктів, територій, зайнятих нафтогазовидобувними об'єктами, очисними спорудами, ґноссховищами, складами пально-мастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, гірничими об'єктами, місцями захоронення відходів промисловості і радіоактивних відходів, а також іншими промисловими об'єктами; процесів, пов'язаних із забрудненням ґрунтів, засміченням земельних ділянок внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії і бойових дій під час воєнного стану. Визначено суб'єкти моніторингу та розподілено між ними функції.

Моніторинг земель і ґрунтів проводиться такими суб'єктами: Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру, Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів, Міністерством аграрної політики та продовольства, Державною екологічною інспекцією, Державною службою з надзвичайних ситуацій, Державним агентством України з управління зоною відчуження, Державним агентством лісових ресурсів України, Державним агентством України з розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм. *Ключові слова:* ґрунт, земля, екологічний моніторинг, об'єкти, суб'єкти, функції, порядок.

**Environmental analysis of the main provisions of the new procedure for monitoring lands and soils in Ukraine. Tkachuk O., Mazur O.**

The environmental component of the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 23, 2024 was considered and analyzed. No. 848 On approving the Procedure for Land and Soil Monitoring. This Resolution takes into account today's realities of soil and land use in Ukraine, EU Directives related to soil and land monitoring.

Land and soil monitoring, in accordance with the new Procedure for Land and Soil Monitoring, includes systematic observations of the state of land and soil, detection of changes in them, in particular using remote sensing data, as well as assessment of: the state of agricultural land use; processes related to changes in soil fertility, overgrowth of land plots, land contamination by pesticides, heavy metals, radionuclides and other toxic substances; the state of the coastlines of water bodies, hydraulic structures; processes related to the formation of ravines, landslides, mudflows, earthquakes, karst, cryogenic and other phenomena; the condition of lands in settlements, territories occupied by oil and gas production facilities, treatment facilities, manure storage facilities, fuel and lubricants, fertilizers, vehicle parking lots, mining facilities, industrial waste and radioactive waste disposal sites, as well as other industrial facilities; processes related to soil contamination, land contamination as a result of emergencies and/or armed aggression and hostilities during martial law. Monitoring subjects have been identified and functions have been distributed among them.

Land and soil monitoring is carried out by the following entities: the State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre, the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources, the Ministry of Agrarian Policy and Food, the State Environmental Inspectorate, the State Emergency Service, the State Agency of Ukraine for Exclusion Zone Management, the State Agency of Forest Resources of Ukraine, the State Agency of Ukraine for the Development of Land Reclamation, Fisheries and Food Programs. *Key words:* soil, land, environmental monitoring, objects, subjects, functions, order.

**Постановка проблеми.** Ґрунт є самостійним природним утворенням, що формується в результаті складного процесу взаємодії п'яти природних факторів: клімату, рельєфу, флори і фауни, ґрунтоутворюючих факторів і часу. Основною ознакою, яка відрізняє ґрунти від гірських порід, є родючість – здатність ґрунтів задовольняти потреби рослин у поживних речовинах і воді, а також постачати кисень і тепло

до кореневої системи. Родючість ґрунтів зазвичай визначається вмістом гумусу у них [1].

Протягом останніх десятиліть вміст гумусу в українських ґрунтах неухильно знижується. Це можна пояснити як природними явищами (переважно ерозією та дефляцією), так і виснаженням гумусу, пов'язаним з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва [2].

**Актуальність дослідження.** Втрата гумусу призводить до утворення деградованих ґрунтів, які сильно знизили свою родючість або мають певні властивості, що значно погіршилися під впливом природних або антропогенних несприятливих факторів. Саме вчасне здійснення моніторингу ґрунтів здатне виявити такі проблеми, зупинити і запобігти їм [3].

Необхідність моніторингу ґрунтів зумовлена надзвичайною важливістю підтримання компонентів природного середовища, зокрема ґрунтового покриву, у стані, здатному зберігати їхню можливість регулювати кругообіги біофільних елементів, на яких ґрунтується життя людини та біосфери в цілому. Моніторинг ґрунтів проводиться всіма розвиненими країнами починаючи з 60–70-х років двадцятого століття на основі рекомендацій ООН та з урахуванням специфічних особливостей кожної країни [4].

Національна система моніторингу ґрунтується на спостереженнях, дослідженнях, оцінках, прогнозах та оптимізації родючості ґрунтів і врожайності сільськогосподарських культур, з особливою увагою до ерозії ґрунтів та опустелювання. Проте адаптація природоохоронного законодавства України до вимог ЄС потребує внесення змін до існуючих програм з моніторингу ґрунтів та земель, оскільки відповідні програми моніторингу атмосферного повітря та поверхневих вод в Україні уже адаптовані до Європейських стандартів [5].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Впровадження нового Порядку моніторингу земель і ґрунтів вимагає ґрунтового аналізу з метою вирішення проблеми деградації угідь.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Моніторинг ґрунтів здійснюється відповідно до загальнодержавних та регіональних (місцевих) програм, які визначають спільні дії центральних і місцевих органів виконавчої влади, скоординовані відповідно до цілей і завдань охорони навколишнього природного середовища, забезпечення екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів. Метою моніторингу ґрунтів є управління динамікою ключових фізичних, хімічних, біологічних та інших ґрунтових процесів у природних умовах та під впливом антропогенного навантаження [6].

В Україні розроблено концепцію моніторингу ґрунтів (В. Медведєв, Т. Лактіонов, 1992), згідно з якою метою моніторингу є отримання інформації для прийняття управлінських рішень щодо стабілізації та поліпшення якості ґрунтів, екологізації землеводства та досягнення кінцевого результату – розширеного відтворення родючості ґрунтів [7].

Земельний кодекс України передбачає моніторинг ґрунтового покриву як основу для практичних заходів з екологічного поліпшення ґрунтів. Такий моніторинг має підтримувати здатність ґрунту регулювати кругообіг факторів біосумісності; контролю-

вати та запобігати негативним наслідкам ґрунтоутворювальних процесів, що проявляються у вигляді деґуміфікації, ерозії, переущільнення, підтоплення, засолення тощо; підвищувати родючість ґрунтів, рентабельність меліорації та хімічного удобрення земель та якість сільськогосподарської продукції; розробки критеріїв для загальної оцінки сучасного стану ґрунтового покриву [8].

Інформацію для моніторингу можна отримати з картографічної документації ґрунтів від землевпорядних проектних організацій, аналітичної та картографічної документації періодичних агрохімічних обстежень, агрокліматичної інформації від гідрометеорологічних служб, а також інформації від наукових та проектних організацій про можливі причини забруднення ґрунтів [9].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Програми моніторингу ґрунтів, що були затверджені ще у 1992 році, на сьогодні сильно застаріли. Саме тому через 32 роки Кабінетом Міністрів України прийнята Постанова від 23 липня 2024 р. № 848 Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів. Дана Постанова враховує сьогоденні реалії використання ґрунтів та земель в Україні, Директиви ЄС, що мають відношення до проведення моніторингу ґрунтів та земель. Разом з прийняттям вказаної програми в Україні втратили чинність Постанова Кабінету Міністрів України від 20 серпня 1993 р. № 661 «Про затвердження Положення про моніторинг земель» та Постанова Кабінету Міністрів України від 26 грудня 2003 р. № 2041 «Про внесення змін до Положення про моніторинг земель» [10].

**Новизна.** Саме екологічний аналіз нового Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів є основою наших досліджень та становить їх новизну.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Дослідження проводилося всебічним екологічним аналізом Постанови Кабінету Міністрів України від 23 липня 2024 р. № 848 Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів [10].

**Виклад основного матеріалу.** Основними цілями нового Порядку здійснення моніторингу земель і ґрунтів є забезпечення механізму моніторингу земель і ґрунтів з метою своєчасного виявлення змін стану, забруднення та властивостей ґрунтів, оцінки виконання заходів з охорони земель, збереження та відтворення родючості ґрунтів, запобігання та ліквідації наслідків негативних процесів. Порядок адаптований до вимог Євросоюзу.

Моніторингу підлягають усі землі та ґрунти, незалежно від форми власності. Моніторинг земель і ґрунтів здійснюється шляхом систематичних спостережень, спрямованих на оцінку стану земель і ґрунтів та порівняння отриманих показників між собою.

Залежно від мети спостереження та охопленої території моніторинг земель і ґрунтів здійснюється за такими напрямками: національний – на всіх землях у межах території України; регіональний – на територіях, що характеризуються єдністю фізико-географічних, екологічних та економічних умов; локальний – на окремих земельних ділянках та в окремих частинах (елементарних структурах) ландшафтно-екологічних комплексів.

Моніторинг земель і ґрунтів включає систематичні спостереження за станом земель і ґрунтів (агрохімічна паспортизація земельних ділянок, агрохімічне обстеження ґрунтів тощо), виявлення у них змін, зокрема із використанням даних дистанційного зондування Землі, а також проведення оцінки: стану використання сільськогосподарських угідь; процесів, пов'язаних із змінами родючості ґрунтів, заростанням земельних ділянок, забрудненням земель пестицидами, важкими металами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами; стану берегових ліній річок, морів, озер, заток, водосховищ, лиманів, гідротехнічних споруд; процесів, пов'язаних із утворенням ярів, зсувів, із сільовими потоками, землетрусами, карстовими, кріогенними та іншими явищами; стану земель населених пунктів, територій, зайнятих нафтогазовидобувними об'єктами, очисними спорудами, гноєсховищами, складами пально-мастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, гірничими об'єктами, місцями захоронення відходів промисловості і радіоактивних відходів, а також іншими промисловими об'єктами; процесів, пов'язаних із забрудненням ґрунтів, засміченням земельних ділянок внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії і бойових дій під час воєнного стану.

Моніторинг земель і ґрунтів за тривалістю та періодичністю проведення поділяється на: базовий (первинний, фіксує стан об'єкта спостереження на початку моніторингу земель і ґрунтів); періодичний (послідовний, фіксує стан об'єкта спостереження порівняно з первинним, проводиться не рідше ніж через рік після первинного); оперативний (поточний, проводиться в умовах надзвичайного або воєнного стану (фіксує стан об'єкта спостереження внаслідок нападу або воєнних дій та/або коли цілі відновлення/реконструкції земель не були досягнуті, проводиться окремо від базового та періодичного).

Моніторинг земель і ґрунтів здійснюється в такому порядку: обстеження земель і ґрунтів; виявлення, оцінка та прогнозування негативних факторів, вплив яких потребує контролю; запобігання впливу негативних процесів; усунення наслідків такого впливу. Моніторинг земель і ґрунтів здійснюється відповідно до нормативів з охорони земель та відтворення родючості ґрунтів.

Стан земель і ґрунтів оцінюється на основі результатів аналізу систематичних спостережень та порівняння з отриманими показниками, зокрема

з нормативами у сфері охорони земель та відтворення родючості ґрунтів. Залежно від мети та специфіки спостережень, категорії земель та основного використання земель, суб'єкт моніторингу земель і ґрунтів може створювати відповідну мережу спостережень.

Моніторинг земель і ґрунтів проводиться такими суб'єктами: Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру (Держгеокадастр), Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів (Міндовкілля), Міністерством аграрної політики та продовольства (Мінагрополітики), Державною екологічною інспекцією (Держекоінспекція), Державною службою з надзвичайних ситуацій (ДСНС), Державним агентством України з управління зоною відчуження (ДАЗВ), Державним агентством лісових ресурсів України (Держлісагентство), Державним агентством України з розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм (Держрибагентство), Державним космічним агентством (ДКА) відповідно до Програми моніторингу земель і ґрунтів. Програма моніторингу земель і ґрунтів розробляється Держгеокадастром із урахуванням пропозицій, поданих суб'єктами проведення моніторингу. Програма моніторингу земель і ґрунтів повинна містити назву заходу і показника, одиниці вимірювання/відображення результату, відповідального за виконання, строк виконання (періодичність).

Вагома роль у моніторингу земель та ґрунтів належить спостереженню за станом сільськогосподарських угідь, що здійснюється Міністерством аграрної політики та продовольства України. Моніторинг земель щодо забруднення ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення включає: агрохімічне обстеження ґрунтів за показниками їх родючості; контроль за змінами якісного стану ґрунтів за показниками забрудненості важкими металами, залишками стійких пестицидів та радіонуклідного забруднення; агрохімічну паспортизацію земельних ділянок.

Агрохімічна паспортизація орних земель проводиться один раз на п'ять років; сіножатей, пасовищ і багаторічних насаджень – один раз на п'ять-десять років. Повне обстеження ґрунтів сільськогосподарських земель проводиться кожні 20 років (табл. 1).

Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів, як основний державний орган з моніторингу довкілля, здійснює моніторинг земель природно-заповідного фонду за динамікою їх площ з інтервалом не рідше одного разу на рік (табл. 2).

Державна екологічна інспекція, як орган, що підпорядкований Міністерству захисту довкілля та природних ресурсів України, проводить моніторинг земель і ґрунтів, які зазнали забруднення, засмічення, негативного впливу надзвичайних ситуацій, в тому числі збройної агресії з інтервалом не менше ніж два рази на рік за динамікою площі ураження (табл. 3).

Таблиця 1

**Показники та періодичність проведення моніторингу земель і ґрунтів  
Міністерством аграрної політики та продовольства**

| Об'єкт моніторингу                                  | Періодичність моніторингу                                                   | Показник моніторингу                                                              | Одиниця виміру     |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Ґрунти на землях сільськогосподарського призначення | Орні землі – один раз на п'ять років                                        | pH водний                                                                         | одиниць pH         |
|                                                     |                                                                             | pH сольовий                                                                       | одиниць pH         |
|                                                     | Сіножаті, пасовища, багаторічні насадження – один раз на п'ять-десять років | Гідролітична кислотність                                                          | ммоль/100 г        |
|                                                     |                                                                             | Сума увібраних основ                                                              | ммоль/100 г        |
|                                                     |                                                                             | Тип і ступінь засолення                                                           | -                  |
|                                                     |                                                                             | Вміст гумусу                                                                      | %                  |
|                                                     | Суцільне ґрунтове обстеження – один раз на 20 років                         | Вміст азоту, що легко гідролізується                                              | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст азоту за нітрифікаційною здатністю                                          | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук фосфору                                                      | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук калію                                                        | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук сірки                                                        | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук бору                                                         | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук молібдену                                                    | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук марганцю                                                     | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук кобальту                                                     | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук міді                                                         | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук цинку                                                        | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук важких металів кадмію                                        | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст рухомих сполук важких металів свинцю                                        | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Загальний вміст ртуті                                                             | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст залишкової кількості пестицидів дихлордифеніл-трихлоретан і його метаболіти | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Вміст залишкової кількості пестицидів гексахлоран (сума ізомерів)                 | мг/кг              |
|                                                     |                                                                             | Щільність забруднення радіонуклідами цезій-137                                    | Кі/км <sup>2</sup> |
|                                                     |                                                                             | Щільність забруднення радіонуклідами стронцій-90                                  | Кі/км <sup>2</sup> |

Таблиця 2

**Показники та періодичність проведення моніторингу земель  
Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів**

| Об'єкт моніторингу               | Періодичність моніторингу    | Показник моніторингу                                                                                      | Одиниця виміру |
|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Землі природно-заповідного фонду | Не менше ніж один раз на рік | Площа територій та об'єктів природно-заповідного фонду загальнодержавного та місцевого значення, зокрема: | -              |
|                                  |                              | площа земельних лісових ділянок, вкритих лісовою рослинністю                                              | тис. га        |
|                                  |                              | площа земельних лісових ділянок, не вкритих лісовою рослинністю                                           | тис. га        |
|                                  |                              | площа водних об'єктів                                                                                     | тис. га        |

Державна служба з надзвичайних ситуацій здійснює моніторинг земель та ґрунтів різного цільового призначення за показниками забруднення залишками стійких хлорорганічних пестицидів, нітратів, важких металів та кислотності (табл. 4).

Державне агентство України з управління зоною відчуження в межах цієї зони, а також частини зони безумовного (обов'язкового) відселення внаслідок катастрофи на Чорнобильській АЕС з інтервалом не менше ніж один раз на рік контролює щіль-



Таблиця 3

**Показники та періодичність проведення моніторингу земель та ґрунтів  
Державною екологічною інспекцією**

| Об'єкт моніторингу                                                                                                                           | Періодичність моніторингу    | Показник моніторингу                                     | Одиниця виміру  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|
| Земельні ділянки, ґрунти яких забруднені, та засмічені                                                                                       | Не менше ніж два рази на рік | Площа земельної ділянки, ґрунти якої зазнали забруднення | км <sup>2</sup> |
| Земельні ділянки, що зазнали негативного впливу внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії і бойових дій під час воєнного стану |                              | Площа засміченої земельної ділянки                       | км <sup>2</sup> |

Таблиця 4

**Показники та періодичність проведення моніторингу земель та ґрунтів  
Державною службою з надзвичайних ситуацій (ДСНС)**

| Об'єкт моніторингу                   | Періодичність моніторингу      | Показник моніторингу                                                                          | Одиниця виміру |
|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Ґрунти різного цільового призначення | Не менше ніж один раз на рік   | Вміст залишкової кількості хлорорганічних пестицидів: дихлордифеніл трихлорметилметан         | мг/кг          |
|                                      |                                | Вміст залишкової кількості хлорорганічних пестицидів: дихлордифеніл дихлоретилен альфа-ізомер | мг/кг          |
|                                      |                                | Вміст залишкової кількості хлорорганічних пестицидів: гексахлорциклогексану                   | мг/кг          |
|                                      |                                | Вміст залишкової кількості хлорорганічних пестицидів: бета-ізомер гексахлорциклогексану       | мг/кг          |
|                                      |                                | Вміст нітратів                                                                                | мг/кг          |
|                                      | Один раз на чотири-п'ять років | Вміст важких металів: кадмій, манган, мідь, нікель, свинець, цинк                             | мг/кг          |
|                                      |                                | Кислотність                                                                                   | одиниць рН     |

Таблиця 5

**Показники та періодичність проведення моніторингу земель та ґрунтів  
Державним агентством України з управління зоною відчуження (ДАЗВ)**

| Об'єкт моніторингу                                                                          | Періодичність моніторингу    | Показник моніторингу                                                                                         | Одиниця виміру     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Ґрунти (у зоні відчуження і відселеній частині зони безумовного (обов'язкового) відселення) | Не менше ніж один раз на рік | Щільність забруднення радіонуклідами: цезій-137, стронцій-90, плутоній-238, плутоній-239 + 240, америцій-241 | Кі/км <sup>2</sup> |

ність забруднення довгоживучими радіонуклідами (табл. 5).

Ґрунти земель лісогосподарського призначення за розподілом площ, описом ґрунтів та щільністю забруднення довгоживучими радіонуклідами підлягають моніторингу з інтервалом не менше одного разу на рік Державним агентством лісових ресурсів України (табл. 6).

Державним агентством України з розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм проводиться моніторинг земель та ґрунтів, що піддаються зрошувальним та осушувальним меліораціям, а також прилеглим до них земель за показниками динаміки площ (табл. 7).

Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру проводиться спостереження за площею сільськогосподарських угідь різного цільового призначення, населених пунктів, зонами і територіями, що можуть негативно впливати на стан земель та ґрунтів. Окремим видом спостережень є берегові лінії річок, морів, озер, водосховищ, лиманів, заток, гідротехнічних споруд, де контролюється їх довжина, конфігурація та ширина. Ці роботи проводяться з інтервалом не рідше двох разів на рік (табл. 8).

Досить широка мережа моніторингу ґрунтів та земель проводиться Державним космічним агентством, що передбачає застосування дистанційних

Таблиця 6

## Показники та періодичність проведення моніторингу земель та ґрунтів Держлісагентством

| Об'єкт моніторингу                           | Періодичність моніторингу    | Показник моніторингу                                                                                                                                         | Одиниця виміру            |
|----------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Ґрунти земель лісогосподарського призначення | Не менше ніж один раз на рік | Площа лісів та інших лісовкритих земель, зокрема:                                                                                                            | -                         |
|                                              |                              | площа земельних лісових ділянок, вкритих лісовою рослинністю                                                                                                 | тис. га                   |
|                                              |                              | площа земельних лісових ділянок, не вкритих лісовою рослинністю                                                                                              | тис. га                   |
|                                              |                              | самозалісені землі                                                                                                                                           | тис. га                   |
|                                              |                              | Щільність забруднення радіонуклідами: цезій-137, стронцій-90                                                                                                 | Ki/км²                    |
|                                              |                              | Опис ґрунту: тип ґрунту (назва групи ґрунтів), назва ґрунту, тип підстилки, механічний склад мінерального ґрунтового горизонту, тип ерозії, поширення ерозії | назва, шифр, тип, тис. га |
|                                              |                              | Розподіл площі насаджень за панівними породами                                                                                                               | тис. га                   |

Таблиця 7

## Показники та періодичність проведення моніторингу земель та ґрунтів Держрибагентством

| Об'єкт моніторингу                                                                                      | Періодичність моніторингу    | Показник моніторингу                                                                                | Одиниця виміру |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Меліоративний стан зрошуваних та осушуваних земель, а також ґрунтів у зонах впливу меліоративних систем | Не менше ніж один раз на рік | Площа зрошуваних та осушуваних земель                                                               | га             |
|                                                                                                         |                              | Площа зрошуваних та осушуваних і прилеглих до них земель за глибиною залягання рівнів ґрунтових вод | га             |
|                                                                                                         |                              | Площа зрошуваних земель за ступенем засолення                                                       | га             |
|                                                                                                         |                              | Площа осушуваних земель за ступенем кислотності ґрунтів                                             | га             |

Таблиця 8

## Показники та періодичність проведення моніторингу земель та ґрунтів Держгеокадастром

| Об'єкт моніторингу                                                                   | Періодичність моніторингу    | Показник моніторингу                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Одиниця виміру |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Землі і ґрунти                                                                       | Не менше ніж два рази на рік | Площа сільськогосподарських угідь, вкритих деревинною та чагарниковою рослинністю                                                                                                                                                                                                                                               | тис. га        |
|                                                                                      |                              | Площа сільськогосподарських угідь, які систематично обробляються і використовуються під посіви сільськогосподарських культур                                                                                                                                                                                                    | тис. га        |
|                                                                                      |                              | Площа земель населених пунктів, територій, зайнятих нафтогазовидобувними об'єктами, очисними спорудами, гноєсховищами, складами пально-мастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, гірничими об'єктами, місцями захоронення відходів промисловості і радіоактивних відходів, а також іншими промисловими об'єктами | тис. га        |
|                                                                                      |                              | Площа деградованих і малопродуктивних земель, а також техногенно забруднених земельних ділянок                                                                                                                                                                                                                                  | тис. га        |
| Берегові лінії річок, морів, озер, водосховищ, лиманів, заток, гідротехнічних споруд | Не менше ніж два рази на рік | Довжина, конфігурація                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | км             |

методів спостереження за виявленням теплових аномалій, паводками, повенями, сніговим та льодовим покривом, пожежонебезпечними територіями, оцінкою вегетаційних індексів рослинності та її загибелі, посухи, вологості і температури ґрунтів, забруднених ділянок водойм, температурою водної поверхні. Ці спостереження мають проводитися щоденно з урахуванням сезонних особливостей. Цілодобово проводяться спостереження за ризиком виникнення землетрусів, техногенних вибухів, падіння космічних об'єктів, динамікою радіаційного фону. На запит

органів державної влади або сил безпеки можливий моніторинг затоплених територій, нецільового використання забруднених земель, видобутку корисних копалин, зміни лісового покриву, вертикальної деформації земної поверхні, підтвердження фактів військової агресії проти України (табл. 9).

Для забезпечення прозорості та інформаційного обміну даними моніторингу земель і ґрунтів, стану земель та землекористування, а також інформаційних потреб у сфері охорони земель, запроваджено та використовується автоматизована інформаційна

Таблиця 9

**Показники та періодичність проведення моніторингу земель та ґрунтів  
Державним космічним агентством (ДКА)**

| Об'єкт моніторингу                                                                                        | Періодичність моніторингу                                                       | Показник моніторингу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Одиниця виміру                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Територія України за даними дистанційного зондування Землі низької просторової розрізненості              | Щоденно за сприятливих погодних умов                                            | Місцезнаходження теплових аномалій                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | координати аномалії                                                        |
| Територія України за даними дистанційного зондування Землі низької та середньої просторової розрізненості | Щоденно за сприятливих погодних умов відповідно до сезонних потреб користувачів | Паводково-небезпечні території, місцевість, що постраждала від повені; Льодовий та сніговий покрив; Пожежонебезпечні території; Оцінка вегетації; Оцінка посухи; Оцінка вологовмісту земель; Температура земної поверхні; Забруднені ділянки Азовського та Чорного морів поверхнево-активними речовинами; Температура водної поверхні; Постраждалі від вимерзання озимі сільськогосподарські культури; Ділянки водної поверхні з підвищеною концентрацією хлорофілу-А | тематична карта                                                            |
| Територія України за даними дистанційного зондування Землі                                                | На запит органів державної влади або сил безпеки                                | Затоплена місцевість                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | тематична карта                                                            |
|                                                                                                           |                                                                                 | Ймовірне нецільове використання та забруднення земель; Видобуток корисних копалин; Зміна лісового покриву                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | тематична карта                                                            |
|                                                                                                           |                                                                                 | Підтвердження фактів військової агресії проти України                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | тематична карта                                                            |
| Територія України за даними радіолокаційної космічної зйомки                                              | На запит органів державної влади або сил безпеки                                | Вертикальні деформації земної поверхні                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | тематична карта                                                            |
| Земна куля за даними сейсмічного контролю                                                                 | Цілодобово                                                                      | Місцезнаходження та магнітуда землетрусу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | інформаційне повідомлення про подію                                        |
| Земна куля за даними спеціального контролю                                                                | Цілодобово                                                                      | Місцезнаходження техногенного вибуху                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | інформаційне повідомлення про подію                                        |
| Територія України за даними радіаційного контролю                                                         | Цілодобово                                                                      | Радіаційний фон                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | інформаційне повідомлення про перевищення середньо-статистичних показників |
| Навколоземний простір                                                                                     | Цілодобово                                                                      | Небезпечні зближення космічних об'єктів, загроза падіння уламків на територію України                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | інформаційне повідомлення про загрозу                                      |

система моніторингу земель і ґрунтів. Вона містить базові (вихідні, що фіксують стан об'єкта спостереження на момент початку моніторингу земель і ґрунтів) показники агрохімічних обстежень ґрунтів сільськогосподарських угідь, що базуються на даних X-го туру агрохімічних обстежень ґрунтів сільськогосподарських угідь (2011–2015 рр.).

Власником (держателем) інформаційної системи автоматизованого моніторингу земель і ґрунтів та виключного права власності на її програмне забезпечення та інформацію, що міститься в цій системі, є держава в особі Держгеокадастру, який забезпечує її створення та функціонування, визначає вимоги до програмного забезпечення інформаційної системи автоматизованого моніторингу земель і ґрунтів, організовує його розробку та спрямовує діяльність розпорядників інформаційної системи автоматизованого моніторингу земель і ґрунтів; оприлюднює один раз на рік на офіційному веб-сайті Держгеокадастру результати проведення моніторингу земель і ґрунтів.

Автоматизовані інформаційні системи моніторингу земель і ґрунтів збирають, обробляють, передають, зберігають та аналізують інформацію про стан земель і ґрунтів, отриману шляхом систематичних спостережень за станом земель і ґрунтів та формують результати моніторингу земель і ґрунтів.

При розробці національних і регіональних програм використання та охорони земель і визначенні першочергових, довгострокових заходів з охорони земель, слід враховувати результати моніторингу земель і ґрунтів, які вказують на необхідність проведення заходів з охорони, збереження та відтворення родючості ґрунтів.

Результати моніторингу земель і ґрунтів можуть бути представлені у текстовому, графічному, картографічному та табличному форматах за допомогою програмного забезпечення «Автоматизована інформаційна система моніторингу земель і ґрунтів». Адміністратор автоматизованої інформаційної системи моніторингу земель і ґрунтів забезпечує подання результатів моніторингу земель і ґрунтів до Держгеокадастру один раз на рік та розміщення їх на офіційному веб-сайті Держгеокадастру.

Технічні та програмні засоби, необхідні для оприлюднення результатів моніторингу земель і ґрунтів, повинні забезпечувати користувачам мож-

ливість цілодобового перегляду, копіювання та роздрукування результатів моніторингу земель і ґрунтів. Пошук, перегляд, копіювання та роздрукування результатів моніторингу земель і ґрунтів, розміщених на офіційному веб-сайті Держгеокадастру, здійснюється безоплатно.

Доступ до результатів моніторингу земель та ґрунтів має будь-яка кількість осіб. Доступ до автоматизованої інформаційної системи моніторингу земель і ґрунтів надається користувачам через електронний кабінет, що дозволяє самостійно переглядати та завантажувати результати моніторингу земель і ґрунтів.

**Головні висновки.** Моніторинг земель і ґрунтів, відповідно до нового Порядку здійснення моніторингу земель і ґрунтів, включає систематичні спостереження за станом земель і ґрунтів, виявлення у них змін, зокрема із використанням даних дистанційного зондування Землі, а також проведення оцінки: стану використання сільськогосподарських угідь; процесів, пов'язаних із змінами родючості ґрунтів, заростанням земельних ділянок, забрудненням земель пестицидами, важкими металами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами; стану берегових ліній водойм, гідротехнічних споруд; процесів, пов'язаних із утворенням ярів, зсувів, із сільовими потоками, землетрусами, карстовими, кріогенними та іншими явищами; стану земель населених пунктів, територій, зайнятих нафтогазовидобувними об'єктами, очисними спорудами, гноєсховищами, складами пально-мастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, гірничими об'єктами, місцями захоронення відходів промисловості і радіоактивних відходів, а також іншими промисловими об'єктами; процесів, пов'язаних із забрудненням ґрунтів, засміченням земельних ділянок внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії і бойових дій під час воєнного стану. Визначено суб'єкти моніторингу та розподілено між ними функції.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Новий Порядок здійснення моніторингу земель і ґрунтів в Україні сприятиме поліпшенню системи спостереження та виявлення і своєчасного усунення проблем з екологічним станом ґрунтів та земель.

### Література

1. Шарий Г.І., Тимошевський В.В., Міщенко Р.А., Юрко І.А. Управління земельними ресурсами: навчальний посібник. Полтава: ПолтНТУ, 2019. 172 с.
2. Кривов В.М. Екологічно безпечне землекористування Лісостепу України. Проблема охорони ґрунтів. К.: Урожай, 2008. 304 с.
3. Іванюк Г.С. Класифікація і діагностика ґрунтів: навч. посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. 334 с.
4. Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В.Б. Моніторинг довкілля: підручник. Херсон, 2019. 530 с.
5. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля: підручник. Рівне: НУВГП, 2023. 350 с.
6. Ткачук О.П. Моніторинг довкілля: курс лекцій та практичні заняття: навчально-методичний посібник. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2014. 418 с.

7. Мудрак О.В., Мудрак Г.В. Екологічний моніторинг агроландшафтів України, як основа їх оптимізації та ефективного використання. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 14. С. 231–244.
8. Патики В.П., Тараріко О.Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація с.-г. земель. К.: Фітосоціоцентр, 2002. 295 с.
9. Панас Р.М. Основи моніторингу та прогнозування використання земель. Львів: Новий світ-2000, 2017. 224 с.
10. Кабінет Міністрів України. Постанова від 23 липня 2024 р. № 848. Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів. Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення 16.02.2025).

УДК 631.445.4:504.53(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.29>

## ГЕОГРАФІЯ ҐРУНТІВ: ІСТОРИЧНІ ЗМІНИ, СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВІДНОВЛЕННЯ ЧОРНОЗЕМІВ УКРАЇНИ

Браславська О.В., Грицик О.М., Рожі Т.А.

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
вул. Садова, 2, 20300, м. Умань

[oksana.braslavska@udpu.edu.ua](mailto:oksana.braslavska@udpu.edu.ua), [oleggricik32@gmail.com](mailto:oleggricik32@gmail.com), [tomas.rozhi.94@gmail.com](mailto:tomas.rozhi.94@gmail.com)

У статті детально розглянуто сучасні проблеми, пов'язані зі станом чорноземів України, які є стратегічно важливим ресурсом для аграрного сектору та відіграють ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки держави. Проаналізовано територіальні особливості асиміляційного потенціалу ґрунтів, які демонструють значну різницю між регіонами України: у західних областях виявлено найнижчий рівень цього показника, тоді як центральні та східні регіони мають більш сприятливі умови для протидії забрудненню важкими металами. Оцінено вплив різних типів землекористування на структурний стан чорноземів, що дозволило встановити, що розорювання істотно знижує їхню водостійкість і кількість агрономічно цінних агрегатів, тоді як ґрунти цілинних екосистем і ділянок під лісосмугами характеризуються високою стійкістю структури. Обґрунтовано необхідність реалізації комплексних заходів для відновлення чорноземів, що включають раціональне використання органічних добрив, впровадження сидератів, зрошення, застосування фіторе mediaційних технологій і здійснення активного контролю за рівнем техногенного забруднення. Акцентовано увагу на важливості збільшення частки активного гумусу, який суттєво впливає на агрохімічні властивості ґрунтів і їхню здатність до відновлення. Розроблено перспективні сценарії сталого відновлення чорноземів, які базуються на досягненні балансу між економічним розвитком та екологічною стійкістю. Запропоновано створення інституційного механізму управління дефіцитом асиміляційного потенціалу ґрунтів, що передбачає інтеграцію системи екологічного моніторингу, розробку програм підтримки органічного землеробства та впровадження інноваційних агротехнологій. Отримані результати формують сучасний рівень важливості як теоретичного, так і практичного спрямування, оскільки сприяють розумінню базових механізмів і причин деградації ґрунтів і визначенню першочергових заходів для їх збереження, відновлення та належної підтримки довготривалої родючості, необхідної для стабільного функціонування агроекосистем України. *Ключові слова:* чорноземи України, агрономічний потенціал, відновлення ґрунтів, асиміляційний потенціал, екологічний моніторинг, інноваційні агротехнології, ґрунт.

**Soil geography: historical changes, current status and prospects for the restoration of the black soils of Ukraine. Braslavska O., Grytsyk O., Rozhi T.**

The article examines in detail the current problems associated with the black soils of Ukraine, which are a strategically important resource for the agricultural sector and play a key role in the food security of the country. The territorial features of the assimilation potential of soils have been analyzed, which demonstrate a significant difference between the regions of Ukraine: in the outer regions the lowest level of this indicator has been revealed, then As the central and similar regions are more amenable to preventing contamination by important metals. The influx of various types of land development into the structural structure of chernozems has been assessed, which made it possible to establish that erosion significantly reduces their water resistance and the quantity of agronomically valuable aggregates, such as Soils of intact ecosystems and plots under forest-smudges are characterized by high structural stability. The necessity of implementing complex approaches for the renewal of black soils is emphasized, which includes the rational addition of organic fertilizers, the introduction of green manures, the fertilization, and the stagnation of phytoremediation technology and the creation of active control over the level of technogenic pollution. Emphasis is placed on the importance of increasing the amount of active humus, which naturally contributes to the agrochemical power of soils and their life before renovation. Promising scenarios for the modernization of black soils have been developed, which are based on the achieved balance between economic development and environmental sustainability. The creation of an institutional mechanism for managing the deficit in the assimilation potential of soils has been established, which transfers the integration of the environmental monitoring system and the development of support programs organic farming and the promotion of innovative agricultural technologies. The results may have important theoretical and practical significance, as they highlight the key mechanisms of soil degradation and the importance of early interventions for their conservation, renewal and nourishment meets the fertility requirements necessary for the stable functioning of Ukrainian agroecosystems. *Key words:* black soils of Ukraine, agronomic potential, soil renewal, assimilation potential, environmental monitoring, innovative agricultural technologies.

**Постановка проблеми.** Географія ґрунтів є ключовою складовою дослідження екосистемних процесів, яка дозволяє не лише глибше зрозуміти особливості історичної трансформації ґрунтового покриву, а й оцінити сучасний стан ґрунтів і визначити пер-

спективи їх ефективного відновлення з метою збереження родючості. Чорноземи України, які традиційно характеризуються високими показниками продуктивності, внаслідок тривалого антропогенного впливу, зокрема інтенсивного використання

у сільському господарстві, ерозійних процесів, загальної деградації та змін кліматичних умов, перебувають у стані, який викликає серйозні екологічні та економічні загрози. Зниження родючості цих ґрунтів створює значні ризики для продовольчої безпеки держави та стримує стійкий розвиток аграрного сектору, що, у свою чергу, вимагає дій і розробки комплексних підходів до їх збереження, адаптації та відновлення, з урахуванням як історичного контексту, так і сучасних біоекологічних тенденцій, із залученням інноваційних методів та інструментів.

**Актуальність дослідження.** Враховуючи той факт, що Україна є власницею майже чверті всіх світових запасів чорноземів, вона посідає важливе місце у глобальному аграрному виробництві, але надмірна експлуатація земель, нехтування раціональними принципами природокористування, збільшення техногенного навантаження та вплив кліматичних змін призводять до деградацій відчутних ґрунтового покриву, і створюють загрозу його екологічній стабільності. Відновлення чорноземів вже стало не лише факторним завданням для підтримки сталого сільськогосподарського виробництва, але й критично необхідним кроком для збереження широкого біорізноманіття.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Наукові дослідження, проведені авторами, спрямовані на глибоке вивчення динаміки змін, які відбулися у чорноземах України за останні десятиліття з метою визначення основних чинників їх деградації та розробки адаптивних підходів до їх відновлення. В координатах поточного дослідження авторами здійснено детальний аналіз поточного стану чорноземів зі застосуванням геоінформаційних систем, змодельовано вплив кліматичних змін і антропогенних факторів, а також обґрунтовано можливість використання інноваційних технологій для збереження ґрунтів. Отримані результати не лише розширюють наукове уявлення про географію ґрунтів, зокрема чорноземів, але й пропонують практичні рішення, які можуть бути використані для формування ефективної політики у сфері раціонального природокористування та сталого розвитку аграрного сектору України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах провідних науковців, зокрема в роботі від Топольний Ф., Топольний С. [13], охарактеризовано методи оцінки асиміляційного потенціалу ґрунтів, що дозволяють визначати вплив важких металів на їхню продуктивність та екологічну стабільність. Методика біологічного поглинання мікроелементів, стала базою для аналізу взаємозв'язків між фізико-хімічними властивостями ґрунтів, рослинністю та забруднювачами. Вагомий внесок у вивчення фізико-хімічних характеристик чорноземів зроблено рядом вітчизняних вчених: Ковальов М., Медведєва О., Мірзак Т. [4], Попірний М. [11], дослідження яких акцентують увагу на суттєвому зниженні рівня гумусу за останні

десятиліття. Така тенденція обумовлена зменшенням використання органічних добрив і посиленням техногенного навантаження на ґрунти. Аналіз територіальної диференціації асиміляційного потенціалу, здійснений Кравченко Ю. [7], виявив значні регіональні відмінності: найнижчі показники властиві західним областям, тоді як ґрунти центральних і східних регіонів мають кращу здатність до протистояння забрудненню.

Сучасні дослідження наголошують на негативному впливі інтенсивного землекористування, зокрема розорювання, на структуру ґрунтів. Зокрема, у наукових роботах Центилю Л. [14], Уайт Р. [23], підкреслюється зменшення водостійкості чорноземів та втрата агрономічно цінних агрегатів. Водночас ґрунти цілинних екосистем і під лісосмугами демонструють високу структурну стійкість, що вказує на необхідність збереження природних екосистем як невід'ємної частини управління земельними ресурсами. Окремо слід виділити наукові досягнення від Ковальов М., Топольний Ф., Малаховська В. [5], Дінеш Г.К., Синдуджа М., Пріанка Б. [18], де увага приділена розробці інноваційних рішень для відновлення чорноземів, і самі ці дослідження підтверджують ефективність використання органічних добрив, сидератів, технологій зрошення та фіторе mediaційних методів, які сприяють підвищенню вмісту гумусу і покращенню фізико-хімічних властивостей ґрунтів.

Отже, сучасна наукова література охоплює як теоретичні основи, так і практичні аспекти відновлення чорноземів України, однак подальші дослідження повинні зосередитися на детальному аналізі регіональних особливостей деградації ґрунтів і розробці адаптованих механізмів їхнього відновлення.

*Метою статті є дослідження сучасного стану чорноземів України, визначення факторів їхньої деградації та розробка рекомендацій для відновлення родючості й екологічної стабільності ґрунтів.*

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Недостатньо вивченими залишаються питання впливу різних типів землекористування на структурний стан чорноземів та динаміку зниження їхнього гумусового потенціалу під впливом техногенних і природних факторів. Також існує потреба у створенні регіонально адаптованих механізмів управління дефіцитом асиміляційного потенціалу ґрунтів, що враховують специфіку забруднення важкими металами та нерівномірність ґрунтових властивостей у різних зонах країни. Невирішеним залишається питання інтеграції інноваційних агротехнологій, таких як фіторе mediaційні методи, сучасні системи зрошення, та розробки ефективних екологічних програм, спрямованих на збільшення вмісту гумусу та покращення структурного стану ґрунтів. Крім того, недостатньо уваги приділено встановленню балансу між економічним зростанням і фактором екологічної стійкості відновлення чорноземів України.

**Новизна.** У статті проаналізовано територіальну диференціацію асиміляційного потенціалу ґрунтів з акцентом на західні, центральні та східні регіони України, що дозволило ідентифікувати критичні зони з підвищеним рівнем забруднення та деградації та було виявлено залежність між типами землекористування та динамікою гумусового потенціалу, що дозволяє оцінити вплив різних агротехнічних практик на структуру ґрунту та його водостійкість. Наукова новизна визначається також і в обґрунтуванні перспективних сценаріїв відновлення українських чорноземів, які базуються на поєднанні економічного розвитку та аспекту екологічної рівноваги, з акцентом на широку імплементацію органічного землеробства, технологій зрошення та забезпечення практики екологічного моніторингу.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Відповідно до методологічних принципів дослідження природних зон, степова зона України виступає унікальним прикладом для вивчення інтеграційного впливу кліматичних, ґрунтових та екологічних чинників, що формують природно-антропогенне середовище. Враховуючи особливості її помірно континентального клімату, який характеризується недостатньою кількістю опадів, помірно холодними зимами та тривалим спекотним літом, дослідження цієї території дозволяє визначити ключові закономірності взаємодії кліматичних змін із ґрунтовими процесами. Сума активних температур, що сягає 2800–3300°C, у поєднанні з тривалим безморозним періодом у 170–190 днів, створює сприятливі умови для аналізу динаміки теплового забезпечення у формуванні ґрунтового покриву. Кліматичні умови степової зони, зокрема варіативність опадів від 475 мм на півночі до 350 мм на півдні, визначають особливості промокання ґрунтів і структуру ґрунтового профілю, що є важливим аспектом для узагальнення знань про гідротермічні фактори в агроландшафтах. Поділ степової зони на північностепову із переважанням звичайних чорноземів та середньостепову, де домінують південні чорноземи, дозволяє досліджувати їхні специфічні властивості та процеси формування, які відбувалися під впливом різнотравно-типчаково-ковилової рослинності на лесових породах. У методологічному аспекті такі дослідження дають змогу встановити фундаментальні принципи взаємозв'язку біогеоценотичних і ґрунтоутворних процесів у зональних умовах.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз сучасного стану ґрунтів України є важливим кроком для визначення регіонів із найвразливішим природним асиміляційним потенціалом, що дозволяє розробляти стратегії ефективного відновлення та збереження чорноземів. За результатами досліджень НАН України, приблизно 10% посівних земель країни розташовано у Поліській зоні, тоді як 40% зосереджено у Лісостепу, а решта 50% припадає на Степову зону,

що свідчить про домінування степових і лісостепових територій у структурі сільськогосподарських угідь. Ґрунтовий покрив України, представлений понад 650 типами ґрунтів, зокрема включає значні площі чорноземів, які є ключовим ресурсом аграрного сектору. Згідно з ґрунтовими картами та даними щодо розподілу типів ґрунтів у різних регіонах країни, чорноземи звичайні займають близько 9 млн га, чорноземи типові – 7,2 млн га, а чорноземи південні – 3,2 млн га. Інші види ґрунтів, такі як дерново-опідзолисті, темно-сірі лісові, темно-каштанові та дерново-підзолисті, займають значно менші площі, однак відіграють важливу роль у підтримці екосистемної рівноваги [10, с. 45–47].

У Поліській зоні переважають дерново-підзолисті ґрунти, які займають понад 55% території, тоді як інші типи мають менш значну частку: лучно-болотні ґрунти поширені на 13% території, торф'яно-болотні – на 12%, сірі лісові ґрунти – на 6%, а дерново-підзолисті оглеєні та дерново-карбонатні займають лише 2% території. Ця неоднорідність у розподілі ґрунтових типів потребує особливої уваги для визначення оптимальних методів відновлення родючості, зокрема чорноземів, через застосування сучасних агротехнічних підходів та раціонального управління земельними ресурсами (рис. 1).

У межах Лісостепової зони України ґрунтовий покрив характеризується домінуванням сірих лісових ґрунтів, які займають близько 45% території, та чорноземів, частка яких становить 40%, тоді як дерново-підзолисті ґрунти поширені лише на 3% площі цієї зони. У Степовій зоні спостерігається значна перевага чорноземів, які охоплюють три чверті території, проте більшість із них мають низький або середній вміст гумусу. Темно-каштанові ґрунти займають близько 10% площі степу, а солончаки становлять лише 1,5%, що свідчить про низький рівень їх придатності для сільськогосподарського використання. У Карпатах ґрунтовий покрив переважно представлений різними підтипами бурих гірських ґрунтів, які займають від 50% до 60% площі відповідних зон [1, с. 8–9].

З урахуванням сучасних даних про кислотність ґрунтового середовища та вміст гумусу, аналіз дозволяє визначити області з найбільш вразливим асиміляційним потенціалом, що є ключовим для оцінки їхньої здатності протистояти забрудненню важкими металами. Зокрема, результати досліджень свідчать, що ґрунти Волинської, Закарпатської, Житомирської, Львівської та Рівненської областей мають вкрай низький асиміляційний потенціал, що ускладнює їх відновлення за умов техногенного навантаження. У Хмельницькій, Чернігівській, Київській, Чернівецькій та Івано-Франківській областях асиміляційний потенціал оцінюється як слабкий, тоді як більшість інших регіонів демонструють середній або нормальний рівень, за винятком окремих локальних ділянок [17].



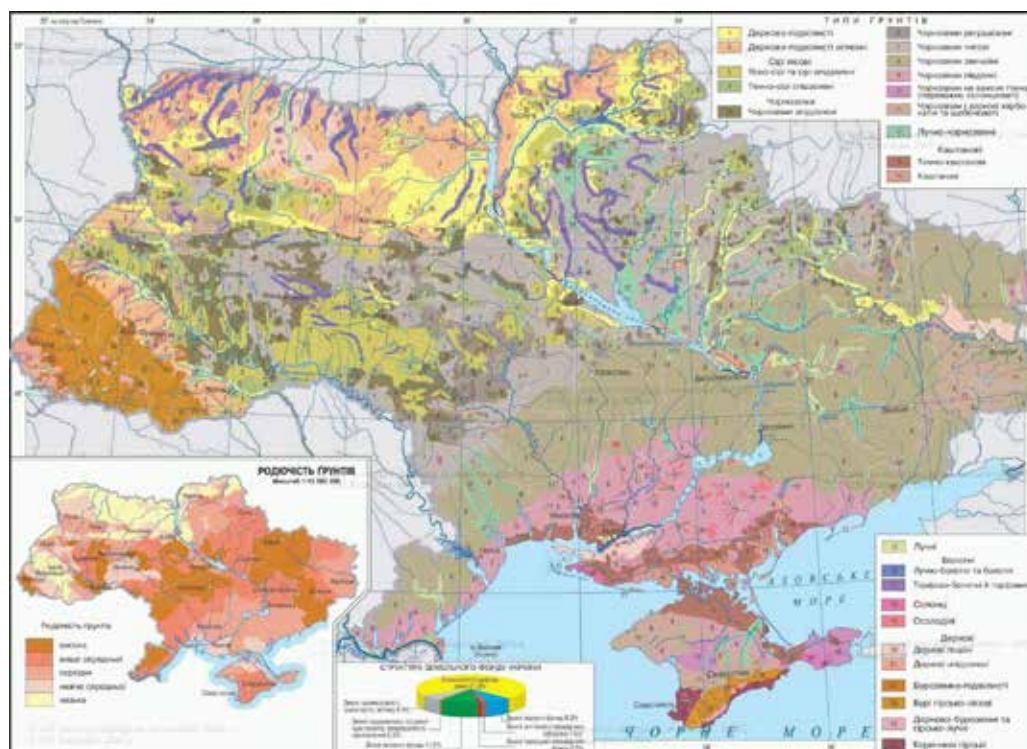


Рис. 1. Стратифікація ґрунтів України (стан 2021 р.). [2]

Критично важливим показником для відновлення чорноземів залишається вміст гумусу, адже саме його кількість визначає родючість ґрунту та його здатність до відновлення в умовах зростаючого антропогенного впливу (табл. 1). Перспективи відновлення чорноземів України залежатимуть від інтеграції науково обґрунтованих агротехнічних підходів, спрямованих на збереження та поступове покращення їхніх фізико-хімічних властивостей.

За останні два десятиліття, що минули з часу проведення останнього ґрунтового-агрохімічного моніторингу, відбулося суттєве зниження середнього вмісту гумусу у всіх природних зонах України, що пов'язано передусім зі зменшенням обсягів внесення органічних добрив. Такого плану тенденція не лише негативно впливає на родючість ґрунтів, але й робить їх більш уразливими до накопичення важких металів, що створює додаткові екологічні та аграрні ризики. Так для оцінки біологічного поглинання мікроелементів, який передбачає розрахунок коефіцієнтів, що визначають співвідношення вмісту мікроелементів у золі рослин до їхнього вмісту у ґрунті. Виокремлені коефіцієнти були розподілені

на п'ять груп залежно від інтенсивності асиміляції елементів рослинами, що стало основою для розуміння механізмів взаємодії ґрунту, рослин і мікроелементів у природних та антропогенно змінених екосистемах (табл. 2).

Сучасний стан чорноземів вимагає активного впровадження інноваційних агротехнологій для їхнього відновлення, зокрема тих, що спрямовані на підвищення рівня гумусу шляхом раціонального використання органічних добрив, сидератів та біопрепаратів. Знання про інтенсивність біологічного поглинання мікроелементів дозволяє краще розуміти процеси, що впливають на якість чорноземів, та розробляти ефективні стратегії їхньої реабілітації, спрямовані на підвищення стійкості ґрунтів до техногенних і кліматичних загроз [10].

У контексті сучасного стану ґрунтів України питання накопичення важких металів, таких як ртуть і кадмій, набуває особливої актуальності, оскільки саме ці елементи характеризуються найвищим рівнем токсичності для рослин. Як свідчать результати досліджень, констатуємо, що значне перевищення допустимого вмісту важких металів у ґрунті чинить

Таблиця 1

## Зміст гумусу в ґрунтах різних зон України

| Зони         | Зміст гумусу, % | Зменшення гумусу, % |
|--------------|-----------------|---------------------|
| Полісся      | 2,18            | 0,04                |
| Лісостеп     | 3,27            | 0,09                |
| Степова зона | 3,45            | 0,09                |

Таблиця 2

## Коефіцієнт біологічного поглинання (Асиміляції) [1]

| Мікроелемент                               | КБП                                 | Ряди біологічного поглинання    |
|--------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| P, S, Cl, I                                | $n \cdot 10^{-n} \cdot 10^2$        | Енергійно накопичувані елементи |
| K, Ca, Mg, Na, Zn, Ag                      | $n \cdot 10^0 - n \cdot 10^1$       | Сильно накопичувані             |
| Mn, Ba, Cu, Ni, Co, Mo, As, Cd, Be, Hg, Se | $n \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^0$    | Середнього накопичення          |
| Fe, Si, F, V                               | $n \cdot 10^{-1}$                   | Слабого накопичення             |
| Ti, Cr, Pb, Al                             | $n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-1}$ | Дуже слабого накопичення        |

істотний негативний вплив на врожайність сільськогосподарських культур [16, с. 561]. Це явище пов'язане зі здатністю важких металів пригнічувати функції вегетативних і репродуктивних органів рослин, що знижує їхню здатність до нормального розвитку та продуктивності (табл. 3).

Таблиця 3

## Залежність між врожайністю і ступенем забруднення ґрунту важкими металами [15]

| Зниження врожаю або його якості, % | Рівень забруднення ґрунту |
|------------------------------------|---------------------------|
| <5                                 | Практично не забруднені   |
| 6-10                               | Слабко забруднені         |
| 11-25                              | Середньо забруднені       |
| 26-50                              | Сильно забруднені         |
| 51-75                              | Дуже сильно забруднені    |
| >75                                | Критично забруднені       |

Сучасний стан чорноземів вимагає впровадження комплексних заходів, спрямованих на зниження рівня накопичення токсичних елементів у ґрунтах,

серед яких першочергового значення набувають технології екологічного моніторингу, фітореMediaції, а також підвищення ефективності агротехнічних прийомів. Перспективи відновлення чорноземів України значною мірою залежать від здатності застосовувати інноваційні підходи, спрямовані на нейтралізацію токсичних елементів та запобігання їхньому подальшому накопиченню. Ці заходи створюють умови для покращення стану ґрунтів, збереження їхньої родючості та забезпечення сталого розвитку агросфери [21].

Використання агрохімічних методів, відкриває можливості для проведення детальної оцінки рівня забруднення ґрунтів важкими металами в різних регіонах України, що є критично важливим у контексті відновлення чорноземів. Відправною точкою для такого аналізу є розуміння того, що асиміляційний потенціал ґрунтів, тобто їх здатність до нейтралізації шкідливих речовин, є значно нижчим у західних областях країни, тоді як у центральних і східних регіонах цей потенціал є кращим завдяки вищому вмісту гумусу та оптимальним параметрам рН (рис. 2) [3, с. 14].

Порівняльний аналіз врожайності зернових і зернобобових культур за 2000-й та 2022-й роки

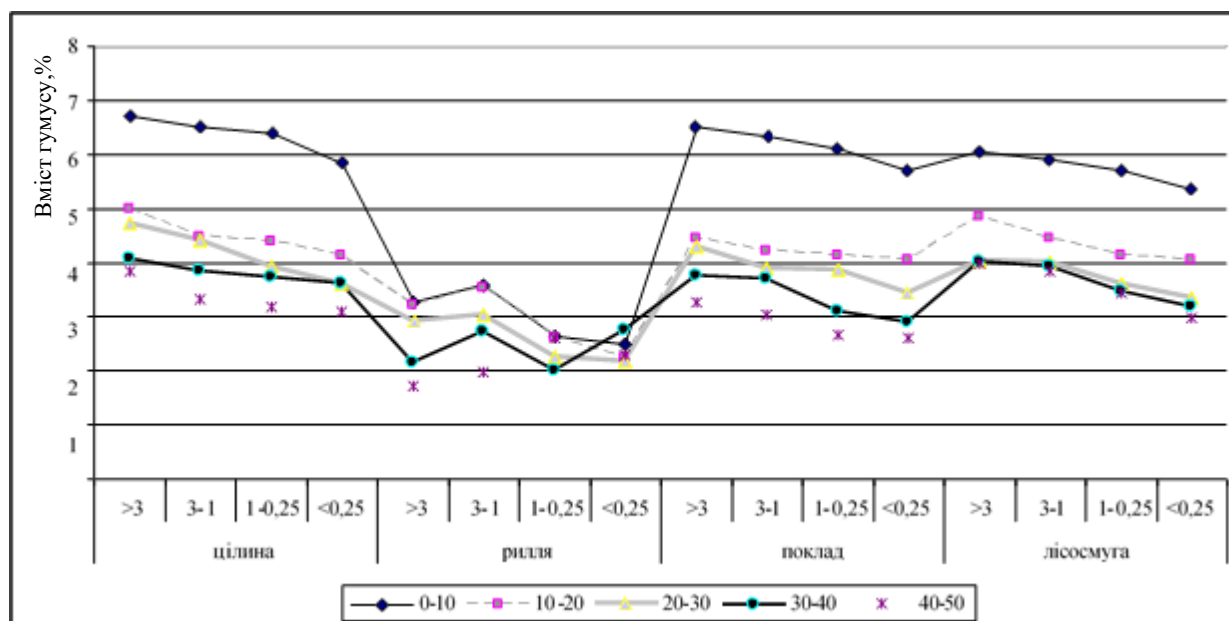


Рис. 2. Зміст пасивного гумусу в структурних агрегатах чорнозему на території України

Джерело: побудовано авторами на основі [5, 10]

демонструє суттєві відмінності у динаміці продуктивності, що зумовлені рівнем забруднення ґрунтів важкими металами. Найбільше зниження врожайності спостерігається в промислово розвинених регіонах, таких як Донецька, Дніпропетровська, Запорізька та Полтавська області, де перевищення асиміляційної ємності ґрунтів стало критичним, що вказує на той факт, що навіть у регіонах із традиційно високим вмістом гумусу та сприятливими ґрунтовими умовами тривалий вплив техногенного забруднення перевищив можливості природної регенерації педосфери. Для вирішення цієї проблеми пропонується розробка інституційного механізму управління дефіцитом асиміляційного потенціалу ґрунтів, який може базуватися на кількох сценаріях. Перший сценарій передбачає зниження темпів утворення відходів і стримування економічного зростання до моменту, коли екосистема зможе самостійно асимілювати забруднення [9]. Цей підхід дозволяє зберегти екологічну рівновагу, однак ставить під сумнів можливість сталого економічного розвитку.

Другий сценарій передбачає поступове зниження рівня споживання природних ресурсів та обсягів відходів шляхом впровадження інноваційних екологічно чистих технологій. Подібного роду підхід, який базується на механізмах Кіотського протоколу, дозволяє тимчасово пом'якшити проблему перевищення асиміляційної ємності ґрунтів. Проте слід усвідомлювати, що в довгостроковій перспективі знову виникне необхідність пошуку нових рішень для забезпечення екологічної та економічної стабільності.

Третій сценарій розвитку, спрямований на забезпечення гармонійного балансу між економічним зростанням та допустимими навантаженнями на екосистему, є перспективним варіантом сталого розвитку. Цей підхід передбачає розробку чітких механізмів оцінки та регулювання залежності між темпами соціально-економічного прогресу та виснаженням природного капіталу, з урахуванням асиміляційної здатності довкілля [20].

Дослідження властивостей гумусу у ґрунтах України демонструють важливу роль його активної та пасивної форм у підтриманні родючості чорноземів. Пасивний гумус, представлений складовими, що формують стійкі хімічні зв'язки з мінеральною частиною ґрунту, відіграє ключову роль у довготривалому збереженні структури ґрунту, тоді як активний гумус залишається більш мобільним і безпосередньо впливає на агрохімічні властивості. Дослідження також показали, що пасивний гумус переважає в структурних агрегатах більшого розміру (>3 мм), зокрема у шарі 0–10 см, де його вміст становить 6,72%, тоді як активного гумусу в цьому ж шарі лише 3,02%. Ця тенденція зберігається і в агрегатах розміром 3–1 мм, де спостерігається ще більша перевага пасивного гумусу [22, с. 28]. Перспективи відновлення чорноземів полягають у комплексному підході, що включає збереження пасивного гумусу, раціональне використання органічних добрив та зменшення деградації ґрунтів через контроль за інтенсивністю їх обробітку (табл. 4).

Накопичення гумусу під покривом рослинності, особливо пасивної його форми, є важливим процесом, що відбувається у ґрунтах України. У дослідженнях виявлено, що вміст пасивного гумусу у ґрунті становить 5,48%, тоді як активного лише 2,57%, із незначною часткою колоїдного гумусу – близько 0,6%. У ґрунтах під лісосмугами пасивна форма гумусу домінує над активною у всіх структурних агрегатах, причому у верхньому шарі ґрунту (0–20 см) ця перевага майже подвоюється, а з глибиною поступово зменшується.

У ґрунтах природних цілинних екосистем зберігається найбільша кількість агрономічно цінних структурних агрегатів, що сприяє збереженню їх родючості та фізичної стабільності. Однак розорювання цілинних чорноземів значно знижує вміст таких агрегатів, у результаті чого коефіцієнт структурності ґрунту зменшується приблизно втричі порівняно зі станом природних ґрунтів. Чорноземи цілинних екосистем і ґрунти під покладом мають найвищі показники водостійкості, які суттєво перевищують

Таблиця 4

## Перспективи і інструменти відновлення чорноземів України (сформовано авторами)

| Інструмент                     | Механізм дії               | Переваги                | Недоліки                       | Перспективи впровадження                     |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
| Органічні добрива              | Відновлення гумусу         | Покращення родючості    | Висока вартість                | Широке використання в агросекторі            |
| Сидерати                       | Збагачення ґрунту азотом   | Екологічність           | Тривалий ефект                 | Перехід на сталі агротехнології              |
| Зрошення                       | Підтримка вологості ґрунту | Підвищення врожайності  | Ризик засолення                | Інтеграція в посушливих регіонах             |
| Реалізація екологічних програм | Моніторинг стану ґрунтів   | Системний підхід        | Високі адміністративні витрати | Підтримка держави та міжнародних організацій |
| Лісосмуги                      | Захист ґрунтів від ерозії  | Стабільність екосистеми | Потреба у тривалому догляді    | Відновлення природних бар'єрів               |

водостійкість орних ґрунтів. Ґрунти під лісосмугами також демонструють кращу водостійкість порівняно з орними, проте поступаються за цим показником природним чорноземам. У цих ґрунтах вміст загального гумусу є найвищим у більших структурних агрегатах, тоді як у розораних чорноземах значний вміст гумусу спостерігається переважно у дрібних (<3 мм) агрегатах [8, с. 99–100]. Таким чином, сучасний стан чорноземів України демонструє необхідність розробки інтегрованих підходів до їх відновлення, спрямованих на підтримання агрономічно цінної структури, збільшення вмісту гумусу та збереження водостійкості ґрунтів. Перспективи відновлення пов'язані з мінімізацією розорювання, раціональним використанням лісосмуг і впровадженням інноваційних методів для підтримання природного балансу у ґрунтових системах.

**Висновки.** Дослідження виявили, що типові та південні чорноземи характеризуються високим агрономічним потенціалом, однак значна інтенсифікація їхнього розорювання спричинила суттєве скорочення кількості структурних агрегатів і зниження водостійкості, особливо в промислово розвинених регіонах, де техногенне навантаження на ґрунти є найвищим. Оцінка показала, що ґрунти західних областей України мають значно нижчий асиміляційний потенціал порівняно з централь-

ними та східними регіонами, що ускладнює їх здатність до нейтралізації важких металів і вимагає впровадження регіонально специфічних заходів для оптимального управління ґрунтовими ресурсами. Авторами було обґрунтовано, що відновлення родючості чорноземів потребує застосування комплексного підходу, який передбачає використання органічних добрив, сидератів і біопрепаратів, впровадження сучасних систем зрошення та використання фіторе mediaційних технологій для зниження рівня токсичного навантаження на ґрунти. Виокремлено перспективні сценарії відновлення чорноземів, які базуються на гармонійному поєднанні економічного розвитку та зменшення антропогенного впливу на екосистему, що забезпечить збереження їхньої родючості без суттєвого скорочення темпів зростання національного аграрного сектору. Запропоновано створення інституційного механізму управління дефіцитом асиміляційного потенціалу ґрунтів, що передбачає інтеграцію системи екологічного моніторингу, розробку державних програм підтримки органічного землеробства, а також впровадження інноваційних агротехнологій. Такий підхід дозволить забезпечити стабільне відновлення ґрунтового покриву, знизити ризики техногенного забруднення та сприяти довгостроковому збереженню агроекосистем України.

### Література

1. Балюк С. А., Воротинцева Л. І., Соловей В. Б., Шимель В. В. Реалії українського чорнозему: сучасний стан, еволюція, охорона та стале управління. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 3. С. 5-13. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202303-01>
2. Ґрунти України. URL: <https://farming.org.ua/%D0%A2%D0%B8%D0%BF%D0%B8%20%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BD%D1%82%D1%83%20%D0%9A%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0%20%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2.html> (дата звернення: 02 січня 2024)
3. Канівець О.М. Ознаки та причини погіршення родючості ґрунтів. Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції: Тернопіль: Крок, 2016. 28 с.
4. Ковальов М. М., Медведєва О. В., Мірзак Т. П. Агроекологічна трансформація гумусного стану чорнозему типового Бугсько-Дніпровського міжріччя. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 345-352. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.46>
5. Ковальов М. М., Топольний Ф. П., Малаховська В. О. Органічна речовина ґрунту під впливом тривалого сільськогосподарського використання *Аграрні інновації. Рецензований науковий журнал*. № 17. 2023. Видавничий дім «Гельветика». С. 81-87.
6. Кирилюк, В., Рожі, Т., Харів, В. Геодезичне планування в агроландшафті: створення цифрових карт та моделей для оптимізації землекористування. *Просторовий розвиток*, (6), (2023). С. 293-308. URL: <http://spd.knuba.edu.ua/article/view/295409>
7. Кравченко Ю. С. Сучасний стан родючості українських чорноземів. *Агробіологія*. 2019. № 3. С. 29-35. DOI: <https://doi.org/10.31548/agr2019.03.029>
8. Крамаров С. М., Бандура Л. П., Артеменко С. Ф., Крамаров О. С., Писаренко П. В. Зміни агрофізичних властивостей чорнозему звичайного за тривалого землекористування та економічне стимулювання їхнього відновлення. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 93-106. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.12>
9. Македон В. В., Волошко Н. О. Вплив транснаціональних корпорацій на реалізацію цілей сталого розвитку. *Інфраструктура ринку*. 2023. Вип. 70. 2023. С. 8-14. DOI: <https://doi.org/10.32782/infrastructure70-2>
10. Позняк С. П. Актуальні проблеми ґрунтознавства і географії ґрунтів. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2017. 272 с.
11. Попірий М.А. Зміна якісних і спектроскопічних характеристик органічної речовини чорнозему типового за різних систем обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2016. Вип. 7. С. 65-68.
12. Рожі Т. А. Врахування ландшафтної структури територій громад для раціонального природокористування. *Ландшафтознавство : науково-теоретичний журнал. / головн. ред. Г. Денисик. Вінниця, ВДПУ ім. Михайла Коцюбинського*, 2023. Вип. 4 (2). С. 85–91. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/landscapescience/index.php/journal/article/view/39/43>
13. Топольний Ф., Топольний С. Ґрунти як компоненти ландшафту: проблеми генези і класифікації. *Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наукових праць*. Вип. 318. Географія. Чернівці : Рута, 2006. С. 110-116.
14. Центило Л. В. Калійний режим чорнозему типового за різного удобрення та обробітку ґрунту. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019. № 3 (79). С. 1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2019.03.012>

15. Циліорик О. І., Чорна В. І., Гаврюшенко О. О. Зміна агрофізичних властивостей чорнозему звичайного під впливом обробітку ґрунту в сівозміні та на рекультивованих землях в умовах Степу України. *Зернові культури*. 2021. Т. 5. № 1. С. 115-124.
16. Шевчук С.М., Прокопенко Н.І., Рожі Т.А. Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. *Просторовий розвиток*, Вип. 7, 2024. С. 445-458. URL: <http://spd.knuba.edu.ua/article/view/302646>
17. Bryk M., Słowińska-Jurkiewicz A., & Medvedev V. Morphometrical structure evaluation of long-term manured Ukrainian chernozem. *International Agrophysics*. 2012. No 26(2). p. 117-128. doi: 10.2478/v10247-012-0018-6.
18. Dinesh G.K., Sinduja M., Priyanka B. et al. Enhancing Soil Organic Carbon Sequestration in Agriculture: Plans and Policies. *Plans and Policies for Soil Organic Carbon Management in Agriculture*. 2022. P. 95-121.
19. Liang A., Li L., Zhu H. Protection and Utilization of Black Land and Making Concerted and Unremitting Efforts for Safeguarding Food Security Promoted by Sci-tech Innovation – Countermeasures in Conservation and Rational Utilization of Black Land. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*. 2021. № 36. P. 557-564.
20. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. no 2(13(128)). p. 47-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>.
21. Metelenko N. G., Kovalenko O. V., Makedon V., Merzhynskiy Y. K., Rudych A. I. Infrastructure Security of Formation and Development of Sectoral Corporate Clusters. *Journal of Security and Sustainability Issues*. 2019. № 9(1). pp. 77-89. [http://doi.org/10.9770/jssi.2019.9.1\(7\)](http://doi.org/10.9770/jssi.2019.9.1(7))
22. Xu Y., Lyu J., Liu H., Xue Y. A Bibliometric and Visualized Analysis of the Global Literature on Black Soil Conservation from 1983-2022 Based on CiteSpace and VOSviewer. *Agronomy*. 2022. V. 12(10). P. 24-32. doi: 10.3390/agronomy12102432
23. White R. The Role of Soil Carbon Sequestration as a Climate Change Mitigation Strategy: An Australian Case Study. *Soil System*. 2022. V. 6. Is. 46. doi: 10.3390/soilsystems6020046.

## ОЦІНКА ЗАСОЛЕННЯ УРБОГРУНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Мислюк О.О., Єгорова О.В., Хоменко О.М.

Черкаський державний технологічний університет

бул. Шевченко, 460, 18006, м. Черкаси

o.mysliuk@chdtu.edu.ua, ok.yehorova@chdtu.edu.ua, o.khomenko@chdtu.edu.ua

Стаття присвячена дослідженню стану ґрунтів міста Черкаси в контексті екологічних змін та оцінювання можливих ризиків в результаті антропогенної діяльності. Всебічне дослідження і оцінка ступеню засолення ґрунтів урбоземів є задачею вкрай актуальною в контексті забезпечення сталого розвитку урбанізованих екосистем. Моніторингові спостереження свідчать про значний рівень і контрастність техногенних аномалій легкорозчинних солей у ґрунтового покриву міста. Тип засолення за співвідношенням аніонів переважно содово-хлоридний (66%) і содово-хлоридний з участю соди (22%). Оцінка ступеню засолення показала, що 49% ґрунтів є слабо засоленими, 30% – помірно засоленими і 21% – сильно засолени. Аналіз Пірсона показав, що основний внесок у сумарну засоленість ґрунтів мають хлорид-іон ( $R_2$  варіює від 0,53 до 0,85 при середньому значенні 0,67) і гідрокарбонат-іон ( $R_2$  варіює від 0,19 до 0,82 при середньому значенні 0,59). За вмістом токсичних солей 40,6% проб ґрунту відповідає градації слабо засолені, 59,4% – не засолені. За сумарним ефектом токсичних іонів 77% ґрунтів характеризуються як середньо засолені, 13% – сильно-засолені і 11% – слабо-засолені. Природний промивний режим не забезпечує видалення солей, необхідна додаткова промивка ґрунтів. Для розсолоння ґрунтів і поліпшення їх водно-фізичних властивостей потрібне проведення комплексу спеціальних хімічних меліорацій. Просторовий аналіз показав, що вплив солоності неоднорідний і походить від початкового джерела материнського матеріалу та антропогенного впливу. Засолення ґрунтів призводить до залуження урбоземів міста Черкаси. У процесі моделювання створено цифрову модель зонування урбоземів міста Черкаси за сумою токсичної дії солей. Найвищу засоленість мають ґрунти центральної частини міста і прибережних районів. Незначні відмінності в рівнях засолення урбоземів може бути зумовлено різними типами доріг і дворами. *Ключові слова:* урбоземи, засолення, геоінформаційні технології, картографічне моделювання, зонування території.

### Assessment of urban soil salinity using modern geoinformation technologies. Mislyuk O., Yehorova O., Khomenko O.

The article is devoted to the study of the soil condition in Cherkasy in the context of environmental changes and the assessment of possible risks as a result of anthropogenic activity. A comprehensive study and assessment of the degree of salinization of urban soils is an extremely important task in the context of ensuring the sustainable development of urbanized ecosystems. The monitoring observations show a significant level and contrast technogenic anomalies of easily soluble salts in the city's soil cover. The type of salting by anion ratio is mainly soda-chloride (66%) and soda-chloride with soda (22%). The salinity assessment showed that 49% of the soils are slightly saline, 30% are moderately saline, and 21% are highly saline. Pearson's analysis showed that the main contribution to total soil salinity is made by chloride ion ( $R_2$  varies from 0.53 to 0.85 with an average value of 0.67) and hydrogen carbonate ion ( $R_2$  varies from 0.19 to 0.82 with an average value of 0.59). In terms of toxic salt content, 40.6% of soil samples correspond to the slightly saline gradation, while 59.4% are not saline. Based on the total effect of toxic ions, 77% of soils are characterized as medium saline, 13% as highly saline, and 11% as slightly saline. The spatial analysis showed that the influence of salinity is heterogeneous and comes from the original source of the parent material and anthropogenic impact. Soil salinization leads to alkalization of urban soils in Cherkasy. In the process of modeling, a digital model of zoning of urban soils in Cherkasy was created by the amount of toxic salts. Soils in the central part of the city and coastal areas have the highest salinity. Differences in salinity levels of urban soils between different types of roads and yards are not significant. *Key words:* urban lands, salinization, geoinformation technologies, cartographic modeling, territory zoning.

**Постановка проблеми.** Однією з ключових соціально-екологічних проблем, що стоїть перед суспільством на сучасному етапі розвитку, є дослідження навколишнього природного середовища, зокрема ґрунтового покриву, який є основним та невід'ємним ресурсом. Це важливо для прогнозування змін в його стані в природних умовах та оцінювання можливих ризиків під впливом людської діяльності. Техногенне галохімічне (засолення, підлуження) і поліметалічне забруднення за своєю небезпекою виходить на перше місце серед екстремальних факторів у містах.

**Актуальність дослідження.** Ґрунтовий покрив міст зазнає радикальних змін як в результаті природних процесів, так і під безпосереднім впливом діяльності людини. Вплив транспортних засобів, промис-

ловості, будівництва та реконструкції змінює ґрунти у містах, що веде до змін майже всіх їхніх компонентів: від морфологічної структури до фізико-хімічних властивостей. Це призводить до втрати здатності ґрунтів виконувати важливі екологічні функції, такі як поглинання викидів, функціонування зелених насаджень тощо [1–3].

Всебічне дослідження і оцінка ступеню засолення ґрунтів урбоземів є задачею вкрай актуальною в контексті забезпечення сталого розвитку урбанізованих екосистем. Вона не може бути вирішена без ретельного і всебічного вивчення характеру забруднення урбоґрунтів шкідливими домішками.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.**

Збереження ґрунту має величезне значення, саме тому питанню моніторингу, запобігання та пом'якшення наслідків трансформації ґрунтів присвячені програми та директиви багатьох урядових організацій. Європейській Союз має кілька програм і ініціатив, спрямованих на збереження ґрунтів. Зокрема, Ґрунтова стратегія ЄС до 2030 року встановлює рамки та конкретні заходи для захисту та відновлення ґрунтів, а також забезпечення їх сталого використання [4]. 17 червня 2024 року Рада ЄС прийняла загальний підхід, спрямований на обов'язковість моніторингу здоров'я ґрунту, що забезпечує керівні принципи сталого управління ґрунтами та розглядає ситуації, коли забруднення ґрунту створює неприйнятні ризики для здоров'я та навколишнього середовища. Відповідно до запропонованої директиви, країни-члени ідентифікують усі потенційно забруднені ділянки, а потім відображають їх у публічному реєстрі. Це дозволить державам-членам визначати пріоритетність заходів, беручи до уваги потенційні ризики, соціально-економічний контекст [5].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Урбоземи суттєво відрізняються за своїм складом і властивостями від природних ґрунтів. В результаті антропогенного впливу специфічні міські ґрунти мають значні відмінності – змінені фізико-механічні властивості ґрунтів, наявність включень будівельного і побутового сміття у верхніх горизонтах, зміна кислотно-лужного балансу з тенденцією до підлуження, засолення, забрудненість важкими металами, нафтопродуктами [2, 6–9].

Основними процесами привнесення розчинних солей в урбоґрунти є пряма інфільтрація зі снігу, поверхневого стоку та вимивання з верхнього шару ґрунту, що призводить до їх прогресуючого засолення. Просторовий аналіз показує, що вплив солоності неоднорідний і походить від початкового джерела материнського матеріалу або під впливом антропогенного впливу [10]. Засолення ґрунту водорозчинними солями у великій мірі впливає на його фізичні і хімічні властивості, біологічну якість на здатність опору до навантажень. Засоленість викликає різку зміну реакції ґрунтового розчину, складу поглинених катіонів, підвищує мобільність органічної речовини, погіршує водний режим ґрунту, його структурно-текстурні особливості. Катіон натрію, що міститься в протижелезних сумішах, витісняє катіони кальцію і магнію з ґрунтового-вбірного комплексу ґрунтів, руйнуючи структуру і посилюючи рухливість органічної речовини.

Акумуляція солей в поверхневих шарах ґрунтів проявляються у змінах росту та розвитку рослин, зазнає впливу будова та функціонування фотосинтетичного апарату рослин, що в підсумку зумовлює пригнічення росту, розвитку і продуктивності рослин, впливає на ґрунтові мікроорганізми. [11–12].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена**

**стаття.** Метою роботи є системний аналіз засоленості і стану урбоземів м. Черкаси із застосуванням науково-методичних основ та моделювання процесів трансформації ґрунтів з районуванням території міста за рівнем засоленості з використанням геоінформаційного програмного пакету SURFER, який дозволяє аналізувати та візуалізувати дані, що дає інструменти для аналізу інформації та прийняття ефективних рішень управлінського характеру, допомагаючи зменшити ризики погіршення стану навколишнього середовища.

**Новизна.** Полягає в застосуванні сучасних геоінформаційних технологій для системного аналізу і візуалізації даних моніторингу урбоземів з просторовим зонуванням території міст за ступенем засоленості. Це дозволить простежувати динаміку трансформації урбоґрунтів і приймати ефективні рішення управлінського характеру задля сталого розвитку міст.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Отримана у ході досліджень інформація може служити орієнтиром при організації ґрунтового-екологічного моніторингу міських територій, для науково обґрунтованої оцінки геоекологічного стану урбоґрунтів і прийнятті оптимальних управлінських рішень галузі охорони навколишнього середовища.

**Мета роботи.** Дослідження фізико-хімічних властивостей техногенне модифікованих ґрунтів м. Черкаси у зоні кореневої системи рослин, оцінка ступеню їх засолення із просторовим зонуванням території із використанням сучасних ГІС технологій.

**Викладення основного матеріалу.** Ґрунти міста Черкаси в зонах створення відкритих просторів є складними утвореннями природного та антропогенного походження. Ландшафти міста формуються переважно за рахунок лесів і лесовидних суглинків, а також супісків різного походження. Ґрунтовий покрив неоднорідний, легкого механічного складу з наявністю домішок антропогенного походження. Переважають чорноземи типові та чорноземи сильно реградовані. Ґрунти забруднені ксенобіотиками, зокрема, важкими металами, і мають тенденцію до підлуження [13]. Для дослідження техногенне модифікованих ґрунтів були обрані ділянки у різних функціональних зонах міста (рис. 1).

Дослідження показало, що вміст розчинних солей і їх просторовий розподіл нерівномірний і характеризується значною варіабельністю. Сульфат-іони присутні в ґрунтовій витяжці у дуже малих концентраціях і варіював від 0,005 до 0,03 мг-екв на 100 г ґрунту при середньому значенні 0,01. Переважають іони  $\text{Cl}^-$  та іони  $\text{HCO}_3^-$  (рис. 2). Вміст хлорид-іону варіював від 1,02 до 4,90, при середньому значенні 1,91 мг-екв на 100 г ґрунту, стандартне відхилення – 0,34, дисперсність – 0,42, коефіцієнт варіації  $C_v$  0,34. Високий вміст іоні  $\text{Cl}^-$  зумовлений використанням протижелезних сумішей.



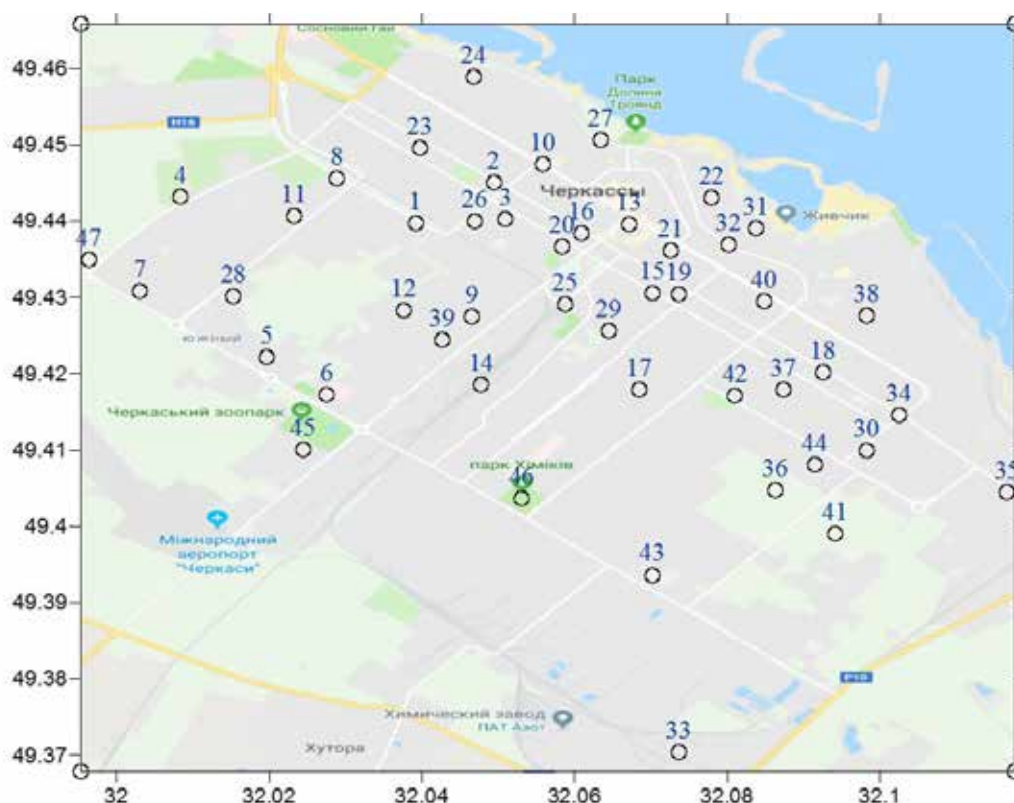


Рис. 1. Розташування модельних ділянок

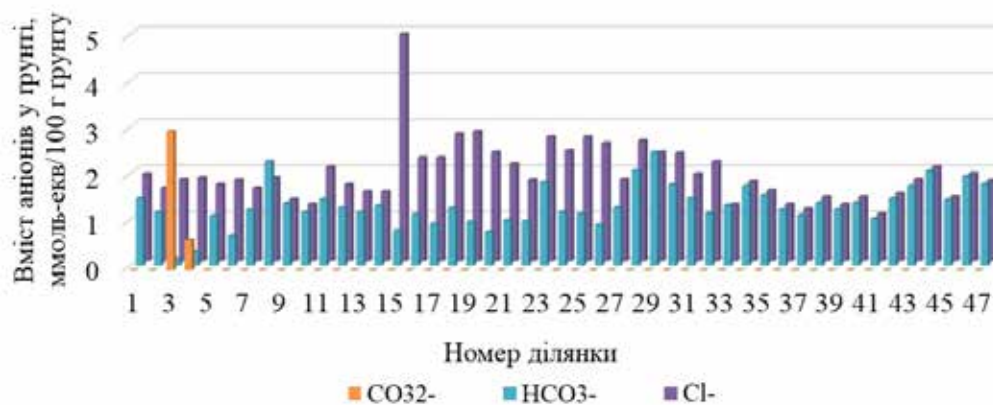


Рис. 2. Вміст аніонів у ґрунтах

Вміст іонів  $\text{HCO}_3^-$  становить  $0,13 \div 2,45$ , середнє значення –  $1,29$  мг-екв на  $100$  г ґрунту, коефіцієнт варіації  $0,34$ , стандартне відхилення –  $0,45$ , ступінь дисперсії –  $0,2$ . Значний вміст в ґрунтовому розчині іонів  $\text{HCO}_3^-$  зумовлений як природними (материнські породи – леси і лесовидні суглинки), так і урбогенними факторами (розвинута транспортна мережа, забруднення поверхневого шару ґрунту будівельними відходами).

Загальний вміст солі в досліджуваних районах становив  $0,11$ – $0,40\%$ , при середньому значенні

$0,21\%$ . При такому вмісті солей обмежується ріст і нормальне функціонування багатьох дерев і чагарників, які характерні для міст.

За сумарним вмістом солей, майже половина досліджених ґрунтів є слабо засоленими,  $30\%$  – помірно засоленими та  $21\%$  сильно засолени (рис. 3).

Аналіз Пірсона показав, що основний внесок у загальну засоленість ґрунтів мають хлорид-іон ( $R_2$  варіює від  $0,53$  до  $0,85$  при середньому значенні  $0,67$ ) і гідрокарбонат-іон ( $R_2$  варіює від  $0,19$  до  $0,82$  при середньому значенні  $0,59$ ), що пояснюється їх



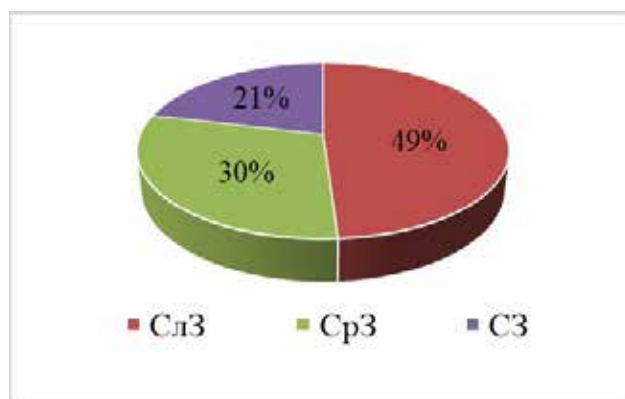


Рис. 3. Ранжування ґрунтів міста Черкаси за сумарним вмістом солей

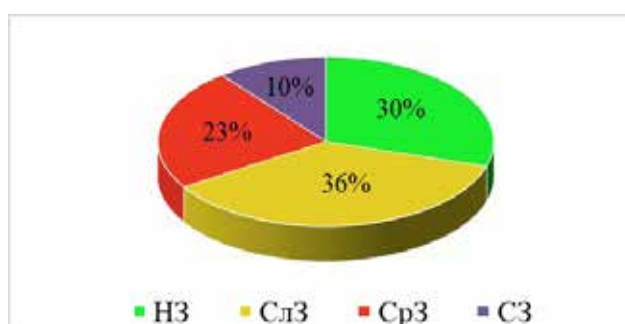


Рис. 4. Ранжування ґрунтів міста Черкаси за вмістом токсичних солей

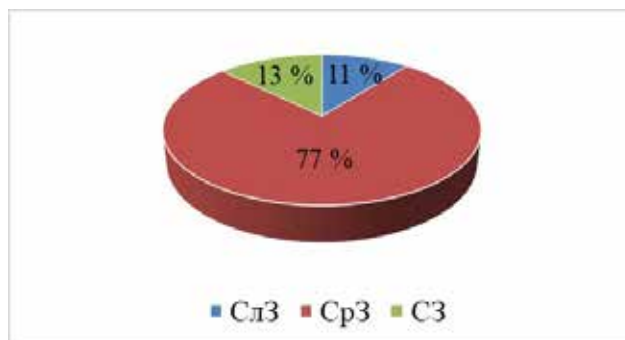


Рис. 5. Ранжування ґрунтів за сумарним ефектом токсичних солей

високою концентрацією серед вилужених іонів та іонною провідністю у випадку хлорид іонів [14]. За вмістом токсичних солей, то майже 30% досліджених ґрунтів є не засоленими, 36% – слабо засолени, 23% – помірно засолени і 10% мають високим рівень засоленості (рис. 4).

Відомо, що навіть на слабо засолених ґрунтах спостерігається пригнічення росту 25% деревної рослинності, а при концентрації розчинених солей 0,35% дуби, дерева білої та жовтої акації сохнуть [15].

За класифікацією Базилевича та Панкової з врахуванням «сумарного ефекту» токсичних іонів ґрунти на досліджених ділянках є помірно засоленими (77%), сильно-засоленими (13%) та слабо-засоленими (11%) (рис. 5).

Для візуалізації інформації про засоленість ґрунтів міста Черкаси був використаний геоінформаційний пакет SURFER (рис. 6, 7).

Найвищу засоленість мають ґрунти центральної частини міста, що спричиняє міграцією у ґрунти примігстральних смуг розчинених солей, які вико-

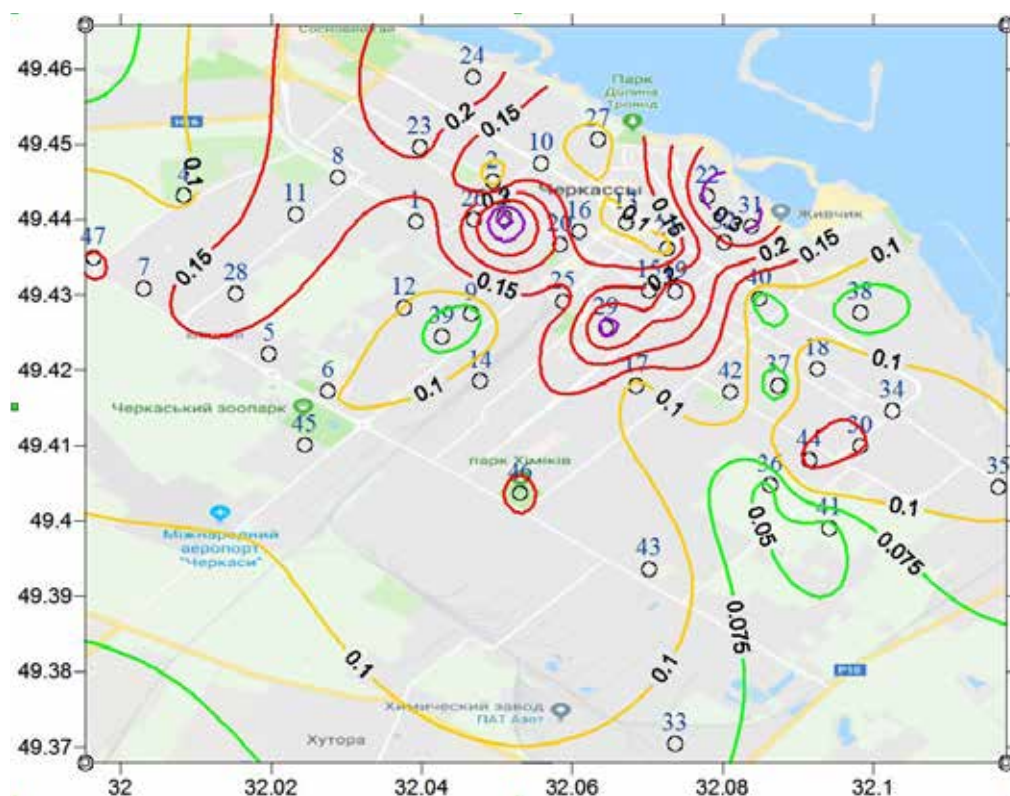


Рис. 6. Карта засоленості ґрунтів за сумою токсичних солей

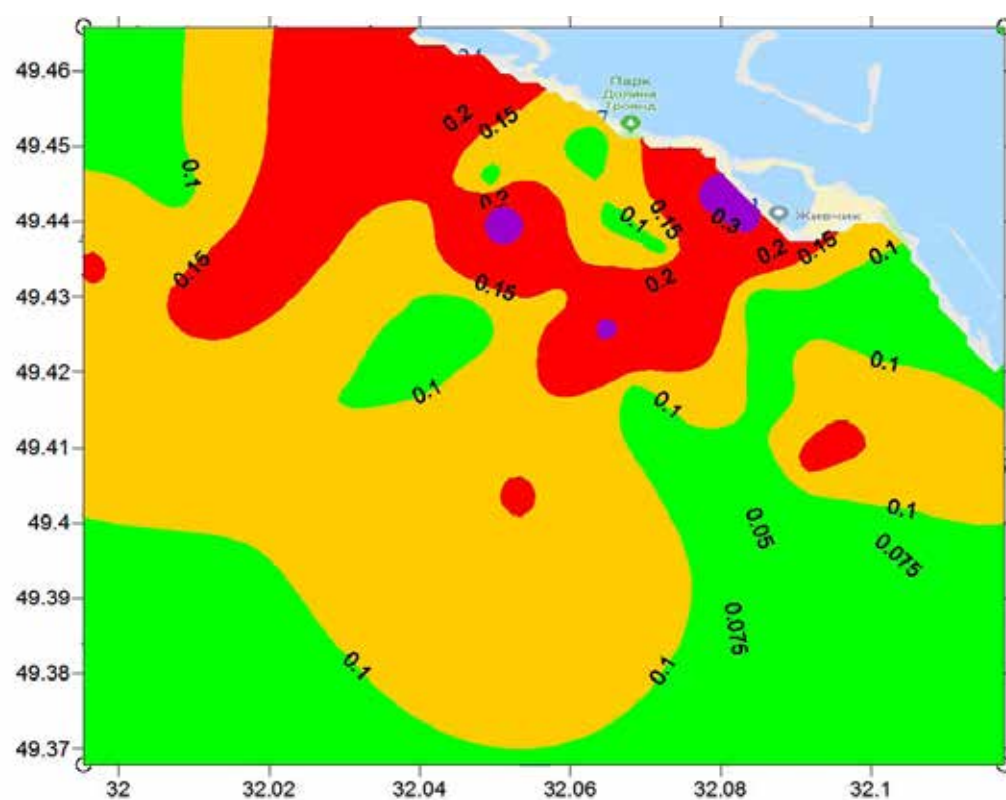


Рис. 7. Карта зонування ґрунтів за сумою токсичних солей

ристовуються як протиожеледні засоби. Високий рівень засолення ґрунтів прибережних районів імовірно зумовлений міграцією солей за пониженням рельєфу та активною забудовою цієї території. Проведені дослідження показали, що відмінності в рівнях засолення урбоземів між різними типами доріг і дворами не значні.

**Головні висновки.** Моніторингові спостереження виявили значний рівень і контрастність техногенних аномалій легкорозчинних солей у ґрунтовому покриві міста Черкаси. Засолення ґрунтів призводить до їх залуження. Найвищу засоленість мають ґрунти центральної частини міста і прибережних районів. Відмінності в рівнях засолення урбозе-

мів між різними типами доріг і дворами не значні. Застосування сучасних геоінформаційних технологій для системного аналізу і візуалізації даних моніторингу урбоземів з просторовим зонуванням території за ступенем засоленості дозволить простежувати динаміку трансформації урбоґрунтів і приймати ефективні рішення управлінського характеру задля сталого розвитку міст.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримана у ході досліджень фактична інформація може розглядатися як орієнтир для більш об'єктивної та науково обґрунтованої оцінки геоекологічного стану міських ґрунтів та організації ґрунтово-екологічного моніторингу міських територій.

### Література

1. P., Blumlein & Kircholt, H.J. & Schweiker, M. & Wolf, G. et al. Soil in the City. Urban Soil Management Strategy. Stuttgart, 2012. 30 p.
2. Richard Pouyat, Susan D Day, Sally Brown Show. Urban Soils. *Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions, A Comprehensive Science Synthesis*. 2020. P. 127-144. DOI:10.1007/978-3-030-45216-2\_7.
3. Підкова О. Оцінка екологічних функцій ґрунтів міста Києва. *Молодий вчений*. 2020. № 1 (77). С. 57-61. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-1-77-13>.
4. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – EU Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. 2021.
5. Soil Monitoring Law: EU on the path to healthy soils by 2050. Council of the European Union. 2024. P. 127.
6. Bulimaga C., Certan C. Evaluarea impactului ecosistemelor urbane asupra mediului în regiunea de dezvoltare economică Centru. In: *Impactul antropic asupra calității mediului. Culegere de articole științifice dedicată dlui ION DEDIU membru corespondent AȘM la 85 de ani de la naștere și 62 ani de activitate științifică*, 14 februarie 2019, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Tipogr. «Impressum», 2019, pp. 42-53. ISBN 978-9975-3308-0-0.
7. Борис Я, Телегузи О. Особливості міських ґрунтів міста Львова. *Наукові проблеми Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: географія. 2022. № 1. С. 59-65. DOI:<https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.1.8>.
8. Howard, Jeffrey L.; Orlicki, Katharine M. Effects of Anthropogenic Particles on the Chemical and Geophysical Properties of Urban Soils, Detroit, Michigan. *Soil Science*. 2015. 180(4/5). Pp 154-166. DOI: 10.1097/SS.0000000000000122
9. Хохрякова А., Елгуджа Куліджанов. Характеристика ґрунтів м. Одеси. *Вісник Львівського університету*. Серія Географія, вип. 52. С. 293-302. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2018.52.10195>.
10. Криштоп Є. А., Волощенко В. В. Міські ґрунти як невід'ємний елемент урбанізованих і техногенно забруднених територій. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Сер.: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. 2013. № 2. С. 200-206.
11. Горбань В.А. Співвідношення екологічних функцій ґрунтів та їх екологічних властивостей. *Ґрунтознавство*. 2008. № 1-2. С. 124-127.
12. Деркач І., Романюк Д. Вплив засолення ґрунту на рослинні організми. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія. 2016. № 3-4. С. 91-106.
13. Мислюк О. О., Хоменко О. М., Єгорова О. В. Екологічна оцінка кислотно-основних властивостей урбоземів м. Черкаси. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2019. Вип. № 4 (117). С. 53-59. DOI: 10.30929/1995-0519.2019.4.53-59
14. Mashal, Kholoud & Al-Qinna, Mohammed & Salahat, Mohammed & Al-Degs, Yahya & Hamzeh, Samer. Spatial variations of urban soil salinity and related ions in arid and semiarid areas. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022. V.15. DOI:15. 10.1007/s12517-022-10540-5.
15. Хохрякова А. І., Куліджанов Е. В. Оцінка рівня хімічного забруднення ґрунтів паркових зон міста Одеси. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Серія: Географічні науки. 2017. Вип. 6. С. 164-172.

УДК 591.524. 12: 005.962 (574.63)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.31>

## ІНДИКАЦІЯ ТЕХНОГЕННО ЗМІНЕНОЇ ВОДОЙМИ ЗА РОЗВИТКОМ ЗООПЛАНКТОНУ

Єсіпова Н.Б., Гудим Н.Г., Журавльов Д.В., Плюйко О.Б., Савицький А.Ю.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

пр. Науки, 72, 49045, м. Дніпро

[yesipova.natalia@gmail.com](mailto:yesipova.natalia@gmail.com), [nadingud19@ukr.net](mailto:nadingud19@ukr.net), [deraktil@gmail.com](mailto:deraktil@gmail.com),

[musha.panda@gmail.com](mailto:musha.panda@gmail.com), [savickijanton49@gmail.com](mailto:savickijanton49@gmail.com)

У статті представлені результати дослідження літнього зоопланктону різних ділянок р. Коноплянка, яка є правою притокою Запорізького (Дніпровського) водосховища і піддається потужному техногенному навантаженню. Виявлено, що видова структура зоопланктону річки обмежена всього 14 видами. Показники чисельності і біомаси суттєво розрізнялись за різними ділянками і характеризувались низькими значеннями, що вказує на низьку самоочисну здатність р. Коноплянка. За кількістю видів і показниками розвитку зоопланктону найнижчі показники мала верхня ділянка р. Коноплянка, що підпадала під вплив побутових і промислових скидних вод м. Кам'янське (ділянка промзони), а найвищі – ділянка старого русла, яка відокремлена від основного русла дамбою і має зв'язок з річкою тільки через ґрунтові води. Виявлені види-домінанти зоопланктону на ділянках промзони, хвостосховища уранових відходів та гирла є індикаторами помірного органічного забруднення ( $\beta$ -мезосапроби) і за категоріями сапробності характеризують ці ділянки як «слабко забруднені». Ділянка старого русла відноситься до категорії «досить чиста», а домінуючі види зоопланктону належать до  $\alpha$ - $\beta$ -сапробіонтів. Низьке біорізноманіття зоопланктону, домінування в його складі дрібних форм, переважання копепоідного комплексу над кладоцерним можуть свідчити про хронічну токсифікацію р. Коноплянки. Опосередкованим свідомством впливу радіаційного забруднення річки може слугувати абсолютне домінування коловертки *Brachionus calyciflorus* і пригнічення розвитку інших видів ротаторного комплексу. Результати проведених досліджень можуть бути використані для розробки гідробіологічного моніторингу екологічного стану р. Коноплянка, які утворюють наукову платформу для розробки практичних заходів щодо підвищення самоочисної здатності річки і знизять ризики негативного впливу її на Запорізьке (Дніпровське) водосховище. *Ключові слова:* р. Коноплянка, техногенне забруднення, зоопланктон, види-індикатори, категорії якості води.

**Indication of a technogenically modified water reservoir by the development of zooplankton. Yesipova N., Gudym N., Zhuravlov D., Plyuyko O., Savytsky A.**

The article presents the results of a study of summer zooplankton in different sections of the Konoplyanka River, which is the right tributary of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir and is subject to heavy technogenic load. It was found that the species structure of the river's zooplankton is minimal 14 species. The abundance and biomass indicators differed significantly in different sections and were characterized by low values, which indicates a low self-purification ability of the Konoplyanka River. In terms of the number of species and indicators of zooplankton development, the lowest indicators were in the upper section of the Konoplyanka River, which was affected by domestic and industrial wastewater from the city of Kamianske (the industrial zone area), and the highest were in the section of the old riverbed, which is separated from the main riverbed by a dam and is connected to the river only through groundwater. The identified dominant species of zooplankton in the areas of the industrial zone, uranium waste tailings pond, and the mouth are indicators of moderate organic pollution ( $\beta$ -mesosaprobites) and, according to the saprobity categories, these areas are characterized as "slightly polluted". The section of the old riverbed belongs to the "fairly clean" category, and the dominant species of zooplankton belong to  $\alpha$ - $\beta$ -saprobites. The low biodiversity of zooplankton, the dominance of small forms in its composition, predominance of the copepodite complex over the cladoceran complex may indicate chronic toxification of the Konoplyanka River. The absolute dominance of the rotifer *Brachionus calyciflorus* and suppression of the development of other species of the rotator complex may serve as indirect evidence of the impact of radiation pollution on the river. The results of the conducted studies can be used to develop hydrobiological monitoring of the ecological state of the river. Konoplyanka will form a scientific platform for developing practical measures to increase the self-purification capacity of the river and reduce the risks of its negative impact on the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir. *Key words:* konoplianka River, technogenic pollution, zooplankton, indicator species, water quality categories.

**Постановка проблеми.** В Україні багато малих річок, які постійно піддаються потужному антропогенному навантаженню і фактично перетворилися в техногенно змінені водойми. Більшість з них належать до приточної системи великих річок і мають прямий вплив на формування їх екологічного режиму. Типовим прикладом такої водойми є річка Коноплянка, яка впадає в Запорізьке

(Дніпровське) водосховище. Гідрохімічний стан р. Коноплянка знаходиться під впливом стічних господарських і побутових вод м. Кам'янське та розташованих на правому березі хвостосховищ, які містять мільйони тонн відходів уранової сировини [1]. Хоча р. Коноплянка не має господарського значення, але як джерело токсичного і радіаційного забруднення несе потенційну

загрозу екосистемі Запорізького (Дніпровського) водосховища.

**Актуальність дослідження.** Наявність хронічного забруднення р. Коноплянки небезпечними речовинами потребує систематичного гідроекологічного контролю, який не повинен обмежуватися визначенням гіdroхімічних показників. Постійне потрапляння у водойму токсичних речовин, навіть у невеликій кількості, приводить до накопиченню їх у донних відкладеннях і гідробіонтах, які стають джерелом вторинного забруднення. В умовах хронічної інтоксикації відбувається поступова деградація біоценозів і, як наслідок, пригнічуються процеси самоочищення водойми. Для своєчасного виявлення цих негативних процесів необхідні дослідження динаміки видового різноманіття і кількісних показників розвитку угруповань гідробіонтів, які чутливо реагують на гіdroхімічні зміни, а саме – планктонних організмів. Слід також враховувати той факт, що басейн р. Коноплянка знаходиться в мілітаризованій зоні. Активні бойові дії можуть стати причиною додаткового забруднення акваторії. Щоб передбачити потенційні наслідки змін в екосистемі р. Коноплянка необхідно мати уявлення про сучасний стан гідробіоценозів, який дотепер залишається слабо вивчений.

**Зв'язок авторського доробку з науковими і практичними завданнями.** Результати досліджень, які представлені в даній роботі, були отримані в ході виконання держбюджетної теми «Розробка заходів щодо збереження і відновлення водних екосистем, постраждалих від військових дій» (номер держреєстрації 0123U101856, виконавець – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Використання зоопланктону в якості індикатора гідроекологічних змін має багато підтверджень у наукових публікаціях. Так, у зоопланктоні р. Мокра Сура, яка входить до складу приточної системи Запорізького (Дніпровського) водосховища, було виявлено домінування коловороток – сапробіонтів і зменшення чисельності ракоподібних – фільтраторів, що вказує на активну евтрофікацію водойми і пригнічення процесів самоочищення [2]. Дослідження багаторічної динаміки розвитку зоопланктону р. Оріль, яка вважалась однією з найчистіших річок Європи, свідчать про поступове збіднення видового складу за рахунок зникнення деяких видів ракоподібних і заміну в структурі зоопланктону великих за розміром видів більш дрібними [3]. Сучасний комплекс зоопланктону р. Оріль характеризується домінуванням коловороток-сапробіонтів і пригніченим розвитком гіллястовусих ракоподібних внаслідок прогресуючої евтрофікації водойми, спричиненої надмірним рекреаційним навантаженням на узбережжя [4].

Суттєві зміни у видовому складі зоопланктону визнані як критерій забруднення водойм стічними водами тваринницьких підприємств. Найбільш чут-

ливими до такого виду органічного забруднення виявилися: *Asplanchna priodonta* (Gosse), *Polyarthra vulgaris* (Carlin), *Polyphemus pediculus* (Linnaeus), *Leptodora kindtii* (Focke), *Copepoditi* (Cyclopoida) та *Nauplii* веслоногих ракоподібних [5].

Реакція зоопланктону на токсичне забруднення водойм займає вагоме місце в гідроекологічних дослідженнях. Потрапляння у водойми розповсюджених гербіцидів (атразин, гліфосат та ін.) з відносно тривалою стійкістю у прісній воді викликає швидкий летальний ефект у різних представників зоопланктону, а при сублетальних концентраціях порушує їх відтворювальну функцію [6]. При використанні в умовах мезокосм іншого гербіциду – бенказону в різних концентраціях, які зустрічаються у водоймах, зоопланктон виявився одним з найбільш постраждалих угруповань модельної екосистеми. Наслідком впливу гербіциду була заміна великих ключових форм зоопланктону на дрібні форми [7].

Одними із найрозповсюджених токсикантів у природних і штучних водоймах є важкі метали. Навіть при невеликих концентраціях у воді, важкі метали несуть потенційну загрозу для гідробіонтів, оскільки їм притаманне явище біоаккумуляції. Встановлено, що активність акумуляції важких металів у зоопланктоні має таку послідовність:  $Cu > Fe > Mn > Zn > Cd > Ni > Pb > Co$  і залежить від різних факторів (видової структури зоопланктону, розвитку фітопланктону як харчового компоненту, хімічного складу води тощо) [8].

Експериментальні дослідження з *Daphnia magna* показали, що під дією токсикантів у ракоподібних відбуваються порушення в метаболічних процесах, які негативно відображаються на відтворювальній системі. На підставі чого рекомендовано використовувати показники відтворення зоопланктону в якості індикаторів токсичного забруднення водойм [9]. Встановлено також, що гормональні порушення відтворювальної системи *D. magna* відбуваються не тільки шляхом прямого впливу токсиканта через воду, але й через накопичення його у водоростях (*Chlorella vulgaris*), якими харчувалась дафнія [10].

У сучасній екотоксикології особливу увагу приділяють використанню зоопланктону в якості індикатора забруднення водних екосистем хімічними сполуками, відомими під назвою «руйнівників ендокринної системи» (EDC). Зібрана база експериментальних даних підтверджує ефективність застосування представників прісноводного зоопланктону для ідентифікації EDC наряду зі звичайними хімічними методами [11].

Таким чином, дослідження показників розвитку зоопланктону дають важливу інформацію про рівень стабільності водної екосистеми і попереджають про негативний вплив на неї будь-яких техногенних чинників.

Метою нашої роботи було визначити видовий склад і чисельні показники розвитку зоопланктону

на ділянках р. Коноплянка з різним антропогенним навантаженням.

**Наукова новизна роботи.** Вперше за останні двадцять років проведено дослідження зоопланктону р. Коноплянка, яка знаходиться під потужним техногенним впливом і виконує роль природного буфера між стічними господарсько-побутовими водами м. Кам'янське і Запорізьким (Дніпровським) водосховищем. Отриманий науковий матеріал поповнить знання щодо особливостей розвитку зоопланктону в техногенно змінених водоймах і використання його в якості біоіндикатора стану водних екосистем.

**Матеріали і методи.** Дослідження просторового розподілу зоопланктону в р. Коноплянка проводились влітку 2024 року. Річка відноситься до малих річок, має довжину біля 8 км, середню ширину – 10 м, середню глибину – 0,8 м. Проби зоопланктону відбирались у 4-х точках, позначених на рисунку 1.

Точка № 1 знаходилась у верхній частині р. Коноплянка, яка розташована в промзоні, куди стікаються господарсько-побутові води м. Кам'янське. Між точками № 1 і № 2 на правому березі річки знаходиться Дніпровське хвостосховище радіоактивних відходів колишнього Придніпровського хімічного заводу. Точка № 3 – це старе русло р. Коноплянка, яке відгороджене дамбою від основного русла і фактично перетворилося в затоку Запорізького (Дніпровського) водосховища, оскільки має з ним прямий зв'язок. Точка № 4 знаходилась в гирлі річки, де річкова вода змішується з водою водосховища.

Відбір і опрацювання проб зоопланктону здійснювалися за загальноприйнятими гідробіологічними методиками [12]. Для оцінки видового різноманіття зоопланктону використовували індекс Шеннона; для визначення класу якості води – індекс сапробності Пантле і Букка в модифікації Сладечека.

Статистична обробка матеріалу проводилась за допомогою комп'ютерної програми Statistica.

**Результати досліджень.** За результатами досліджень видовий склад зоопланктону р. Коноплянка був вкрай небагаточисельний. Всього в пробах виявлено 14 видів зоопланктерів. За кількістю видів переважали коловертки (Rotatoria) – 6 видів: *Brachionus calyciflorus* (Pallas), *Polyarthra vulgaris* (Carlin), *Keratella quadrata* (Müller), *Euchlanis dilatata* (Ehrenberg), *Conochilus unicornis* (Rouss), *Asplanchna priodonta* (Gosse). Найбільш розповсюдженим видом був *B. calyciflorus*, який зустрічався в усіх точках. Інші види мали обмежене розповсюдження. Більше всього видів коловерток знайдено в точках № 3 (старе русло) і № 4 (гирло), які мали безпосередній зв'язок з водосховищем. Лише в цих точках була присутня *A. priodonta*.

Веслоногі ракоподібні (Copepoda) та їх наупліальні стадії були представлені трьома видами: *Acanthocyclops vernalis* (Fischer), *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Eucyclops serrulatus* (Fischer). Науплії виявлені в усіх точках, крім точки № 2, яка знаходилась у зоні впливу хвостосховища. Просторове розповсюдження видів копепод не відрізнялось очевидною закономірністю, вони зустрічались на всіх дослідних ділянках.

Представники гіллястовусих ракоподібних (Cladocera) належали до чотирьох видів: *Bosmina longirostris* (O. F. Müller), *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller), *Daphnia longispina* (O. F. Müller), *Leptodora kindtii* (Focke). Самим розповсюдженим видом була *B. longirostris*, вона була присутня в усіх пробах. У старому руслі і гирлі річки був знайдений один представник хижих коловерток – *L. kindtii*. По мірі зменшення кількості видів точки розташовувались у такій послідовності: старе русло – 4 види,

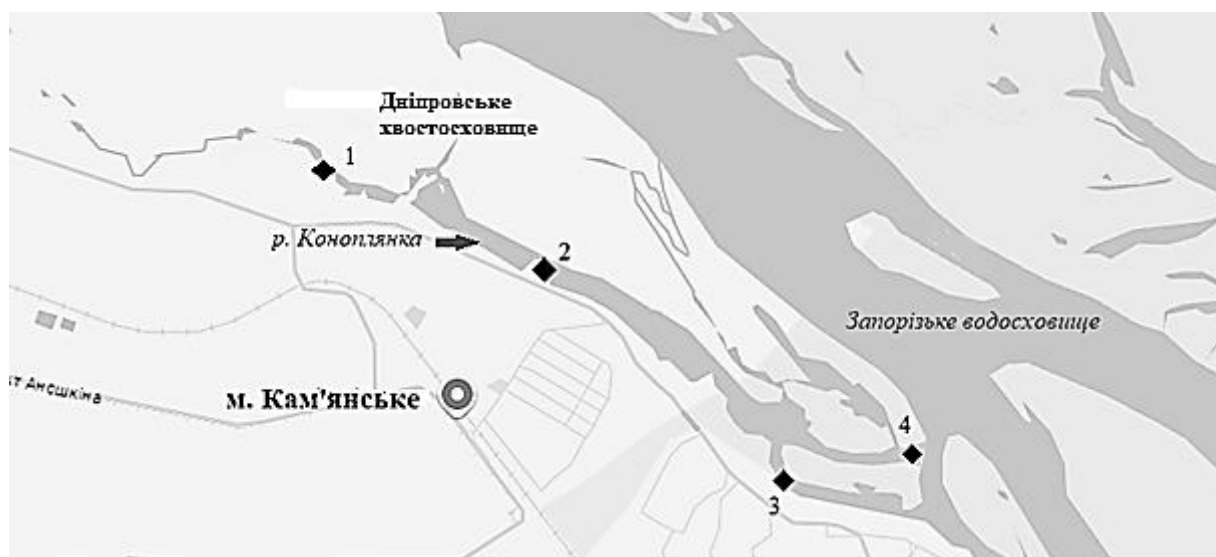


Рис. 1. Точки відбору проб зоопланктону в р. Коноплянка: 1 – верхня частина (промзона); 2 – середня частина (хвостосховище); 3 – старе русло; 4 – гирло р. Коноплянка

гирло – 3 види, промзона і хвостосховище – по 2 види.

Інфузорія *Paramecium caudatum* (Ciliophora) була зафіксована лише в одній точці – старому руслі, яка потрапила туди, очевидно, з водосховища.

Як видно з таблиці 1, кількісні показники розвитку зоопланктону на різних ділянках р. Коноплянка мали суттєві відмінності (у чисельнику – чисельність зоопланктону, тис. екз/м<sup>3</sup>, у знаменнику – біомаса зоопланктону, мг/м<sup>3</sup>).

Чисельність коловороток у точці № 3 була в 7–11 разів більше порівняно з іншими точками, біомаса відповідно у 10–12 разів більше. Показники розвитку коловороток у гирлі (точка № 4) і біля хвостосховища (№ 2) суттєво не відрізнялись. За чисельністю і біомасою в усіх точках впевнено переважав *Brachionus calyciflorus*, крім точки № 3, де за біомасою домінувала велика коловертка *Asplanchna priodonta*.

Найбільш інтенсивний розвиток веслоногих раків відмічався у точці № 3. У гирлі річки показники чисельності і біомаси копеподит були нижче в 2 рази. У промзоні і біля хвостосховища ці показники були нижче у 4–5 разів порівняно зі старим руслом і в 2–3 рази – порівняно з гирлом. За показниками розвитку в різних точках домінували різні види копепод. Так, у точках № 1 і № 2 за чисельні-

стю і біомасою домінував *A. vernalis*, у точці № 3 – *M. leuckarti*, у точці № 4 – за чисельністю домінував *E. serrulatus*, за біомасою – *A. vernalis*.

Чисельність гіллястовусих раків була найбільшою в гирлі річки, а біомаса – у старому руслі за рахунок присутності крупного представника – *D. longispina*. Чисельність кладоцер у промзоні була нижче порівняно з гирлом майже в 11 разів. Біля хвостосховища розвиток гіллястовусих раків також був пригнічений – у 4 рази за чисельністю. Найбільш багаточисельним видом в усіх точках був дрібний рачок *Bosmina longirostris*.

Наприкінці червня у точці № 3 була зафіксована досить висока чисельність представника Ciliophora – інфузорії *Paramecium caudatum*. Спалахи її розмноження спричинила, очевидно, тимчасова відсутність водообміну між затокою «старе русло» і водосховищем, що привело до накопичення органіки і створенню сприятливих умов для розвитку інфузорій.

Загальна чисельність зоопланктерів у старому руслі була в 22 рази вище порівняно з промзоною, в 14 разів вище порівняно з ділянкою біля хвостосховища і в 7 разів вище порівняно з гирлом річки. За показниками біомаси спостерігалась аналогічна залежність. Майже однакові показники загальної біомаси зоопланктону в точках № 2 і № 4 поясню-

Таблиця 1

Чисельність (тис. екз/м<sup>3</sup>) і біомаса (мг/м<sup>3</sup>) угруповань зоопланктону різних за екологією ділянок р. Коноплянка,  $M \pm m$ ,  $n=20$

| Представники зоопланктону | Показники розвитку зоопланктону за точками відбору |                                        |                                          |                                        |
|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
|                           | 1                                                  | 2                                      | 3                                        | 4                                      |
| Rotatoria                 | $\frac{3,05 \pm 0,08}{19,85 \pm 4,12}$             | $\frac{4,75 \pm 0,62}{22,12 \pm 4,38}$ | $\frac{33,50 \pm 5,18}{238,5 \pm 18,44}$ | $\frac{4,25 \pm 0,13}{23,44 \pm 3,72}$ |
| Copepoda                  | $\frac{2,86 \pm 0,11}{67,16 \pm 8,45}$             | $\frac{3,75 \pm 0,24}{96,25 \pm 9,14}$ | $\frac{14,50 \pm 0,76}{201,7 \pm 22,04}$ | $\frac{7,75 \pm 0,34}{95,0 \pm 8,36}$  |
| Cladocera                 | $\frac{0,71 \pm 0,04}{2,84 \pm 0,18}$              | $\frac{1,85 \pm 0,53}{91,4 \pm 12,20}$ | $\frac{5,12 \pm 0,66}{107,0 \pm 13,44}$  | $\frac{7,75 \pm 0,62}{94,0 \pm 5,23}$  |
| Ciliophora                | -                                                  | -                                      | $\frac{95,7 \pm 7,21}{57,45 \pm 5,12}$   | -                                      |
| Усього                    | $\frac{6,62}{89,85}$                               | $\frac{10,35}{209,77}$                 | $\frac{148,82}{604,67}$                  | $\frac{19,75}{212,44}$                 |

Таблиця 2

Екологічна характеристика різних ділянок р. Коноплянка

| Точки відбору проб  | Домінуючі види                                                   | Індекс Шенона | Індекс сапробності | Категорія якості води |
|---------------------|------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| № 1 (промзона)      | <i>Brachionus calyciflorus</i>                                   | 0,50          | 2,18               | Слабко забруднена     |
| № 2 (хвостосховище) | <i>Brachionus calyciflorus</i><br><i>Acanthocyclops vernalis</i> | 0,54          | 2,02               | Слабко забруднена     |
| № 3 (старе русло)   | <i>Asplanchna priodonta</i><br><i>Daphnia longispina</i>         | 0,69          | 1,86               | Досить чиста          |
| № 4 (гирло)         | <i>Acanthocyclops vernalis</i><br><i>Bosmina longirostris</i>    | 0,71          | 2,08               | Слабко забруднена     |



ється присутністю біля хвостосховища (точка № 2) великого рачка *D. longispina*.

Аналіз отриманих результатів показав, що домінуючі на всіх ділянках види зоопланктону належать до видів-індикаторів сапробності (табл. 2). При низьких значеннях індексу Шенона простежується динаміка поступового його збільшення від верхів'я річки (промзона) до гирла (0,5–0,71).

За показниками індексу сапробності та індикаторними видами зоопланктону вода р. Коноплянка характеризується як  $\beta$ -мезосапробна; на ділянці промзони, біля хвостосховища і в гирлі – слабо забруднена (III клас якості), в старому руслі – досить чиста (II клас якості).

**Обговорення результатів.** Обмежений видовий склад і низькі показники розвитку літнього зоопланктону на всіх досліджених ділянках свідчать про наявність хронічного забруднення р. Коноплянка. Виявлені види-домінанти зоопланктону на ділянках промзони, хвостосховища та гирла є індикаторами помірного органічного забруднення: *Brachionus calyciflorus* ( $\beta$ - $\alpha$ -мезосапроб), *Bosmina longirostris* ( $\beta$ -мезосапроб). На цих ділянках був також підвищений індекс сапробності. Підтвердженням наявності органічного забруднення річки слугують дані гідрохімічних досліджень, за якими на вказаних ділянках якість води не відповідала рибогосподарським ГДК за вмістом нітритів і нітратів [13].

На ділянці № 3 (старе русло) склад домінуючих видів зоопланктону відрізнявся від інших точок. Тут переважали  $\alpha$ - $\beta$ -сапробні види (*Asplanchna priodonta*, *Daphnia longispina*) і відповідно був знижений індекс сапробності. Пояснюється це тим, що гідрохімічний режим у старому руслі формується, в основному, за рахунок водообміну з водосховищем. Внаслідок побудованій дамбі вплив річки на цю ділянку відбувається лише через ґрунтові води.

Ознаками хронічної токсифікації р. Коноплянка можуть слугувати наступні показники структури і розвитку зоопланктону: низька загальна чисельність і біомаса; переважання за чисельністю і біомасою копеподітних раків над кладоцерами; домінування дрібних форм зоопланктону (*B. calyciflorus*, *P. vulgaris*, *K. quadrata*, *B. longirostris*) і обмежений розвиток крупних форм (*A. priodonta*, *D. longispina*). Появу дрібних форм зоопланктону при хімічному забрудненні відмічають інші автори [3, 14]. Відносним еталоном для порівняння може слугувати старе русло річки, яке відрізнялось від інших точок в декілька разів вищими показниками розвитку зоопланктону і присутністю крупних форм коловороток і кладоцер.

Стосовно впливу на зоопланктон хвостосховища радіоактивних відходів можна зробити лише окремі припущення. Наприклад, тільки в точці № 2, яка знаходилась безпосередньо біля хвостосховища, у пробах були відсутні наупліальні стадії веслоногих раків, а ротаторний комплекс характеризувався монодомінантним видом *Brachionus calyciflorus*. У літературі

є підтвердження чутливості коловороток до радіонуклідного забруднення за виключенням коловороток р. *Brachionus* [15]. Слід враховувати той факт, що хвостосховище уранових відходів існує вже більше 70 років. Моніторингові дослідження останніх років свідчать про суттєве погіршення технічного стану огорожувальної дамби хвостосховища, внаслідок чого відбувається постійна фільтрація радіонуклідів з хвостосховища в ґрунти на прилеглих територіях, а також у донні відкладення р. Коноплянка [16].

Таким чином, обмежений розвиток зоопланктону р. Коноплянка і відсутність у його складі крупних організмів-фільтраторів свідчить про низьку самоочисну здатність водойми. Враховуючи, що р. Коноплянка несе велике техногенне навантаження і має прямий зв'язок із Запорізьким (Дніпровським) водосховищем, актуальним є проведення гідробіологічного моніторингу річки і розробка заходів щодо підвищення її самоочисної здатності, одним з яких може бути створення штучного біоплату.

### Висновки

1. Зоопланктон різних ділянок р. Коноплянка мав суттєві відмінності і, в цілому, характеризувався обмеженим видовим складом (14 видів) і низькими показниками чисельності і біомаси.

2. За кількістю видів і показниками розвитку зоопланктону найнижчі показники мала верхня ділянка р. Коноплянка, що підпадала під вплив побутових і промислових скидних вод м. Кам'янське (ділянка промзони), а найвищі – ділянка старого русла, яка відокремлена від основного русла дамбою і має зв'язок з річкою тільки через ґрунтові води.

3. Виявлені види-домінанти зоопланктону на ділянках промзони, хвостосховища та гирла є індикаторами помірного органічного забруднення ( $\beta$ -мезосапроби) і за категоріями сапробності характеризують ці ділянки як «слабо забруднені». Ділянка старого русла відноситься до категорії «досить чиста», а домінуючі види зоопланктону належать до  $\alpha$ - $\beta$ -сапробіонтів.

4. Низьке біорізноманіття зоопланктону, домінування в його складі дрібних форм, переважання копеподітного комплексу над кладоцерним можуть свідчити про хронічну токсифікацію р. Коноплянки.

5. Опосередкованим свідченням впливу радіаційного забруднення, джерелом якого може бути розташоване на правому березі р. Коноплянка хвостосховище уранових відходів, може слугувати абсолютне домінування коловортки *Brachionus calyciflorus* і пригнічення розвитку інших видів ротаторного комплексу.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати проведених досліджень можуть бути використані для розробки гідробіологічного моніторингу екологічного стану р. Коноплянка, які утворять наукову платформу для розробки практичних заходів щодо підвищення самоочисної здатності річки і знизять ризики негативного впливу її на Запорізьке (Дніпровське) водосховище.



## Література

1. Лаврова Т.В. Радіоекологічний моніторинг майданчиків спадщини уранового виробництва: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.01. Київ, 2023. 235 с.
2. Яковенко В.О., Федоненко О.В., Тушницька Н.Й. Оцінка стану зоопланктону і зообентосу р. Мокра Сура. *Рибогосп. наука України*. 2017. № 4 (42). С. 19–32.
3. Яковенко В.О., Єсіпова Н.Б., Деркач Т.О. Видовий склад та кількісні показники літорального зоопланктону річки Оріль. *Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів*: зб. матер. VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України. Київ, 2019. С. 106–109.
4. Єсіпова Н.Б. Біоіндикація в якості контролю екологічного стану заповідних територій. *Екологічні проблеми сучасності: праці II Міжнар. наук.-практич. конф. (Луцьк, 10 травня 2024 р.)*. Луцьк, 2024. С. 52–55.
5. Захаренко М.О., Курбатова І.М., Поляковський В.М. Оцінка екологічного стану водойм за видовим складом зоопланктону та фітопланктону. *Біологічні системи*. 2022. Т. 14. Вип. 1. С. 74–81.
6. Rico-Martínez I. R., Arias-Almeida J. C., Pérez-Legaspi I. A., Alvarado-Flores J., Retes-Pruneda J. L. Adverse Effects of Herbicides on Freshwater Zooplankton. In book: *Herbicides – Properties, Synthesis and Control of Weeds*. 2012. P. 405–434. DOI:10.5772/33558
7. Grillo-Avila D., Antón-Pardo M., Armengol J. et al. Effects of the herbicide bentazone on the structure of plankton and benthic communities representative of Mediterranean coastal wetlands: a mesocosm experiment. *Hydrobiologia*. 2024. № 27. DOI:10.1007/s10750-024-05779-w
8. El-Metwally M.E.A., El-Regal M.A.A., Abdelkader A.I., Sanad E.F. Heavy metal accumulation in zooplankton and impact of water quality on its community structure. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022. Vol.: (0123456789)  
1. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09424-x>
- a. 9. Jeong T.Y., Simpson M.J. Reproduction stage specific dysregulation of *Daphnia magna* metabolites as an early indicator of reproductive endocrine disruption. *PubMed*. 2020. PMID: 32717493. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116107
2. 10. Jeong T.Y., Simpson M.J. Endocrine Disruptor Exposure Causes Infochemical Dysregulation and an Ecological Cascade from Zooplankton to Algae. *PubMed*. 2021. PMID: 33617259. DOI: 10.1021/acs.est.0c07847
3. 11. Razak M. R., Wee S. Y., Yusoff F. M., Yusof Z. N. B. Zooplankton-Based Adverse Outcome Pathways: A Tool for Assessing Endocrine Disrupting Compounds in Aquatic Environments. *Environmental Research*. 2024. 252, 119045. DOI:10.1016/j.envres.2024.119045
4. 12. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. К.: ЛОГОС, 2006. 408 с
5. 13. Єсіпова Н.Б., Шарамок Т.С., Скляр Т.В., Маренков О.М., Гудим Н.Г., Форощук В.В. Гідроекологічна характеристика сучасного стану Запорізького (Дніпровського) водосховища та його приток. *Рибогосп. наука України*, 2023. № 4 (66). С. 35–48.
6. 14. Думіч О.Я. Оцінка якості води ставів у категоріях сапробності. *Наук. вісник НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.4. С. 72–75.
7. 15. Shuryak I. Modeling species richness and abundance of phytoplankton and zooplankton in radioactively contaminated water bodies. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018. Vol. 192. P. 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.05.016>
8. 16. Пікарєня Д.С., Орлінська О.В., Рудаков Л.М., Гапич Г.В. Досвід застосування геофізичних методів для оцінки технічного стану огорожувальної дамби хвостосховища. *Наук. журн. Метінвест Політехніки*. 2024. № 1. С. 82–89.

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ СТЕРЛЯДІ В УСТАНОВКАХ ЗАКРИТОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ (УЗВ): КОНТРОЛЬ ТА БЕЗПЕКА

Ішук О.В., Світельський М.М., Ковальчук І.І., Слюсар М.М., Мамченко В.Ю.

Житомирський державний університет імені Івана Франка

вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир

ischuk\_o@ukr.net, svitmm71@ukr.net, kovalchuk\_ira0982@ukr.net,

slusar\_nv@ukr.net, 79mamchenko@gmail.com

Метою роботи була еколого-санітарна оцінка якості і безпеки стерляді, яка вирощена в умовах системи із замкненим циклом водоспоживання, і води, взятої з басейну, де утримувалася риба.

Дослідження проводилися на базі ТОВ «СФГ «Інтеррибгосп». Матеріалом для дослідження були проби води, взяті з басейну і риба, вирощена в умовах УЗВ. При оцінці екологічного стану води та ступеня її забруднення враховувалися такі показники: рН, окислюваність, вміст заліза, масова частка хлоридів, аміак та іони амонію, сульфати і нітрити. Якість риби оцінювалася за органолептичними, мікробіологічними показниками, а також за показниками екологічної безпеки. Визначення токсичних елементів в рибі (Cd, As, Hg, Pb) і радіонуклідів ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) проводили в Житомирській регіональній лабораторії Держпродспоживслужби. Фізичні і хімічні особливості води мають виключно важливе значення для риби, особливо в УЗВ. Вміст аміаку не перевищував 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст нітритів і сульфатів були в межах норми – 0,051 і 52,77 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. Масова частка хлоридів знаходилася на рівні 14,81 мг/дм<sup>3</sup>, а нітритів – 0,051 мг/дм<sup>3</sup>, що в 20 і 50 разів нижче нормативних показників.

За органолептичними показниками стерлядь повністю відповідає ДСТУ 2284:2010 Риба жива. Загальні технічні вимоги. та ДСТУ 8451:2015 Риба жива. Методи визначення органолептичних показників. Стерлядь виявляє ознаки життєдіяльності, рухи тіла, зябрових кришок відповідають природному стану риби у воді. Поверхня тіла чиста з незначним шаром слизу. Запах стерляді природний, властивий живій рибі даного виду, без сторонніх домішок. механічні ушкодження і ознаки хвороб відсутні. Стан очей і колір зябер відповідають нормі (для даного виду риби).

Вміст кадмію в організмі стерляді становив 0,04 мг/кг за норми менше 0,2 мг, кг, миш'яку – менше 0,1 мг/кг, що майже в 10 разів нижче ГДК, вміст ртуті – 0,004 мг/кг за норми 0,3 мг/кг, а вміст свинцю – 0,01 мг/кг за норми 1,0 мг/кг. За мікробіологічними показниками безпеки зразки м'яса стерляді повністю відповідають встановленим нормативам. Кількість стронцію була на рівні 3,5 Бк/кг, а кількість цезію – 3,8 Бк/кг, що менше у порівнянні з допустимою кількістю у 28,5 і 34,2 рази відповідно.

Практична цінність полягає в тому, що отримані в процесі дослідження дані дозволять підвищити ефективність методів утримання стерляді та вирощувати екологічно безпечну товарну продукцію в умовах УЗВ. *Ключові слова:* стерлядь, установка замкнутого водопостачання, органолептичні дослідження, важкі метали, радіонукліди, мікробіологічні показники, екологічна безпека.

**Environmental aspects of sterlet rearing in closed water supply systems (cws): control and safety. Ishchuk O., Svitelsky M., Kovalchuk I., Slyusar M., Mamchenko V.**

The aim of the study was to assess the quality and safety of sterlet reared in a closed-cycle water consumption system and water taken from the pool where the fish were kept. The research was carried out on the basis of Interrybosp Farm LLC. The material for the study was water samples taken from the pool and fish raised under CCS conditions. The following indicators were taken into account when assessing the ecological state of water and the degree of its pollution: pH, oxidation, iron content, mass fraction of chlorides, ammonia and ammonium ions, sulfates and nitrites. The quality of the fish was assessed by organoleptic, microbiological, and environmental safety indicators. Toxic elements in fish (Cd, As, Hg, Pb) and radionuclides ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) were determined at the Zhytomyr Regional Laboratory of the State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection. The physical and chemical characteristics of water are extremely important for fish, especially in the UZV. The ammonia content did not exceed 0.04 mg/dm<sup>3</sup>. The content of nitrite and sulfate was within normal limits – 0.051 and 52.77 mg/dm<sup>3</sup>, respectively. The mass fraction of chlorides was at 14.81 mg/dm<sup>3</sup>, and nitrites – 0.051 mg/dm<sup>3</sup>, which is 20 and 50 times lower than the standard.

In terms of organoleptic characteristics, sterlet fully complies with DSTU 2284:2010 Live fish. General technical requirements. and DSTU 8451:2015 Live fish. Methods for determination of organoleptic characteristics. Sterlet shows signs of vital activity, body movements, gill covers correspond to the natural state of the fish in the water. The body surface is clean with a slight layer of mucus. The smell of sterlet is natural, characteristic of a live fish of this species, without impurities. mechanical damage and signs of disease are absent. The condition of the eyes and the color of the gills correspond to the norm (for this type of fish).

The content of cadmium in sterlet was 0.04 mg/kg, while the norm is less than 0.2 mg/kg, arsenic was less than 0.1 mg/kg, which is almost 10 times lower than the MPC, mercury was 0.004 mg/kg, while the norm is 0.3 mg/kg, and lead was 0.01 mg/kg, while the norm is 1.0 mg/kg. In terms of microbiological safety indicators, sterlet meat samples fully comply with the established standards. The amount of strontium was 3.5 Bq/kg, and the amount of cesium was 3.8 Bq/kg, which is 28.5 and 34.2 times less than the permissible amount, respectively.

The practical value of the study is that the data obtained in the course of the research will allow to increase the efficiency of sterlet keeping methods and to grow environmentally safe commercial products in the conditions of the closed water supply system. *Key words:* sterlet, closed water supply system, organoleptic studies, heavy metals, radionuclides, microbiological indicators, environmental safety.

**Постановка проблеми.** Риба є одним з найважливіших продуктів харчування, оскільки має збалансований хімічний склад і є цінним джерелом вітамінів, макро- і мікроелементів. Вона багата на йод, марганець, залізо, цинк, селен, калій, кальцій, фосфор, фтор, вітамінами А, В і Д. Мікроелементів в рибі набагато більше, ніж у яловичині та свинині. Біологічна цінність рибного білку перевершує м'ясний і засвоюється на 93-98%. Ще одна незаперечна перевага продукту – значна кількість корисних поліненасичених жирних кислот. Регулярне споживання риби покращує роботу серця і нервової системи, зміцнює опорно-руховий апарат, сприятливо впливає на шкіру та слизові оболонки, попереджує розвиток атеросклерозу, зменшує ризик розвитку злоякісних пухлин [1, 2].

Харчова цінність риби здебільшого визначається середовищем її існування [3].

Сьогодні на середньостатистичного українця припадає близько 13,7 кг риби. Рекомендована норма (за даними ФАО) становить 20-21 кг на рік на одну людину. Світове споживання рибопродуктів на душу населення продовжує зростати приблизно на 2% щороку і наближається до даної норми. Частка аквакультури на світовому рибному господарстві досягає понад 50% [4].

На сьогоднішній день можна виділити декілька заходів для збільшення виробництва риби в Україні, зокрема [5-7]:

1. Розвиток аквакультури: інвестування у сучасні технології для вирощування риби в контрольованих умовах, що дозволить збільшити виробництво риби.

2. Підтримка малих рибницьких підприємств: надання фінансової підтримки та навчання веденню бізнесу в галузі рибництва.

3. Збільшення імпорту риби: імпортування риби з інших країн може допомогти забезпечити адекватне постачання риби на внутрішньому ринку.

4. Підвищення ефективності використання водних ресурсів: раціональне використання водних ресурсів з метою покращення умов вирощування риби.

На нашу думку, дієвим заходом є саме розвиток аквакультури, зокрема вирощування риби в рециркуляційних системах (УЗВ).

**Актуальність дослідження.** В умовах строгих екологічних обмежень, які направлені на мінімізацію забруднень від рибних заводів і господарств, значення набувають рециркуляційні методи вирощування гідробіонтів, зокрема й розведення риби в установках замкненого водопостачання (УЗВ). Останнім часом використання УЗВ в рибництві стало перспективною світовою тенденцією [7-9].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження є важливими, оскільки для вирішення проблеми скорочення популяції стерляді, рибна промисловість вимушена звертатися до штучного вирощування

риб в садках, УЗВ та ставках. Проте, при цьому необхідно забезпечити екологічну безпеку товарної риби.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Риба вирощена в УЗВ, менше піддається ризикам, які пов'язані з несприятливими погодними умовами і забрудненням водного середовища. Проте в системах УЗВ можуть накопичуватися компоненти корму, метаболіти, які впливають на здоров'я риби, якості і безпеку м'яса [5, 8, 9].

На сьогоднішній день стерлядь є перспективним об'єктом для штучного вирощування в умовах УЗВ. Перш за все, це пояснюється тим, що стерлядь має досить високу ступінь мінливості більшості морфо-біологічних ознак в межах популяції. Наприклад: наявність особин, які різко відрізняються за меристичними і пластичними ознаками в межах однієї річкової системи, значні коливання довжини, маси, вгодованості в межах однієї вікової групи; мають різницю в розмірах, темпах росту, плодючості, строках настання статевої зрілості в особин однієї річкової системи. На відміну від більшості інших видів осетрових стерлядь наділена широкою харчовою пластичністю і живиться в широкому діапазоні температур від +5 до +28°C. Важлива біологічна особливість стерляді – досягнення нею статевої зрілості у відносно ранньому в порівнянні з іншими осетровими віці (самки – 5-7 років, самці – 3-4 роки), що дає певні переваги при її розведенні. А також вона має відносно невеликий міжнерестовий інтервал (самки нерестяться через 1-2 роки; самці – щороку), що також збільшує строки використання стерляді під час її штучного розведення [10, 11].

Риба має високу харчову цінність, яка обумовлена вмістом в ній таких речовин: фтору, цинку, нікелю, молібдену, вітамінів РР та омега-3 кислот. У 100 г продукту міститься 18 г білку, 2 г жиру та 1,3 г мінеральних речовин [1, 2, 11, 12].

В природних умовах стерлядь мешкає в річках Чорного, Каспійського і Балтійського морів. В Україні зустрічається в річках Дунай (Дунайська дельта та верхня частина Дунаю), Дніпро (басейн Київського водосховища), Прип'ять, Десна, Південний Буг та Дністер. Стерлядь прісноводна – занесена до Червоної книги України та перебуває під охороною Бернської Конвенції про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі, Міжнародного союзу охорони природи, Європейського Червоного списку і Конвенції про міжнародну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення [10, 11].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** За останні роки вирощування стерляді в установках закритого водопостачання стало актуальним напрямком в аквакультурі [10]. Зростаючий попит на продукцію рибного господарства та зниження природних запасів риби змушують виробни-

ків шукати нові способи її вирощування. Еколого-біологічні показники відіграють важливу роль у створенні сприятливих умов для росту та розвитку стерляді, а також у забезпеченні їхнього здоров'я. Дослідження в цій галузі допомагають оптимізувати умови вирощування, підвищувати продуктивність та якість продукції, а також зменшувати негативний вплив на довкілля. Тому тема еколого-біологічних показників при вирощуванні стерляді в установках закритого водопостачання є дуже актуальною і важливою для подальшого розвитку аквакультури [13-18].

Проте, вирощування товарної стерляді в рециркуляційних системах може зіштовхнутися з декількома проблемами. Зокрема, це контроль якості води, забезпечення правильного харчування та управління хворобами й паразитами. Важливо регулярно контролювати параметри води – рівень кисню, рН та аміак, з метою забезпечення здорового середовища для стерляді. Також необхідно забезпечити риб оптимальним харчуванням і контролювати якість корму [14, 17].

У зв'язку з цим **метою** наших досліджень була еколого-санітарна оцінка якості та безпеки товарної стерляді, яка вирощена в умовах системи із замкненим циклом водопостачання, і води, взятої з басейну, де утримувалася риба.

**Новизна.** Вперше в умовах ТОВ «Інтетриба» досліджені гідрохімічні показники води в установках замкненого водопостачання (УЗВ) при вирощуванні товарної стерляді. Проведена оцінка екологічної безпеки товарної стерляді за токсикологічними, мікробіологічними та радіологічними показниками, вирощеної в умовах УЗВ.

**Матеріали та методи дослідження.** Дослідження проводилися на базі ТОВ «СГФ «Інтеррибгосп». Матеріалом для дослідження були зразки води, взяті з басейну і риба, вирощена в умовах УЗВ. Зразки відбиралися згідно існуючих нормативних документів (ДСТУ ISO 5667-2:2003 Якість води. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб (ISO 5667-2:1991, IDT [19]; ДСТУ ISO 5667-3-

2001 Якість води. Відбирання проб. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами (ISO 5667-3:1994, IDT) [20] і ДСТУ 7972:2015 Риба та рибні продукти. Правила приймання, методи відбирання проб [21].

При оцінці екологічного стану води та ступеня її забруднення враховувалися такі показники: рН, окислюваність, вміст заліза, масова частка хлоридів, аміак та іони амонію, сульфати і нітрити.

Якість риби оцінювалася за органолептичними, мікробіологічними показниками, а також за безпечністю (ДСанПіН 4.2-180-2012 Медичні вимоги до якості та безпечності харчових продуктів та продовольчої сировини) [22].

При органолептичній оцінці в першу чергу звертали увагу на зовнішній вигляд, колір, запах, стан риби, наявність зовнішніх пошкоджень (ДСТУ 8451:2015 Риба та рибні продукти. Методи визначення органолептичних показників; ДСТУ 2284:2010 Риба жива. Загальні технічні вимоги) [23, 24].

Визначення токсичних елементів в рибі (Cd, As, Hg, Pb) і радіонуклідів ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) проводили в Житомирській регіональній лабораторії Держпродспоживслужби. Вміст кадмію, свинцю, цезію визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії з атомізацією у полум'ї атомно-абсорбційного спектрофотометра Varian AA 240-FS. Ртуть визначали за допомогою аналізатора ртуті DMA-80, миш'як визначали за допомогою спектрофотометра Cary 50 та електроколориметра КФК-2.

**Викладення основного матеріалу.** Фізичні і хімічні особливості води мають виключно важливе значення для риби, особливо в УЗВ. Гідрохімічні показники якості води, взятої із басейнів для утримання риби, представлені в таблиці 1.

Вміст аміаку як основного показника, що впливає на ріст і розвиток риби, не перевищував 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. Це пояснюється дотриманням щільності посадки риб, оптимального температурного режиму (+18...+21°C) і рівня рН (7,2). Вміст нітритів і сульфатів також були в межах норми – 0,051 і 52,77 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. Масова частка хлоридів знаходилася на

Таблиця 1

Гідрохімічні показники води

| Показник                                                                    | Результат дослідження | Норматив       | НД на метод випробувань |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|
| Показник рН, од. рН                                                         | 7,2                   | 6,5-8,5        | ДСТУ 4077-2001          |
| Залізо ( $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$ ), мг/дм <sup>3</sup>          | 0,09                  | 0,1            | ДСТУ 6332:2003          |
| Нітрити ( $\text{NO}_2$ ), мг/дм <sup>3</sup>                               | 0,051                 | 0,08           | ДСТУ ISO 6059:2003      |
| Аміак і іони амонію ( $\text{NH}_3$ , $\text{NH}_4^+$ ), мг/дм <sup>3</sup> | менше 0,04            | 0,5-1,0        | ДСТУ ISO 566            |
| Перманганатна окислюваність                                                 | 8,0                   | не більше 10,0 | ДСТУ ISO 8467:2021      |
| Сульфати ( $\text{SO}_4$ ), мг/дм <sup>3</sup>                              | 52,77                 | 100            | МВВ№ 01/02-04/2022      |
| Масова частка хлоридів (Cl), мг/дм <sup>3</sup>                             | 14,81                 | 300            | ДСТУ 9297:2007          |

рівні 14,81 мг/дм<sup>3</sup>, а нітритів – 0,051 мг/дм<sup>3</sup>, що в 20 і 50 разів нижче нормативних показників.

Органолептичні показники якості живої риби, які оцінювалися за певними ознаками, свідчать про її придатність для товарного використання. Результати органолептичних показників стерляді представлені в таблиці 2.

Отже, риба вирощена в умовах УЗВ, за органолептичними показниками повністю відповідає ДСТУ 2284:2010 Риба жива. Загальні технічні вимоги та ДСТУ 8451:2015 Риба жива. Методи визначення органолептичних показників. Стерлядь проявляє ознаки життєдіяльності, рухи тіла, зябрових кришок відповідають природному стану риби у воді. Поверхня тіла чиста з незначним шаром слизу. Запах стерляді природний, властивий живій рибі даного виду, без сторонніх домішок. механічні ушкодження і ознаки хвороб відсутні. Стан очей і колір зябер відповідають нормі (для даного виду риби).

Небезпечними для живих організмів, у тому числі і людини, є солі важких металів, які надходять із навколишнього середовища або накопичуються у воді. Найбільш поширеними є ртуть, свинець, миш'як, кадмій, мідь та ін. З метою визначення екологічної безпеки зразки риби, вирощеної в умовах УЗВ, були досліджені на вміст токсичних елементів та пестицидів. Отримані результати наведені на рисунках 1 та 2.

Зокрема вміст кадмію в організмі стерляді відповідає 0,04 мг/кг за норми менше 0,2 мг, кг, миш'яку – менше 0,1 мг/кг, що майже в 10 разів нижче ГДК, вміст ртуті – 0,004 мг/кг за норми 0,3 мг/кг, а вміст свинцю – 0,01 мг/кг за норми 1,0 мг/кг.

Необхідно відмітити, що з токсичних елементів у зразках риби були виявлені кадмій (Cd), миш'як (As), ртуть (Hg) і свинець (Pb), проте їх вміст був значно нижчим і не перевищував ГДК.

Мікробіологічні показники (*Listeria monocytogenes*, *S. aureus*, *V. parahaemolyticus*, БГКП (коліморфи), патогенні організми в досліджуваних зразках риби не виявлені. Таким чином, за мікробіологічними показниками безпеки зразки м'яса стерляді відповідали нормативам (табл. 3).

При дослідженні стерляді на вміст радіонуклідів було встановлено, що кількість стронцію була на рівні 3,5 Бк/кг, а кількість цезію – 3,8 Бк/кг, що менше у порівнянні з допустимою кількістю у 28,5 і 34,2 рази відповідно (табл. 4).

Отже, за показниками екологічної безпеки риба, вирощена в умовах УЗВ, є екологічно чистою.

**Головні висновки.** Таким чином, стерлядь вирощена в умовах УЗВ ТОВ «Інтерриба» за показниками екологічної безпеки, зокрема за вмістом важких металів, радіонуклідів є безпечною для організму людини, оскільки їх рівень не перевищує значень ГДК.

Таблиця 2

## Органолептичні показники риби

| Показник             | Результат дослідження                                                                                                              | Норматив                                                                                                                                                                                                                                            | НД на метод дослідження          |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Зовнішній вигляд     | Поверхня тіла чиста, забарвлення природне, що відповідає даному типу риби, з тонким шаром слизу; візуальні прояви хвороби відсутні | Шкіра туга, має природне забарвлення, властиве для даного виду риб, щільно прилягає до тіла; слизу виділяється досить багато, прозорий, без домішок крові. Дозволена наявність незначних почервонінь, незначні пошкодження шкірно-лускового покриву | ДСТУ 2284:2010<br>ДСТУ 8451:2015 |
| Запах                | Властивий живій рибі даного виду, без сторонніх домішок                                                                            | Властивий живій рибі даного виду, без сторонніх запахів. У разі варіння запах без гнилісних, бензинових, ацетонових та інших запахів.                                                                                                               | ДСТУ 2284:2010<br>ДСТУ 8451:2015 |
| Стан очей            | Світлі, прозорі, без пошкоджень                                                                                                    | Загалом опуклі, або трохи запалі, рогівка прозора, райдужна оболонка забарвлена відповідно до виду риби, в передній камері можуть бути окремі крововиливи                                                                                           | ДСТУ 2284:2010<br>ДСТУ 8451:2015 |
| Стан риби            | Виявляє ознаки життєдіяльності, з природними рухами тіла, щелеп, зябрових кришок, плаває у воді. Без ознак хвороб.                 | Риба, що проявляє ознаки життєдіяльності, природно рухає тілом, щелепами, плавцями, зябровими кришками та плаває спиною вгору. Здорова без ознак хвороб.                                                                                            | ДСТУ 2284:2010<br>ДСТУ 8451:2015 |
| Колір зябер          | Червоний                                                                                                                           | Колір зябрових пелюсток яскраво-рожевий або блідий червоний, без мозаїчного малюнка                                                                                                                                                                 | ДСТУ 2284:2010<br>ДСТУ 8451:2015 |
| Зовнішні пошкодження | Механічні пошкодження відсутні                                                                                                     | Механічні пошкодження відсутні                                                                                                                                                                                                                      | ДСТУ 2284:2010<br>ДСТУ 8451:2015 |



Рис. 1. Вміст токсичних елементів у м'ясі стерляді, мг/кг

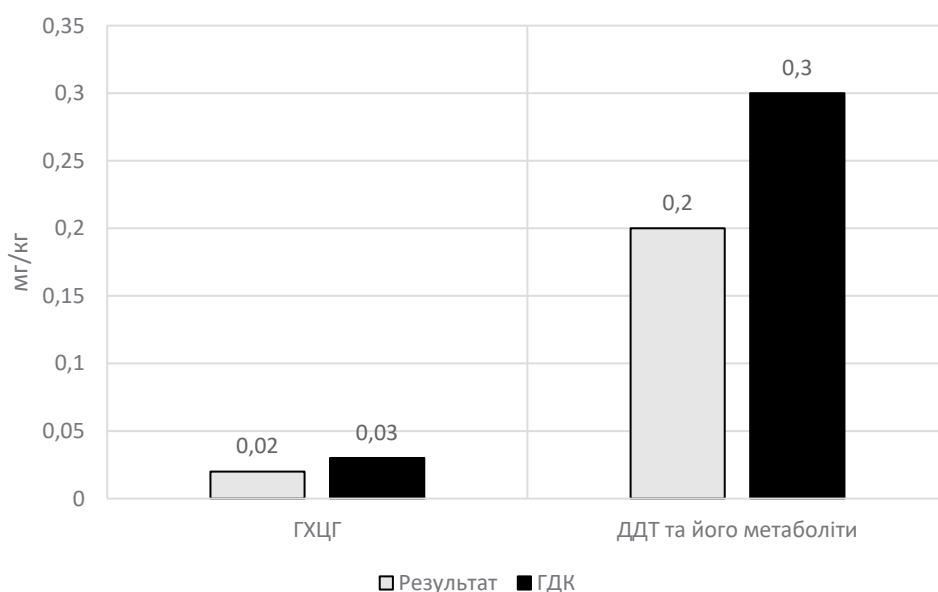


Рис. 2. Вміст пестицидів у м'ясі стерляді, мг/кг

Таблиця 3

## Показники безпеки м'яса стерляді

| Показник                                | Результат дослідження | Норматив                  |
|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| <i>Listeria monocytogenes</i> , г       | не виявлено           | у 24,0 не допускається    |
| <i>Listeria monocytogenes</i> , г       | не виявлено           | у 0,01 не допускається    |
| <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , КУО/ г | не виявлено           | не більше 100             |
| БГКП (коліморфи), г                     | не виявлено           | у 0,001 не допускається   |
| КМАФАнМ, КУО/ г                         | не виявлено           | не більше $1 \times 10^5$ |
| Патогенні, у тому числі сальмонели, г   | не виявлено           | у 24,0 не допускається    |

Таблиця 4

## Радіологічні показники безпеки м'яса стерляді

| Показник                 | Результат дослідження | ГДК |
|--------------------------|-----------------------|-----|
| <sup>90</sup> Sr, Бк/кг  | 3,5                   | 100 |
| <sup>137</sup> Cs, Бк/кг | 3,8                   | 130 |

Наявність патогенних мікроорганізмів, БГКП (коліморфи), *Listeria*, *S. aureus*, *V. parahaemolyticus* не виявлено.

Органолептичні показники (зовнішній вигляд, запах, стан очей, риби, колір зябер) повністю відповідають вимогам ДСТУ 2284:2010 Риба жива. Загальні технічні вимоги. Риба виявляє ознаки життєдіяль-

ності, з природними рухами тіла, зябер, зябрових кришок, плаває у воді. Поверхня стерляді чиста, шкіра має природне забарвлення, з тонким шаром слизу, ознаки захворювань і механічних пошкоджень відсутні. очі світлі, прозорі, без пошкоджень, колір зябер червоний.

**Перспективи подальших досліджень.** Оскільки стерлядь є цінною промисловою рибою і на сьогоднішній день є перспективним об'єктом штучного розведення, плануємо в подальшому провести дослідження біохімічного складу м'яса та харчової цінності.

### Література

1. Євлаш В. В., Газзаві-Рогозіна Л. В., Пілюгіна І. С., Сєногенова Л. І. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів: навч. посіб. Х.: Світ Книг, 2021. 120 с.
2. Димань Т., Гриневич Н., Мазур Т. Безпека харчових гідробіонтів: підручник. Київ: ВЦ «Академія», 2022. 256 с.
3. Шевченко Р. І., Кресітінков І. С., Обухова А. С. Екологічна безпека харчових продуктів: визначення поняття. *Харчова наука і технологія*. 2015. № 1. С. 65–70.
4. Смирнюк Н. І., Бурак І. В., Марценюк Н. О. Забезпеченість населення України рибою та рибною продукцією на сучасному етапі становлення ринкових відносин. *Рибогосподарська наука України*. 2017. № 1. С. 76–83.
5. Сучасна аквакультура: від теорії до практики / Ю. Є. Шаріло та ін. К.: Простобук, 2016. 150 с.
6. Миськовець Н. П. Аналіз сучасного стану та перспективи розвитку рибного господарства України. *Бізнес Інформ*. 2020. № 3. С. 104–111.
7. Кваша С. М., Вдовенко Н. М. Світові тенденції розвитку ринку продукції аквакультури і місце України на ньому. *Економіка ринкових відносин*. Київ, 2011. № (7). С. 54–62.
8. Андрущенко А. І., Вовк Н. І. Індустріальна аквакультура. К.: Наука, 2014. 586 с.
9. Андрущенко А. І., Вовк Н. І., Кондратюк В. М. Технології прісноводної аквакультури. Том III. Індустріальна прісноводна аквакультура: підручник. К., ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ», 2017. 513 с.
10. Шевченко В. Ю., Чемодуров О. В. Стерлядь та ленський осетер як об'єкти вирощування в УЗВ. Інноваційні підходи до формування та управління антропогенними і природними екосистемами півдня України: матеріали науково-практичної Інтернет-конференції викладачів, молодих вчених та здобувачів вищої освіти (м. Херсон, 18 – 19 березня 2020 р.) Херсон: ХДАУ, 2020. С. 24–25., 2020. С. 24.
11. Алімов С. І., Андрущенко А. І. Осетрівництво: навч. посібник. Київ: Оберіг, 2008. 502 с.
12. Товстик В. Ф. Рибицтво. Х.: Еспада, 2004. 272 с.
13. Давидов О. М., Темніханов Ю. Д. Основи ветеринарно-санітарного контролю в рибицтві: навч. посіб. Київ: Фірма «ІНККОС», 2004. 144 с.
14. Берник І. М., Фаріонік Т. В., Новгородська Н. В. Ветеринарно-санітарна експертиза продуктів тваринного та рослинного походження: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 126 с.
15. Козловська Г. В., Мельник М. В. Санітарна мікробіологія: навчальний посібник. Київ.: ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2019. 168 с.
16. Куртяк Б. М., Сімонов Р. П. Ветеринарно-санітарна експертиза харчових продуктів в Україні : нормативні документи (довідник). Львів: Леонорм, 2000. 284 с.
17. Ковбасенко В. М. Ветеринарно-санітарна експертиза з основами технології і стандартизації продуктів тваринництва: навч. посіб. Київ: Фірма «ІНККОС», 2005. Т.1. 416 с., Т.2. 536 с.
18. Фотіна Т. І., Березовський А. В., Петров Р. В., Горчанок Н. В. Ветеринарно-санітарна експертиза риби, морських ссавців та безхребетних тварин : навч. посіб. Вінниця: Нова Книга, 2013. 120 с.
19. ДСТУ ISO 5667-2:2003 Якість води. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб. URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/yakist\\_vo\\_nastanovi\\_schodo\\_zber-3-28047.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/yakist_vo_nastanovi_schodo_zber-3-28047.pdf) (дата звернення 20.01.2025).
20. ДСТУ ISO 5667-2:2003 Якість води. Відбирання проб. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами. URL: <https://environmentallab.com.ua/wp-content/uploads/2021/10/dstu-iso-5667-3-2001-yakist-vodi.-vidbirannya-prob.-chastina-3.-nastanovi-shhodo-zberigannya-ta-povodzhennya-z-probami.pdf> (дата звернення 20.01.2025).
21. ДСТУ 7972:2015 Риба та рибні продукти. Правила приймання, методи відбирання проб. URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu\\_7972\\_2015\\_riba\\_ta\\_ribni\\_produkty.\\_pravila\\_priyannya\\_met.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_7972_2015_riba_ta_ribni_produkty._pravila_priyannya_met.pdf) (дата звернення 20.01.2025).
22. ДСанПіН 4.2-180-2012 Медичні вимоги до якості та безпечності харчових продуктів та продовольчої сировини. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0088-13#Text> (дата звернення 20.01.2025).
23. ДСТУ 8451:2015. Риба та рибні продукти. Методи визначення органолептичних показників / Л. Горбещь, Л. Єсін, К. Луніна, Б. Панов. Увед. вперше; чинний від 2017-07- 01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. III, 18 с. (Національний стандарт України).
24. ДСТУ 2284:2010 Риба жива. Загальні технічні вимоги. URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu\\_2284\\_2010\\_riba\\_zhiva.\\_zagalni\\_tekhnichni\\_vimogi\\_1.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_2284_2010_riba_zhiva._zagalni_tekhnichni_vimogi_1.pdf) (дата звернення 20.01.2025).

## КАРОТИНОСИНТЕЗУВАЛЬНІ ДРІЖДЖІ ЯК МОДЕЛЬНІ ОРГАНІЗМИ ДЛЯ БІОІНДИКАЦІЇ СОЛЕЙ КУПРУМУ (II) У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Крупей К.С.<sup>1</sup>, Рильський О.Ф.<sup>2</sup>, Количева Н.Л.<sup>1</sup>, Бобровська О.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Запорізький державний медико-фармацевтичний університет  
пр. Маяковського, 26, 69000, м. Запоріжжя

<sup>2</sup>Запорізький національний університет  
вул. Університетська, 66, 69600, м. Запоріжжя

[krupeyznu@gmail.com](mailto:krupeyznu@gmail.com), [rylsky@ukr.net](mailto:rylsky@ukr.net), [nkolyceva68@gmail.com](mailto:nkolyceva68@gmail.com), [bobrovskia.o.d@mphu.edu.ua](mailto:bobrovskia.o.d@mphu.edu.ua)

Пігменти, які синтезуються дріжджами, є важливою індикаційною ознакою, оскільки інтенсивність їх кольору та концентрація змінюються залежно від концентрації і типу забруднень. У цьому контексті дослідження впливу важких металів, таких як Купрум (II), на синтез каротиноїдів у дріжджах набуває особливого значення, оскільки дозволяє використовувати їх як біоіндикатори забруднення води важкими металами.

У роботі досліджено вплив солей Купруму (II) на синтез каротиноїдних пігментів у дріжджів *Rhodotorula glutinis* УКМ-1333 та *Rhodospiridium sphaerocarpum* УКМ-44. Проведено спектрофотометричне визначення концентрації каротиноїдів у клітинах дріжджів та встановлено сильний кореляційний зв'язок ( $r = 0,8$ ;  $p < 0,05$ ) між візуальною оцінкою кольору колоній і концентрацією  $\beta$ -каротину, що підтверджує ефективність візуальної оцінки як методу біоіндикації.

Виявлено, що концентрація  $\beta$ -каротину у контрольних зразках була в 1,6 раза вищою у *R. sphaerocarpum* (0,268 мкг/см<sup>3</sup>) ніж у *Rh. glutinis* (0,179 мкг/см<sup>3</sup>). Іони Купруму (II) у складі солей  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  спричиняли дозозалежне пригнічення пігментоутворення. Для *Rh. glutinis* мінімальні концентрації йонів  $\text{Cu}^{2+}$ , за яких повністю блокувався синтез каротиноїдів, становили 200–300 мг/дм<sup>3</sup> для  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 300 мг/дм<sup>3</sup> – для  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  та 100 мг/дм<sup>3</sup> – для  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .

Дріжджі *R. sphaerocarpum* показали більшу стійкість до дії солей Купруму у порівнянні з *Rh. glutinis*. Повне припинення синтезу пігментів за дії  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  спостерігалось за концентрації 400 і 300 мг/дм<sup>3</sup> йонів Купруму (II), відповідно. Найбільш токсичною сполукою для обох видів дріжджів була  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ , але повністю культура *R. sphaerocarpum* втрачала здатність до утворення пігментів за концентрації  $\text{Cu}^{2+}$  300 мг/дм<sup>3</sup>.

Дослідження підтвердило, що візуальна оцінка пігментоутворення є надійним методом для оцінки впливу важких металів, таких як Купрум (II), на каротиносинтезувальні дріжджі *Rh. glutinis* та *R. sphaerocarpum*. Перспективою подальших досліджень є вивчення дозозалежного впливу інших солей важких металів на синтез каротиноїдних пігментів дріжджів різних видів, що дозволить розширити спектр біоіндикаторів стану водних екосистем. **Ключові слова:** дріжджі, пігмент, каротиноїди, біоіндикація, Купрум (II), водні екосистеми.

**Carotenoid-synthesizing yeasts as model organisms for bioindication of Copper (II) salts in aquatic ecosystems. Krupiec K., Rylsky O., Kolycheva N., Bobrovskia O.**

The pigments synthesized by yeast are an important indicator feature, as their color intensity and concentration change depending on the concentration and type of contaminants. In this context, the study of the effect of heavy metals, such as Cu (II), on the synthesis of carotenoids in yeast is of particular importance, as it allows them to be used as bioindicators of water pollution by heavy metals.

The influence of Cu (II) salts on the synthesis of carotenoid pigments in the yeasts *Rhodotorula glutinis* UKM-1333 and *Rhodospiridium sphaerocarpum* UKM-44 was studied. The spectrophotometric determination of carotenoid concentration in yeast cells was performed, and a strong correlation ( $r = 0.8$ ;  $p < 0.05$ ) was found between the visual assessment of colony color and  $\beta$ -carotene concentration, which confirms the effectiveness of visual assessment as a bioindication method.

It was found that the concentration of  $\beta$ -carotene in the control samples was 1.6 times higher in *R. sphaerocarpum* (0.268  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) than in *Rh. glutinis* (0.179  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ). Copper (II) ions in the composition of  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  salts caused a dose-dependent inhibition of pigment formation. For *Rh. glutinis*, the minimum concentrations of  $\text{Cu}^{2+}$  ions at which the synthesis of carotenoids was completely blocked were 200-300 mg/dm<sup>3</sup> for  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 300 mg/dm<sup>3</sup> for  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , and 100 mg/dm<sup>3</sup> for  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .

The yeast *R. sphaerocarpum* showed greater resistance to the action of Cu salts compared to *Rh. glutinis*. The complete cessation of pigment synthesis under the influence of  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  was observed at a concentration of 400 and 300 mg/dm<sup>3</sup> of Cu(II) ions, respectively. The most toxic compound for both species of yeast was  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ , but the culture of *R. sphaerocarpum* completely lost the ability to form pigments at a concentration of 300 mg/dm<sup>3</sup> of Cu(II) ions.

The study confirmed that visual assessment of pigment formation is a reliable method for assessing the effect of heavy metals, such as Cu (II), on carotenoid-synthesizing yeasts *Rh. glutinis* and *R. sphaerocarpum*. The prospect of further research is to study the dose-dependent effect of other heavy metal salts on the synthesis of carotenoid pigments in yeasts of other species, which will expand the range of bioindicators of the state of aquatic ecosystems. **Key words:** yeasts, pigment, carotenoids, bioindication, Copper (II), aquatic ecosystems.



**Постановка проблеми.** Забруднення навколишнього середовища в Україні стало особливо серйозною проблемою після повномасштабного вторгнення росії в Україну у 2022 році, коли військові дії спричинили значний вплив на водні та наземні екосистеми [1]. Моніторинг токсичності водних екосистем потребує інноваційних підходів, які враховують складні взаємодії забруднень. Серед перспективних методів оцінки стану водного середовища слід виділити біоіндикацію з використанням мікроорганізмів, що забезпечує аналіз на рівні клітин, організмів і популяцій одночасно.

Дріжджі та бактерії є чутливими до присутності важких металів у середовищі і проявляють зміни фізіологічних та біохімічних параметрів, що робить їх цінними біоіндикаторами. Попри це, більшість досліджень зосереджена на таких видах, як *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* та *Saccharomyces cerevisiae*. Вивчення пігментосинтезувальних дріжджів як модельних організмів є новим напрямком у біоіндикації. Ці еукаріотичні одноклітинні організми дозволяють оцінювати синергічний вплив забруднень, що важливо для точного визначення токсичності середовища, оскільки традиційні методи встановлення гранично допустимих концентрацій не завжди враховують ці аспекти [2–4].

**Актуальність дослідження** полягає у вивченні індикаторних ознак пігментосинтезувальних дріжджів для оцінки токсичного впливу важких металів на водні екосистеми.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження пігментосинтезувальних дріжджів як модельних організмів для біоіндикації важких металів у водних екосистемах відповідає сучасним науковим завданням з вивчення адаптаційних механізмів мікроорганізмів до токсичних умов та їхньої ролі у моніторингу стану довкілля. Практична значущість роботи полягає у розробці нових підходів до оцінки екотоксичності, які можуть бути застосовані для вдосконалення системи екологічного контролю в умовах багатфакторного антропогенного навантаження.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Купрум (II) широко використовується в очищенні води, обробці деревини для захисту від гниття, у виробництві барвників, добрив, фунгіцидів для сільського господарства, текстильної промисловості, гальванічних покриттях і хімічному синтезі [5]. Виходячи з цього, розробка інформативних методів щодо екологічного моніторингу цього політанта в довкіллі має важливе практичне значення. Токсичні властивості Купрум (II) на мікроорганізми пов'язані з інгібуванням росту через вплив на різні біохімічні процеси [6]. Один із основних шляхів, через який важкі метали впливають на організми, у тому числі на мікроорганізми, є порушення функціонування клітинних мембран. Купрум (II) може взаємодіяти

з ліпідами мембран, змінюючи їх структуру та проникність. Це веде до порушення транспорту йонів та молекул через мембрану, що своєю чергою впливає на метаболічні процеси в клітинах. Дослідження показують, що високі концентрації Купруму (II) можуть викликати оксидативний стрес, спричинений накопиченням вільних радикалів, що пошкоджує білки, ліпіди та нуклеїнові кислоти, а також активує механізми апоптозу у мікроорганізмах [6, 7]. Водночас деякі дріжджі можуть накопичувати Купрум (II) у вигляді комплексів з білками, знижуючи його токсичність. Це дозволяє їм виживати в умовах високих концентрацій металу, але зменшує загальний ріст і продуктивність [8]. Дослідження сполук, що містять Купрум, також привертають увагу клінічних фармакологів, оскільки вони мають гіпотензивну, гепатопротекторну й протипухлинну дію [9]. Проте вплив Купруму (II) та інших важких металів на інтенсивність пігментоутворення бактерій та дріжджів вивчений недостатньо, тому обране дослідження є актуальним.

**Мета.** Дослідити вплив солей Купруму (II) на пігментоутворення та ріст дріжджів родів *Rhodotorula* та *Rodosporidium*.

**Об'єкт дослідження** – втрата здатності дріжджів до пігментоутворення у відповідь на вплив солей важких металів ( $\text{Cu}^{2+}$ ) у водному середовищі.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Більшість досліджень, присвячених біоіндикації важких металів та інших забруднень із використанням мікроорганізмів, зосереджені на стандартних модельних організмах, ігноруючи дріжджі, що здатні синтезувати пігменти, у тому числі каротиноїдні. Крім того, відсутні методологічні підходи, які б дозволяли враховувати зміни індикаторних показників цих мікроорганізмів у комплексному екологічному моніторингу.

**Новизна.** Вперше вивчений вплив солей Купруму (II) на інтенсивність пігментоутворення та ріст дріжджів *Rhodotorula* та *Rodosporidium*.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Дослідження сприяє вдосконаленню методологічних підходів до використання дріжджів як модельних організмів для біоіндикації забруднень водних екосистем, зокрема важкими металами. Результати роботи розширюють наукові уявлення про механізми пігментоутворення та адаптаційні реакції дріжджів під дією токсичних факторів, що може бути застосовано в екологічному моніторингу та біотехнологіях.

**Матеріали та методи дослідження.** Об'єктами досліджень були дріжджі *Rhodotorula glutinis* УКМ-1333 та *Rhodosporidium sphaerocarpum* УКМ-44, які були надані із колекції музейних культур Інститутом мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України.

У дослідженнях використовували такі солі Купруму (II):  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ , оскільки ці

сполуки найчастіше зустрічаються в стічних водах промислових підприємств. Солі Купруму (II) мали маркування ЧДА (чисті для аналізу).

**Мікробіологічні методи.** У дослідженнях використовували щільне поживне середовище Сабуро, яке готували на основі відстояної водогінної води. Перед внесенням по 20 мл стерильного та охолодженого до 45 °С середовища в чашки Петрі вносили необхідні концентрації солей важких металів (у перерахунок на катіон). Контролем було поживне середовище Сабуро без солей Купруму (II). Після того, як середовище застигло, на нього суцільним газоном засівали 18-годинні колекційні культури каротинвмісних дріжджів (0,2 мл в 1 чашку Петрі). Щільність суспензії становила  $10^7$  кл/см<sup>3</sup>. Інкубування проводили в термостаті за температури 27-28 °С. Облік результатів здійснювали на 3, 6 та 9 добу інкубації дріжджів. Пігментосинтезувальну активність визначали візуально, порівнюючи дослідні зразки з контролем, за 5-тибальною системою (див. примітку в табл. 1) [7].

**Метод визначення інтенсивності каротиноутворення дріжджів.** Після візуальної оцінки інтенсивності пігментоутворення проводили розрахунок різниці в інтенсивності кольору пігментів між контролем (без Купруму) та дослідними зразками (dE, умовні одиниці). Для цього завантажували фото культур у програму Adobe Photoshop 2021, визначали показники кольорової моделі Lab (у 10-ти довільних точках), переносили значення у програму CIEDE 2000 та на основі цих показників розраховували значення dE (див. рис. 1).

Кількість зразків у вибірці – 5 чашок Петрі на кожну концентрацію йонів Купруму) [10]. Приклад

розрахунку представлений на рис. 2. Після цього розраховували середнє арифметичне значення dE.

**Метод спектрофотометричного визначення кількісного вмісту каротиноїдів у дріжджових клітинах.** Для визначення продуктивності каротинвмісних дріжджів, а саме концентрації каротиноїдів у біомасі за впливу Купруму (II), використовували загальновідомий спектрофотометричний метод (без попереднього розділення) [11].

**Методи статистичного аналізу результатів досліджень.** Статистичну обробку отриманих результатів проводили із використанням програми для роботи з електронними таблицями «Microsoft Office Excel 2010» та «Statistica 10» [12]. Для підтвердження кореляційного зв'язку між візуальною оцінкою пігментоутворення та концентрацією каротиноїдів у культурах дріжджів в онлайн-калькуляторі розраховували коефіцієнт рангової кореляції r-Спірмена, який являє собою непараметричний метод, що широко використовується для визначення кореляційного зв'язку між 2-ма ранговими змінними.

**Виклад основного матеріалу.** Вплив солей Купруму (II) на синтез каротиноїдних пігментів дріжджів-індикаторів. Однією з головних вимог біоіндикаторних організмів є поступова зміна індикаційної ознаки/ознак у відповідь на вплив різного роду забруднень. Пошук індикаторів серед мікроорганізмів є актуальною задачею, оскільки на сьогодні недостатньо вивчені індикаційні ознаки прокариот та одноклітинних еукаріотів. Біоіндикація з використанням бактерій/дріжджів має безліч переваг, основна з яких – це можливість проведення індикації відразу на трьох рівнях організації живої природи – клітини, організму та популяції. Окрім того, саме живі мікро-



Рис. 1. Визначення показників Lab у програмі Adobe Photoshop 2021

[illegible]

Рис. 2. Результати розрахунку  $dE$  (в ум. од.) в програмі CIEDE2000

організми-індикатори демонструють токсичність фізіологічно активних сполук, які безпосередньо можуть чинити негативний ефект на мікро-, макроорганізм (з урахуванням ефекту сумачії інших забруднень/токсинів), що унеможливлене при визначенні гранично допустимих концентрацій поллютантів.

Іони Купруму (II) у складі солей  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  за концентрацій 50-100  $\text{мг/дм}^3$  мали незначний токсичний вплив на ріст та пігментоутворення *Rh. glutinis*, але з підвищенням концентраційного рівня металу негативний ефект поступово збільшувався (див. табл. 1-4, рис. 3).

*Rh. glutinis* починала повністю втрачати пігмент на 3 добу за концентрацій  $\text{Cu}^{2+}$  350 та 300  $\text{мг/дм}^3$ , у складі солей Купрум (II) хлориду та сульфату, відповідно (dE при цьому складала 24,4 та 21,7 ум. од).

Вплив йонів  $\text{Cu}^{2+}$  (у складі хлориду) на синтез каротинoidів у дріжджів *Rh. glutinis* був помітний з концентрацій 200-300 мг/дм<sup>3</sup>, за яких протягом 9 діб спостерігався ріст дрібних молочних та великих слабо-рожевих колоній.

При концентрації 350 мг/дм<sup>3</sup> йонів Купруму (II) на 3 добу росли апігментні колонії (dE дорівнювала

Таблиця 1

### Вплив $\text{Cu}^{2+}$ на ріст та пігментоутворення *Rh. glutinis* УКМ-1333

| Соли Купруму (II)                    | Концентрація йонів<br>Cu <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> * | 3 доба |      | 6 доба |      | 9 доба |      |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------|------|--------|------|--------|------|
|                                      |                                                               | Р**    | П*** | Р      | П    | Р      | П    |
| Контроль                             |                                                               | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
| CuCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 50                                                            | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 100                                                           | +++    | +++  | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 200                                                           | ++     | -/+  | ++     | +/-  | ++     | +/-  |
|                                      | 300                                                           | +      | -/+  | +      | +/-  | +      | +/-  |
|                                      | 350                                                           | +      | -    | +      | +/-  | +      | +/-  |
|                                      | 400                                                           | -      | -    | +      | -    | +      | +/-  |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O | 50                                                            | ++++   | +++  | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 100                                                           | +++    | +++  | +++    | +++  | ++++   | ++++ |
|                                      | 200                                                           | +++    | +    | +++    | ++   | ++++   | +++  |
|                                      | 300                                                           | ++     | -    | ++     | -    | ++     | +    |
|                                      | 350                                                           | +      | -    | ++     | -    | ++     | -    |
|                                      | 400                                                           | -      | -    | -      | -    | -      | -    |
| Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>    | 50                                                            | ++     | +    | +++    | ++   | +++    | ++   |
|                                      | 100                                                           | ++     | -    | ++     | +/-  | ++     | +/-  |
|                                      | 200                                                           | +      | -    | +      | -    | ++     | +/-  |
|                                      | 300                                                           | -      | -    | -      | -    | -      | -    |

Примітка тут та далі: \*При вивченні солей Купруму (II) у всіх дослідженнях перерахунок здійснювали за катіоном.

Примітка: + - позитивний ефект, - - негативний ефект, +/- - незначущий ефект, \* - значущий ефект, \*\* - дуже значущий ефект, \*\*\* - дуже значущий ефект, \*\*\*\* - дуже значущий ефект, \*\*\*\*\* - дуже значущий ефект, + - позитивний ефект, - - негативний ефект, +/- - незначущий ефект, \* - значущий ефект, \*\* - дуже значущий ефект, \*\*\* - дуже значущий ефект, \*\*\*\* - дуже значущий ефект, \*\*\*\*\* - дуже значущий ефект.

Таблиця 2

Вплив  $\text{Cu}^{2+}$  на ріст та пігментоутворення *R. sphaerocarpum* УКМ-44

| Солі Купруму (II)                    | Концентрація йонів<br>Cu <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> | 3 доба |      | 6 доба |      | 9 доба |      |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------|------|--------|------|--------|------|
|                                      |                                                             | Р      | П    | Р      | П    | Р      | П    |
| Контроль                             |                                                             | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
| CuCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 50                                                          | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 100                                                         | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 200                                                         | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 300                                                         | +++    | +/-  | +++    | ++   | +++    | +++  |
|                                      | 350                                                         | ++     | +/-  | +++    | +    | +++    | ++   |
|                                      | 400                                                         | ++     | -    | ++     | +/-  | +++    | +/-  |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O | 50                                                          | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 100                                                         | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 200                                                         | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 300                                                         | +++    | +++  | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 350                                                         | +++    | ++   | +++    | ++   | ++++   | ++++ |
|                                      | 400                                                         | +      | +/-  | ++     | ++   | +++    | ++   |
| Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>    | 50                                                          | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ | ++++   | ++++ |
|                                      | 100                                                         | ++     | ++   | +++    | +++  | ++++   | +++  |
|                                      | 200                                                         | ++     | +/-  | ++     | +/-  | +++    | ++   |
|                                      | 300                                                         | +      | -    | ++     | -    | ++     | +/-  |

Таблиця 3

Оцінка інтенсивності кольору пігментів (3 доба культивування)  
на концентраційний ряд  $\text{Cu}^{2+}$  у *Rh. glutinis* УКМ-1333

| $\text{Cu}^{2+}$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup> | $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |    |    |          | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ |    |    |           | $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ |    |    |          |
|------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----------|-------------------------------------------|----|----|-----------|----------------------------|----|----|----------|
|                                          | L                                         | a  | b  | dE       | L                                         | a  | b  | dE        | L                          | a  | b  | dE       |
| Конт-роль                                | 64                                        | 23 | 29 |          | 66                                        | 22 | 29 |           | 66                         | 20 | 31 |          |
| 50                                       | 63                                        | 18 | 29 | 3,4±0,02 | 55                                        | 24 | 18 | 12,01±0,1 | 45                         | 15 | 25 | 20,0±0,8 |
| 100                                      | 59                                        | 19 | 33 | 6,0±0,04 | 53                                        | 22 | 37 | 12,2±0,04 | 39                         | 24 | 33 | 26,6±1,3 |
| 200                                      | 46                                        | 18 | 22 | 17,4±0,3 | 47                                        | 17 | 16 | 18,8±0,2  | 38                         | 22 | 33 | 27,7±1,0 |
| 300                                      | 46                                        | 20 | 35 | 17,6±0,9 | 44                                        | 16 | 17 | 21,7±1,2  | -                          | -  | -  | -        |
| 350                                      | 40                                        | 14 | 28 | 24,4±1,2 | 42                                        | 15 | 19 | 23,6±0,9  | -                          | -  | -  | -        |

Примітка тут та далі: L, a, b – показники каналів кольорової моделі CIE Lab; dE – різниця в інтенсивності кольору колоній дріжджів між контрольним зразком і дослідом, розрахована за допомогою комп'ютерної програми CIEDE 2000.

Таблиця 4

Оцінка інтенсивності кольору пігментів (3 доба культивування)  
на концентраційний ряд  $\text{Cu}^{2+}$  у *R. sphaerocarpum* УКМ-44

| $\text{Cu}^{2+}$ ,<br>мг/дм <sup>3</sup> | $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |    |    |          | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ |    |    |           | $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ |    |    |          |
|------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----------|-------------------------------------------|----|----|-----------|----------------------------|----|----|----------|
|                                          | L                                         | a  | b  | dE       | L                                         | a  | b  | dE        | L                          | a  | b  | dE       |
| Конт-роль                                | 41                                        | 29 | 33 |          | 42                                        | 28 | 33 |           | 42                         | 30 | 34 |          |
| 50                                       | 37                                        | 20 | 30 | 5,9±0,02 | 43                                        | 13 | 18 | 8,8±0,01  | 37                         | 15 | 18 | 9,7±0,05 |
| 100                                      | 35                                        | 19 | 31 | 7,6±0,03 | 43                                        | 13 | 18 | 8,8±0,09  | 46                         | 8  | 23 | 13,4±0,4 |
| 200                                      | 34                                        | 19 | 31 | 8,2±0,03 | 40                                        | 14 | 18 | 8,5±0,1   | 54                         | 10 | 25 | 16,5±0,8 |
| 300                                      | 54                                        | 17 | 28 | 14,3±0,4 | 49                                        | 13 | 21 | 10,6±0,04 | 56                         | 9  | 27 | 18,7±0,8 |
| 350                                      | 55                                        | 14 | 28 | 16,2±0,8 | 52                                        | 15 | 14 | 13,8±0,3  | -                          | -  | -  | -        |
| 400                                      | 55                                        | 12 | 31 | 17,5±0,4 | 54                                        | 17 | 12 | 16,0±0,4  | -                          | -  | -  | -        |

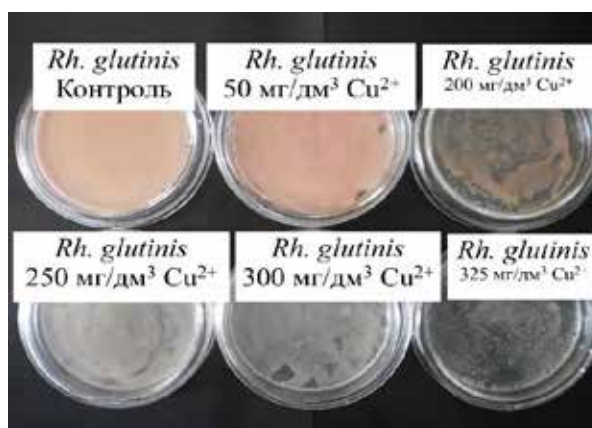
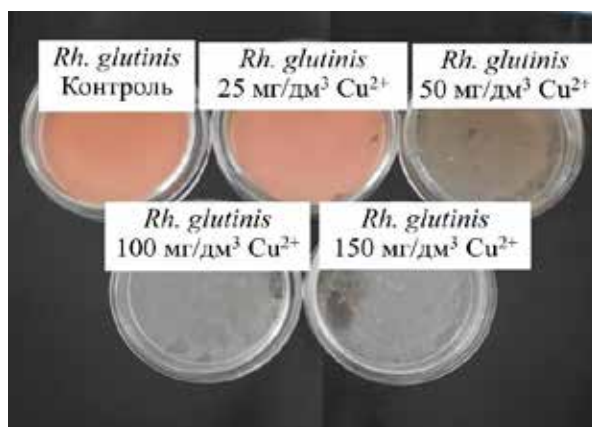
Сіль – CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>OСіль – CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>OСіль – Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

Рис. 3. Вплив йонів Купруму (II) у складі різних солей на ріст та інтенсивність каротиноутворення дріжджів *Rh. glutinis* УКМ-1333 та *R. sphaerocarpum* УКМ-44 (3 доба культивування)



24,4 ум. од.), а на 6 та 9 добу з'являлися також слабо пігментовані колонії.

Концентрація 400 мг/дм<sup>3</sup> Купруму (II) викликала на 6 добу слабкий ріст апігментних колоній, а на 9 добу колонії ставали слабо-рожевими. При концентрації йонів Купруму 450 мг/дм<sup>3</sup> росту *Rh. glutinis* не спостерігалось протягом 9 діб. В дослідях з іншими солями Купруму (II) тенденція до поновлення синтезу пігментів у дріжджів з часом була менш помітною.

Сіль Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> демонструвала високий рівень токсичності на ріст та синтез каротиноїдів навіть у низьких концентраціях (слабке пігментування за концентрації Cu<sup>2+</sup> 50 мг/дм<sup>3</sup>, dE = 20 ум. од.). Втрата пігменту відбувалася на 50 % нижче тих концентрацій йонів Купруму, за яких блокувався ріст дріжджових клітин. У дослідях з Купрум (II) сульфатом цей показник значно менший (15 %). Отримані результати дозволяють використовувати дріжджі *Rh. glutinis* у біоіндикації Купруму (II) нітрату в водних екосистемах, оскільки вони реагують поступово втратою пігментів на збільшення концентрації йонів Купруму в середовищі, що є важливою вимогою для індикаторних організмів.

Для дріжджів *R. sphaerocarpum* найменш токсичною для каротиноутворення виявилася сіль CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O. За концентрацій Купрум (II) 300 мг/дм<sup>3</sup> спостерігався добрий ріст та пігментування (dE = 10,6 ум. од.), а за концентрації Cu<sup>2+</sup> 400 мг/дм<sup>3</sup> були наявні пігментні та апігментні колонії, dE = 16 ум. од. Проте *R. sphaerocarpum* реагували олігодинамічною дією на збільшення концентраційного ряду металу, тому можуть бути рекомендовані для біоіндикації Купрум (II) сульфату у прісних водоймах.

Купрум (II) хлорид проявив більш токсичну дію на пігмент, за концентрації Cu<sup>2+</sup> 300 мг/дм<sup>3</sup> зустрічалися колонії з пігментом та без кольору, dE = 14,3 ум. од. Проте за концентрації Cu<sup>2+</sup> 600 мг/дм<sup>3</sup>

ріст повністю не пригнічувався і подекуди виявлялися апігментні колонії.

При спостереженні за ростом та каротиноутворенням дріжджів *R. sphaerocarpum* у динаміці (протягом 9 діб) також була відмічена тенденція до поновлення росту та здатності до синтезу пігментів. Найбільш токсичною була сіль Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. За концентрації Cu<sup>2+</sup> 100 мг/дм<sup>3</sup> у складі цієї солі був помірний ріст та пігментування дріжджів, dE = 13,4 ум. од. Повністю культура втрачала здатність до утворення каротиноїдів за концентрації Купруму (II) нітрату 300 мг/дм<sup>3</sup>, dE = 18,7 ум. од.

Отже, для біоіндикації Купруму (II) у складі Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> можуть бути рекомендовані культури каротиносинтезувальних дріжджів *Rh. glutinis* УКМ-1333 та *R. sphaerocarpum* УКМ-44, для біоіндикації Купрум (II) сульфату – *R. sphaerocarpum* УКМ-44. Купрум (II) хлорид не проявив олігодинамічної дії на каротиноутворення обох досліджуваних штамів дріжджів, тому не може бути рекомендованим для визначення у водних екосистемах цими мікроорганізмами. Проте перспективою подальших досліджень є вивчення менших концентраційних рядів Купруму (II) у складі хлориду (125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 мг/дм<sup>3</sup>) на каротиносинтезувальну здатність дріжджів *Rh. glutinis* УКМ-1333 та *R. sphaerocarpum* УКМ-44.

Визначення концентрації каротиноїдів у біомасі дріжджів за впливу солей Купруму (II). Для підтвердження ефективності використання шкали візуальної оцінки пігментування мікроорганізмів було проведено дослідження щодо спектрофотометричного визначення кількісного вмісту каротиноїдів у дріжджах *Rh. glutinis* УКМ-1333 та *R. sphaerocarpum* УКМ-44. При порівнянні візуальної оцінки кольору пігментів дріжджів (у %, див. табл. 5, 6) та концентрації каротиноїдів в клітинах було встановлено наявність сильного кореляційного зв'язку (r) = 0,8. Залежність ознак статистично значуща (p<0,05).

Таблиця 5

**Продуктивність каротинвмісних дріжджів *Rh. glutinis* УКМ-1333  
за впливу концентраційного ряду солей Купруму (II) (3 доба культивування)**

| Сіль                                 | Концентрація йонів Купруму (II), мг/дм <sup>3</sup> | Візуальна оцінка інтенсивності пігментування дріжджів, % | β-каротин, мкг/см <sup>3</sup> |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Контроль (без солей Купруму)         |                                                     | ++++ (100 %)                                             | 0,179±0,002                    |
| CuCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 50                                                  | ++++ (100 %)                                             | 0,166±0,0034                   |
|                                      | 100                                                 | ++++ (100 %)                                             | 0,124±0,0009                   |
|                                      | 200                                                 | +/- (50 %)                                               | 0,0087±0,0004                  |
|                                      | 300                                                 | +/- (50 %)                                               | 0,0062±0,0001                  |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O | 50                                                  | +++ (75 %)                                               | 0,099±0,0011                   |
|                                      | 100                                                 | +++ (75 %)                                               | 0,082±0,0013                   |
|                                      | 200                                                 | + (25 %)                                                 | 0,0038±0,0001                  |
|                                      | 300                                                 | – (0 %)                                                  | 0,0011±0,0000                  |
|                                      | 350                                                 | – (0 %)                                                  | 0,0011±0,0000                  |
| Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>    | 50                                                  | + (25 %)                                                 | 0,0029±0,0001                  |
|                                      | 100                                                 | – (0 %)                                                  | 0,0018±0,0000                  |
|                                      | 200                                                 | – (0 %)                                                  | 0,0022±0,0002                  |

Таблиця 6

**Продуктивність каротинвмісних дріжджів *R. sphaerocarpum* УКМ-44  
за впливу концентраційного ряду солей Купруму (II) (3 доба культивування)**

| Сіль                                 | Концентрація йонів Купруму (II), мг/дм <sup>3</sup> | Візуальна оцінка інтенсивності пігментоутворення дріжджів, % | β-каротин, мкг/см <sup>3</sup> |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Контроль (без солей Купруму)         |                                                     | ++++ (100 %)                                                 | 0,268±0,003                    |
| CuCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 50                                                  | ++++ (100 %)                                                 | 0,212±0,0047                   |
|                                      | 100                                                 | ++++ (100 %)                                                 | 0,200±0,0055                   |
|                                      | 200                                                 | ++++ (100 %)                                                 | 0,189±0,0061                   |
|                                      | 300                                                 | +/- (50 %)                                                   | 0,062±0,0002                   |
|                                      | 350                                                 | +/- (50 %)                                                   | 0,033±0,0001                   |
|                                      | 400                                                 | – (0 %)                                                      | 0,0014±0,0000                  |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O | 50                                                  | ++++ (100 %)                                                 | 0,199±0,0012                   |
|                                      | 100                                                 | ++++ (100 %)                                                 | 0,181±0,0023                   |
|                                      | 200                                                 | ++++ (100 %)                                                 | 0,177±0,0001                   |
|                                      | 300                                                 | +++ (75 %)                                                   | 0,051±0,0002                   |
|                                      | 350                                                 | ++ (50 %)                                                    | 0,0020±0,0000                  |
|                                      | 400                                                 | +/- (50%)                                                    | 0,0014±0,0001                  |
| Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>    | 50                                                  | ++++ (100 %)                                                 | 0,208±0,0019                   |
|                                      | 100                                                 | ++ (50 %)                                                    | 0,0018±0,0000                  |
|                                      | 200                                                 | +/- (50 %)                                                   | 0,0015±0,0001                  |
|                                      | 300                                                 | – (0 %)                                                      | 0,00063±0,0000                 |

Концентрація β-каротину в контрольних зразках (без впливу солей металів) була в 1,6 раза більшою у дріжджів *R. sphaerocarpum* УКМ-44 (0,268 мкг/см<sup>3</sup>) ніж у *Rh. glutinis* УКМ-1333 (0,179 мкг/см<sup>3</sup>). При візуальній оцінці ступеня пігментоутворення також було помічено, що *R. sphaerocarpum* мають більш насичений колір.

Так, мінімальні концентрації йонів Купруму (II) у складі солей CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, за яких *Rh. glutinis* починали повністю втрачати пігмент (з невеликою кількістю слабо пігментованих колоній), складали 200 та 300 мг/дм<sup>3</sup> (концентрація β-каротину була 0,0087 та 0,0062 мкг/см<sup>3</sup>, відповідно, що в 20,6 та 28,9 раза менше ніж в контролі).

Йони Купруму (II) у складі CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O починали пригнічувати пігментоутворення *Rh. glutinis* з концентрації 50 мг/дм<sup>3</sup> (+++), концентрація β-каротину в клітинах була майже у 2 рази менше ніж в контрольному зразку без Cu<sup>2+</sup>. Повністю синтез каротиноїдів блокувався за концентрації йонів Купруму 300 мг/дм<sup>3</sup> (концентрація β-каротину складала 0,0011 мкг/см<sup>3</sup>, що в 162,7 раза менше ніж в контролі). Найбільш токсичну дію на культуру *Rh. glutinis*, як було зазначено вище, спричинили йони Cu<sup>2+</sup> у складі нітрату. За концентрації 100 та 200 мг/дм<sup>3</sup> концентрація β-каротину складала 0,0018 мкг/см<sup>3</sup> та 0,0022 мкг/см<sup>3</sup>, відповідно (колонії були безбарвні). На 9 добу синтез пігментів подекуди поновлювався, проте за концентрації 300 мг/дм<sup>3</sup> йонів Купруму росту культури не було протягом всього періоду спостережень.

Йони Купруму (II) у складі CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O проявили помірно токсичну дію на дріжджі *R. sphaerocarpum*. За концентрації 300 мг/дм<sup>3</sup> Cu<sup>2+</sup> концентрація β-каро-

тину була лише в 4,3 раза менша за контроль. Проте за концентрації йонів Купруму 400 мг/дм<sup>3</sup> (повне припинення синтезу пігментів) β-каротину було в 191,4 раза менше ніж в контрольному зразку. Слід зазначити, що за концентрацій катіону 50-200 мг/дм<sup>3</sup> колір пігментів колоній *R. sphaerocarpum* не відрізнявся від контрольного зразка, проте результати вивчення вмісту каротиноїдів показали, що їх концентрація незначно зменшується. Купрум (II) сульфат проявив олігодинамічну дію на дріжджі *R. sphaerocarpum*. Помірне пігментоутворення спостерігалось за концентрації 300 мг/дм<sup>3</sup> Cu<sup>2+</sup> (+++), а пігментні колонії з'являлися при 400 мг/дм<sup>3</sup> катіону (концентрація β-каротину була в 36,4 раза меншою порівняно з помірно пігментованими колоніями культури). Сіль Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> проявила найбільш токсичну дію на *R. sphaerocarpum*, так само як і на *Rh. glutinis*. Культура повністю припиняла синтез каротиноїдів за концентрації Cu<sup>2+</sup> 300 мг/дм<sup>3</sup> (вміст β-каротину становив лише 0,00063 мкг/см<sup>3</sup>, що в 425,4 раза менше ніж в контролі).

**Головні висновки.** При концентраціях 50-100 мг/дм<sup>3</sup> солей CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O та CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O спостерігався незначний токсичний ефект на обидва види модельних культур дріжджів, тоді як Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> значно знижував пігментоутворення при цих концентраціях. *Rh. glutinis* були найбільш чутливими до Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, а *R. sphaerocarpum* – до CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, тому ці дріжджі можна використовувати для біоіндикації Купрум (II) нітрату та сульфату, відповідно. Встановлено сильний кореляційний зв'язок між візуальною оцінкою кольору пігментів та концентрацією каротиноїдів, що підтверджує ефективність візуальної шкали для біоіндикації.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Перспективою подальших досліджень є вивчення впливу інших солей важких металів на синтез пігментів дріжджами, що

належать до різних таксономічних груп з метою використання у біоіндикації, а також порівняння отриманих результатів з попередніми дослідженнями.

### Література

1. Луцька М. П. Екологічні наслідки військового вторгнення в Україну. *Theoretical foundations of scientists and modern opinions regarding the implementation of modern trends* : Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference (San Francisco, June 27–30, 2023). San Francisco, 2023. С. 54–58. DOI: 10.46299/ISG.2023.1.25
2. Яковишина Т. Ф. Використання мікроорганізмів, як біоіндикаторів забруднення важкими металами, в системі екологічного моніторингу ґрунтів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Агрономія і біологія*. 2012. Вип. 2. С. 197–201. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna\\_agro\\_2012\\_2\\_44](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2012_2_44)
3. Мікробіологія і хімія води : конспект лекцій з дисципліни для студентів 1-2 курсів денної і заочної форм навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація (освітня програма) «Гідротехніка» (Водні ресурси) / І. М. Чуб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 122 с.
4. Крупей К. С. Біоіндикація та біометрія : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра напряму підготовки «Екологія, охорона навколишнього природного середовища та збалансоване природокористування» (затверджено вченою радою ЗНУ від 26 квітня 2016 р., протокол № 10). Запоріжжя : ЗНУ, 2016. 80 с.
5. Щербина О. М. Ідентифікація і визначення Купруму в рослинній сировині. *Вісник ЛДУ БЖД*. 2018. № 17. С. 58–62.
6. Лозовая О. Г., Касаткина Т. П., Подгорский В. С. Поиск биосорбентов тяжелых металлов среди дрожжей различных таксономических групп. *Микробиологический журнал*. 2004. Т. 66, № 2. С. 92–101.
7. Крупей К. С. Біоіндикація забруднення води пігментосинтезувальними дріжджами: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16 / Чернівецький нац. ун-т ім. Юрія Федьковича. Чернівці, 2017. 158 с.
8. Bahafid W., Joutey N. T., Asri M., Sayel H., Tirry N., Ghachtouli N. E. Yeast Biomass: An Alternative for Bioremediation of Heavy Metals [Internet]. *Yeast – Industrial Applications*. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.70559>
9. Паніотова Г. П., Антоненко П. Б., Годован В. В., Сейфулліна І. Й., Чебаненко О. А., Лобашова К. Г. Визначення гострої токсичності нових гетерометалічних сполук – тартратогерманатів купруму та цинку. *Запорізький медичний журнал*. 2017. Т. 19, № 6(105). С. 813–818. DOI: 10.14739/2310-1210.2017.6.115271
10. Спосіб визначення інтенсивності пігментоутворення у бактерій: пат. на корисну модель 49812 Україна. № u200912311; заявл. 30.11.2009; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9, 2010 р., 12 с.
11. Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К. : Фітосоціоцентр, 2001. 245 с.
12. Голованова І. А., Белікова І. В., Ляхова Н. О. Основи медичної статистики : навчальний посібник для аспірантів та клінічних ординаторів. Полтава : ВДНЗУ «УМСА», 2017. 113 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://elib.umsa.edu.ua/bitstream/umsa/10614/1/Posibnik\\_Statistika\\_17.pdf](http://elib.umsa.edu.ua/bitstream/umsa/10614/1/Posibnik_Statistika_17.pdf)



## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ ОЗЕР ЯЛПУГ–КУГУРЛУЙ В УМОВАХ ЗРОСТАЮЧОГО АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Моторна Т.В.

Одеський національний університет імені І.І. Мечнікова  
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, м. Одеса  
[motornaya.t@gmail.com](mailto:motornaya.t@gmail.com)

Робота присвячена дослідженню Придунайських озер Ялпуг і Кугурлуй з метою комплексної оцінки їх екологічного стану, та аналізу динаміки змін, що відбуваються у часі. Моніторинг змін гідролого-гідрохімічного режиму та стану біоти озер, після їхнього обвалування, є важливим, оскільки впливає на ефективність використання водних та рибних ресурсів озер–водосховищ в умовах погіршення їх загальноєкологічного стану та природної рівноваги екосистеми.

Вперше, за останні дев'ять років, досліджено основні гідрохімічні показники вод оз. Ялпуг і Кугурлуй, надано оцінку стану природної кормової бази, складу іхтіофауни. Проведено аналіз динаміки змін основних абіотичних та біотичних складових екосистеми озер за результатами багаторічних досліджень.

Показано, що рівень забруднення оз. Ялпуг вище, ніж оз. Кугурлуй, про що свідчить зростання коефіцієнта забруднення (КЗ). В озерах спостерігається зростання мінералізації вод, та накопичення органічних речовин у воді і донних відкладеннях, що пов'язано з погіршенням водообміну між озерами і Дунаєм.

Негативні зміни гідрохімічного режиму, зростання вмісту біогенних елементів та органічне забруднення, сприяють евтрофікації водойм, провокують бурхливий розвиток мікрододристок.

Значних змін зазнала іхтіофауна. У 2020–2023 рр. іхтіоценоз озерної системи Ялпуг–Кугурлуй включав 20–22 види аборигенних риб і сім видів риб–вселенців. Таким чином, за останні 65 років, в результаті глобальних антропогенних перетворень іхтіофауна озер Ялпуг–Кугурлуй втратила понад 26–28 аборигенних видів риб, в тому числі золотого карася та деяких інших червонокнижних видів, які раніше зустрічалися в озерах.

Разом з тим гідролого-гідрохімічний режим озерного комплексу Ялпуг–Кугурлуй і сьогодні залишається більш сприятливим ніж у більшості придунайських озер, а стан кормової бази забезпечує їх високу рибопродуктивність при пасовищному рибництві.

Результати дослідження вказують на важливість збалансованого підходу до використання та охорони природних ресурсів Придунайських озер з урахуванням їх взаємозв'язку з оточуючим середовищем та забезпеченням збалансованого використання для збереження високої продуктивності та біологічного різноманіття екосистеми. *Ключові слова:* Придунайські озера, Ялпуг, Кугурлуй, екологічний стан, гідрохімія, кормова база, іхтіофауна.

### **Current state and functioning of the aquatic ecosystem of Yalpug-Kugurlui lakes in conditions of increasing anthropogenic load. Motornaya T.**

The work is devoted to the study of the Danube lakes Yalpug and Kugurlui with the aim of a comprehensive assessment of their ecological state and the analysis of the dynamics of changes occurring over time. Monitoring changes in the hydrological and hydrochemical regime and the state of the biota of the lakes after their embankment is important, as it affects the efficiency of using water and fish resources of lakes and reservoirs in conditions of deterioration of their general ecological state and the natural balance of the ecosystem.

For the first time in the last nine years, the main hydrochemical indicators of the waters of Lake Yalpug and Kugurlui were studied, an assessment of the state of the natural food base and the composition of the ichthyofauna was provided. An analysis of the dynamics of changes in the main abiotic and biotic components of the lake ecosystem was carried out based on the results of many years of research.

It is shown that the level of pollution of Lake Yalpug is higher than that of Lake Kugurlui, as evidenced by the increase in the pollution coefficient (PC). The lakes are experiencing an increase in water mineralization and the accumulation of organic matter in water and bottom sediments, which is associated with the deterioration of water exchange between the lakes and the Danube.

Negative changes in the hydrochemical regime, an increase in the content of biogenic elements and organic pollution contribute to the eutrophication of water bodies, provoke the rapid development of microalgae.

The ichthyofauna has undergone significant changes. In 2020–2023, the ichthyocenosis of the Yalpug–Kugurlui lake system included 20–22 species of native fish and seven species of invasive fish. Thus, over the past 65 years, as a result of global anthropogenic transformations, the ichthyofauna of the Yalpug–Kugurlui lakes has lost more than 26–28 native fish species, including golden crucian carp and some other Red Book species that were previously found in the lakes.

At the same time, the hydrological and hydrochemical regime of the Yalpug–Kugurlui lake complex remains more favorable today than in most Danube lakes, and the state of the food base ensures their high fish productivity in pasture fish farming.

The results of the study indicate the importance of a balanced approach to the use and protection of the natural resources of the Danube lakes, taking into account their relationship with the environment and ensuring balanced use to preserve high productivity and biological diversity of the ecosystem. *Key words:* Danube lakes, Yalpug, Kugurlui, ecological state, hydrochemistry, food base, ichthyofauna.

**Постановка проблеми** Придунайські озера, важливий компонент екосистеми Української дельти Дунаю. Екологічний стан і природні ресурси цих унікальних комплексів значною мірою визначають розвиток в регіоні зрошувального землеробства, рибного господарства, рекреації та ін.

Ще на початку минулого століття озера, в період повені, через заплаву, вільно сполучалися з Дунаєм. Після її обвалування в 1960–1970 рр., водообмін з рікою забезпечують штучні канали. Це привело до порушення природного водообміну, накопичення токсичних та органічних речовин, деградації природних нерестовищ туводної іхтіофауни, зміни загального стану та продукційних характеристик водойм [1].

Озерна система Ялпуг–Кугурлуй має великий потенціал для господарської діяльності, і значний кормовий ресурс, який і сьогодні забезпечує високу рибопродуктивність цього комплексу [2]. На базі озер створено Спеціальне товарне рибне господарство (СТРГ), метою якого є підвищення їх рибопродуктивності, за рахунок спрямованого формування іхтіоценозів, та раціонального використання запасів аборигенної іхтіофауни. Це сприяло формуванню специфічного ценозу аборигенних видів риб і вселенців, які зайняли домінуюче положення. Завдяки відносно стабільному, інтенсивному водообміну з рікою, аборигенні види продовжують займати помітне місце у складі іхтіоценозів [3]. Наявна тенденція до погіршення гідрологічного та гідрохімічного режимів та зростаюча евтрофікація озер, вимагають заходів спрямованих на поліпшення їх екологічного стану.

**Актуальність дослідження.** Зарегулювання р. Дунай в його середній течії, та обвалування заплави придунайських озер, порушили просторово-часові характеристики водообміну між рікою і озерами у період повені. Це стало причиною зростання загальної мінералізації та евтрофікації вод озер. В результаті зростання об'ємів використання води на господарчі потреби різко підвищилися показники забруднення водного середовища. Озера перетворюються на водосховища – накопичувачі побутових і промислових стоків, забруднених токсикантами та отрутохімікатами вод, які поступають з суміжних територій. Інша проблема – зростання мінералізації вод та накопичення органіки, як слідство поганого водообміну.

У весняно-літній період 1988, 1995, 1996, 1998, 1999 та 2000 рр. в озерах Ялпуг і Кугурлуй спостерігалась масова загибель риби (в основному товстолобика). Передбачалось, що можливі причини цього явища – кумулятивний токсикоз викликаний зростанням забруднення та евтрофікацією водойм, особливості фізіологічного стану риб, надмірний розвиток ціанобактерій та ін. [4]. Вплив цих факторів на статевозрілу частину популяції товстолобика досі остаточно не з'ясовано, але встановлено, що забруднення води (особливо токсичне та органічне) викликає негативні зміни у структурі ценозів гідробіонтів.

Сьогодні, в умовах зростаючих негативних антропогенних змін, придунайські озера потребують поглибленого вивчення, метою якого є стабілізація та відновлення їх структурно-функціональних характеристик та визначення практичних заходів з метою відновлення і підтримання екосистемної стійкості водойм.

**Мета роботи** полягала в дослідженні особливостей формування і функціонування водної екосистеми озерної системи Ялпуг–Кугурлуй в умовах зростаючого антропогенного навантаження.

**Стан дослідженості питання.** В 1990–2000 рр. комплексні дослідження гідролого-гідрохімічного режиму та гідробіологічної складової екосистеми придунайських озер проводились співробітниками Інституту гідробіології НАН України та Одеського державного екологічного університету (ОДЕКУ) [5, 6, 7].

У 2000–2001 рр., роботи були продовжені в рамках міжнародного проекту TACIS «Придунайські озера: стійке збереження та відновлення природного стану екосистем» фахівцями Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова (ОНУ), Українського наукового центру екології моря (УНЦЕМ) та Одеської філії інституту біології південних морів ОФ ІнБПМ, а в 2006–2012 рр. співробітниками кафедри гідробіології та загальної екології ОНУ в рамках кафедральної теми. Результати цих багаторічних досліджень представлені в багатьох наукових публікаціях [2, 8, 9, 10, 11].

Зміни, які відбуваються в озерних екосистемах, носять динамічний характер з вираженою тенденцією погіршення їх екологічного стану. Обмежений, регульований водообмін з Дунаєм, сприяє накопиченню в ложі озер донних відкладень, зростанню мінералізації вод, накопиченню органічних сполук. Як слідство негативних змін зменшується видове різноманіття гідробіонтів та їх продукційні характеристики [2, 8, 12].

Біота озер Ялпуг і Кугурлуй знаходиться під значним антропогенним впливом, але і сьогодні зберігає найбільше біологічне різноманіття і продуктивні характеристики серед інших придунайських озер. Кумулятивний ефект накопичення негативних тенденцій вимагає постійного моніторингу основних екологічних складових озерної системи Ялпуг–Кугурлуй.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття.** Останні дослідження оз. Ялпуг і Кугурлуй відносяться до 2016 р. Вони показали наявність негативної динаміки змін в екосистемі водойм в результаті порушення природного водообміну. В останні роки масштабні дослідження озер Ялпуг і Кугурлуй не проводились, що не дозволяє оцінити сучасний стан екосистеми. Тому, важливою є оцінка сучасного стану основних компонентів екосистеми озер, та аналіз динаміки змін, які відбуваються.

Це дозволить оцінити сучасний стан всіх компонентів екосистеми озер, реальні і потенціальні нега-

тивні тенденції та визначити можливі шляхи стабілізації та покращення екологічного стану водойми.

**Наукова новизна.** Вперше, за останні роки, проведено дослідження основних гідрохімічних показників вод оз. Ялпуг і Кугурлуй, Дана оцінка стану природної кормової бази, складу іхтіофауни. Проведено аналіз динаміки змін основних абіотичних та біотичних складових екосистеми озер за результатами багаторічних досліджень.

**Матеріал і методи досліджень.** Аналіз динаміки змін гідрохімічних параметрів вод оз. Ялпуг і Кугурлуй проводився з використанням багаторічних даних за попередній період [2, 5, 6, 7, 10] та результатів власних досліджень 2019–2023 рр., які проводились на базі РАМК «Новонікрасівське» та ООО «Рапида»

Експрес-аналіз гідрохімічних параметрів середовища проводили за допомогою приладів: «ЕКОТЕСТ–2000 Т» ( $O_2$ ;  $NO_2$ ;  $NO_3$ ;  $NH_4$ ;  $CO_2$ ; фосфати, рН), термооксиметр «Ажа-101М» ( $T^\circ C$ ;  $O_2$ ); «РН метра-150 М».

Мінералізацію, прозорість води, БПК<sub>5</sub>, біхроматну та перманганатну окислюваність визначали за стандартними методиками [13, 14]. Усього було зібрано та проаналізовано 138 проб.

Розрахунок індексу забрудненості води (ІЗВ) розраховується за шістьма показниками (концентрації нітрогену амонійного, сульфат – іони, нітратів, нітритів, БСК<sub>5</sub>, біологічне споживання кисню та фосфатів) [15], згідно з формулою:

$$ІЗВ = (1/6) \sum (C_i / ГДК_i),$$

де  $C_i$  – середнє арифметичне значення показника якості води;

ГДК – гранично допустима концентрація.

Проби фіто-, зоопланктону та зообентосу відбирали за загальноприйнятими методами і фіксували 40% формальдегідом. Камеральну обробку проводили на базі лабораторії водних біоресурсів та аквакультури Одеського національного університету ім. І.І. Мечнікова за загальноприйнятою методикою. Біомасу мікродоростей визначали об'ємним методом. Чисельність та біомасу організмів зоопланктону та зообентосу за загально прийнятою методикою [15, 16].

Матеріал для іхтіологічних досліджень відбирали методом репрезентативних середніх проб з промислових знарядь лову (сітки, ятері, неводи). Видовий склад іхтіофауни визначали на свіжому матеріалі за допомогою відповідних визначників [17].

Статистична обробка результатів дослідження здійснювалася з використанням прикладних програм пакету Microsoft Excel.

**Результати власних досліджень.** Придунайські озера Ялпуг і Кугурлуй утворюють єдину озерну природну екосистему, найбільшу в Україні. Оз. Ялпуг більше за площею ніж оз. Кугурлуй (8,2 і 14,9 тис. га відповідно) і глибоководніше. Після обвалування

заплав водообмін з Дунаєм забезпечують штучні канали та протоки. Основна складова прибуткової частини водного балансу – дунайська вода (54–55%), стоку малих річок та атмосферних опадів. Витратна частина формується зі скидів води в р. Дунай (27%), випаровування, зрошення та ін. (73%) [1].

До обвалування заплави придунайські озера в період повені вільно сполучалися з Дунаєм. Вода, якою вони наповнювались проходила через потужний природний біофільтр, яких уявляли зарості очерету, рогузу та іншої рослинності. Така природна «очисна споруда» затримувала мул та зважі, надлишки біогенних та органічних речовин. Після спорудження захисних дамб у 1960–1970-х рр., дунайська вода, у період повені та паводків, безпосередньо надходить в озера по системі каналів та проток. Вона несе з собою весь набір забруднюючих, біогенних, органічних та зважених речовин, великі об'єми мулу. Така форма зв'язку озер с Дунаєм є екологічно несприятливою і негативно впливає на їх стан, формування біоти, та умови її існування.

Заповнення озера Кугурлуй дунайською водою забезпечують шлюзовані канали Скунда, 105-й км і Репида та декілька невеликих проток. Канали працюють навесні, в період наповнення озера, і восени для скиду води в Дунай. Канали самопливні, тому водообмін залежить від різниці рівнів в Дунаї і озера. В останні десятиліття в результаті кліматичних змін і зарегулювання басейну Дунаю характер водопілля суттєво змінився, тому підйом вод в період повені не завжди забезпечує заповнення озер до нормативного рівня [1, 2, 7].

Крізь протоку у південній частині оз. Кугурлуй дунайська вода поступає в оз. Ялпуг. Прибуткова складова водного балансу якого формується за рахунок надходження дунайської води через протоку з оз. Кугурлуй та стоку малих річок Ялпуг та Карасулак.

Якість води в придунайських озерах, залежить від якості вод р. Дунай та малих річок, що в них впадають. Річкові води забруднені органічними сполуками, біогенними речовинами (сполуками азоту та фосфору), пестицидами, важкими металами та ін. токсикантами кумулятивної та мутагенної дії. Так річки Ялпуг і Карасулак (протікаючи по території Молдови) приносять в озеро велику кількість отрутохімікатів, добрив та господарчо-побутових стоків богатих органікою, про що свідчать високі показники БСК<sub>20</sub> (від 9,8 до 14,5 мг·дм<sup>-3</sup>) та ХСК (від 76,8 до 82,5 мг·дм<sup>-3</sup>).

Найкращу якість води серед придунайських озер мають Кагул та Кугурлуй – найгіршу Китай та Котлабух. За більшістю гідрохімічних параметрів вода озер перевищує гранично-припустимі концентрацій (ГПК). Для оз. Котлабух це 14, а для оз. Китай – 12 з 19 показників. В оз. Каргал і Кугурлуй перевищення ГПК зафіксовано лише для 4 із 19 показників, а для озера Ялпуг – за 6 показниками.

У воді всіх озер зафіксовано перевищення ГПК за сульфатами, рН (для рибогосподарських водойм) та

БПК<sub>5</sub>, що свідчить про високий вміст легкоокислюваної органічної речовини. Максимальні концентрації органічної речовини в донних відкладах зареєстровано в оз. Картал та Китай (47,5–49,3 і 40,8–45,5 г•кг<sup>-1</sup> відповідно). В оз. Ялпуг цей показник не перевищував 28,5, а в оз. Кугурлуй – 29,8 г•кг<sup>-1</sup>.

У відповідності до іонного складу вод всі придунайські озера можна умовно поділити на дві групи. У воді Ялпуга, Китаю та Котлабуха переважають сульфати, а у водах Кугурлуя та Кагула – гідрокарбонати [10].

Для оцінки рівня забрудненості вод озер Ялпуг і Кугурлуй, Дунаю та малих річок Ялпуг і Карасулак були розраховані значення коефіцієнту забруднення КЗ (рис. 1).

Отримані результати свідчать, що рівень забруднення оз. Ялпуг вище, ніж оз. Кугурлуй. В останні роки спостерігається деяке зростання цього показника, що може бути пов'язано з погіршенням водообміну між озерами і Дунаєм

Показники якості Дунайських вод поліпшились, але ступені забрудненості малих річок Ялпуг і Карасулак залишається на високому рівні, що відбилося на якості вод озерної системи (рис. 2).

На величину КЗ значно впливає забруднення вод органічними речовинами, яке спостерігається в озерах, р. Дунай, та малих річках Ялпуг і Карасулак. В період досліджень спостерігались високі показники органічного забруднення води.

Показник БСК<sub>20</sub> був мінімальним – 6,5–8,2 мг•дм<sup>-3</sup> дунайській воді і максимальним – в 16,5–18,4 мг•дм<sup>-3</sup> в водах річки Карасулак.

Середні багаторічні показники вмісту неорганічних сполук азоту у дунайській воді складали 1,55 мг•дм<sup>-3</sup>, фосфору – 0,08 мг•дм<sup>-3</sup>, враховуючи, що нижня межа евтрофікації починається при концентрації азоту у воді 0,2–0,3 мг•дм<sup>-3</sup>, а фосфору –

0,01–0,02 мг•дм<sup>-3</sup>, з дунайською водою вже під час заповнення озер, в них потрапляють значні об'єми біогенних речовин, що сприяє початку їх евтрофікації. В подальшому ситуацію посилює надходження багатих біогенами та органікою вод з малих річок та інших джерел.

До обвалування заплави озера Кугурлуй та регулювання течії Дунаю, інтенсивний водообмін в період повені, забезпечував інтенсивний водообмін та низьку мінералізацію вод. В середньому, в цей період, вона коливалась в межах 218–294 мг•дм<sup>-3</sup>. Відсутність дамби, яка розголюжувала озера сприяла інтенсивному надходженню дунайської води в оз. Ялпуг, а значний приплив малозабруднених в той час вод малих річок забезпечував низьку мінералізацію (в межах 355,1–652,1 мг•дм<sup>-3</sup>) вод оз. Ялпуг (рис. 3, 4).

Після регулювання заплави озер спостерігається прогресуюче зростання мінералізації вод озер. Менше воно виражено в оз. Кугурлуй, яке безпосереднє з'єднано багатьма каналами і протоками з Дунаєм і значно сильніше в оз. Ялпуг (рис. 3, 4). Це пояснюється будівництвом дамби з мостом і дорогою, яка значно зменшила водообмін між озерами, погіршенням якості вод малих річок Ялпуг і Карасулак (рис. 2) і зменшенням об'ємів атмосферних опадів.

Як свідчать отримані данні мінералізації вод озерної системи Ялпуг–Кугурлуй в останні роки дещо зросла, але і сьогодні знаходиться на відносно низькому рівні.

Зростання мінералізації, які спостерігаються в окремі роки (особливо у верхів'ях оз. Ялпуг) пов'язані зі зменшенням стоку Дунаю, відсутністю вираженої повені, та забрудненням материкових стоків, які потрапляють в озера.

Вода озер має лужний характер. При цьому мінімальні значення змінюються від 7,8 до 8,3 до макси-

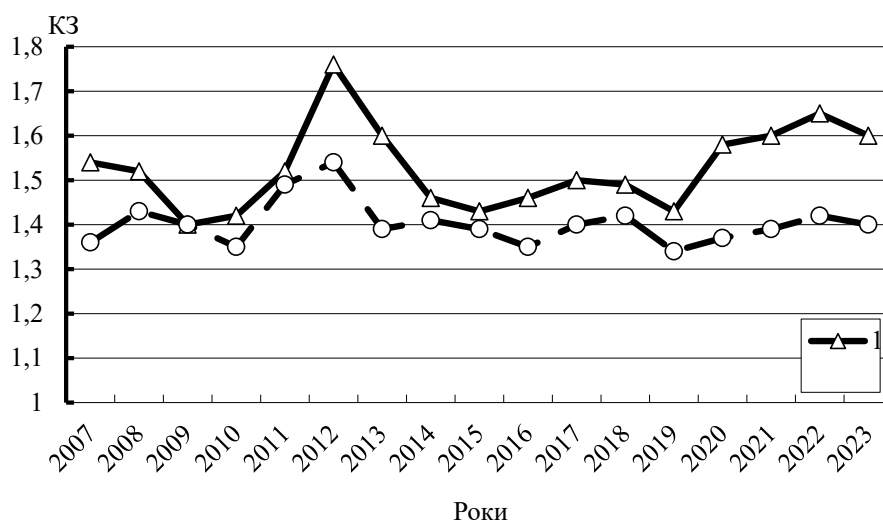


Рис. 1. Значення коефіцієнту КЗ для оз. Ялпуг (1) і Кугурлуй (2) За даними гідрометслужби

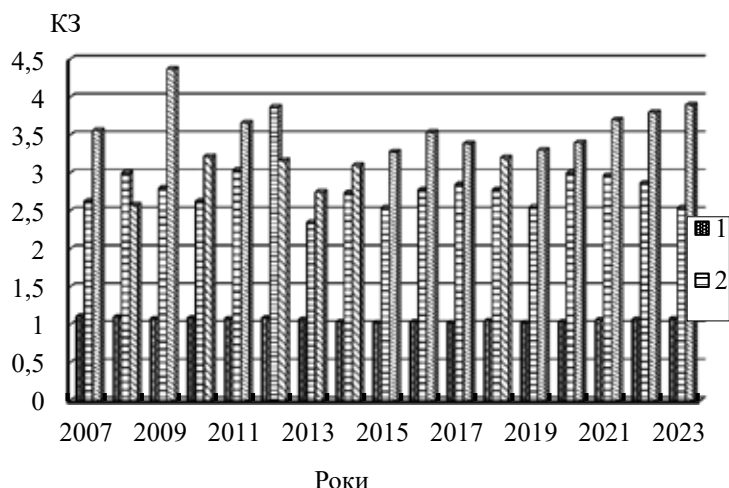


Рис. 2. Значення коефіцієнту  $K_3$  для річок: Дунай (1), Ялпуг (2), Карасулак (3) За даними гідрометслужби з 2007 по 2018 рр., власні данні – 2019–2023 рр.

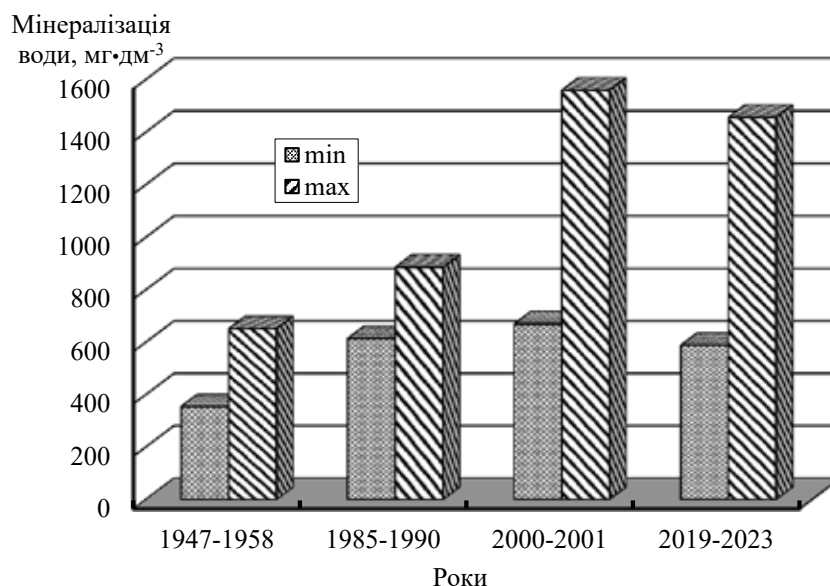


Рис. 3. Мінералізація води в оз. Ялпуг (1947–1990 рр. данні Одеського державного екологічного університету, 2000–2001 рр. [10], 2019–2023 рр. – власні дані)

мальних – 8,5–8,8. Середні значення рН тримаються в межах – 8,2–8,5, що не вписується в існуючі рибоводні нормативи.

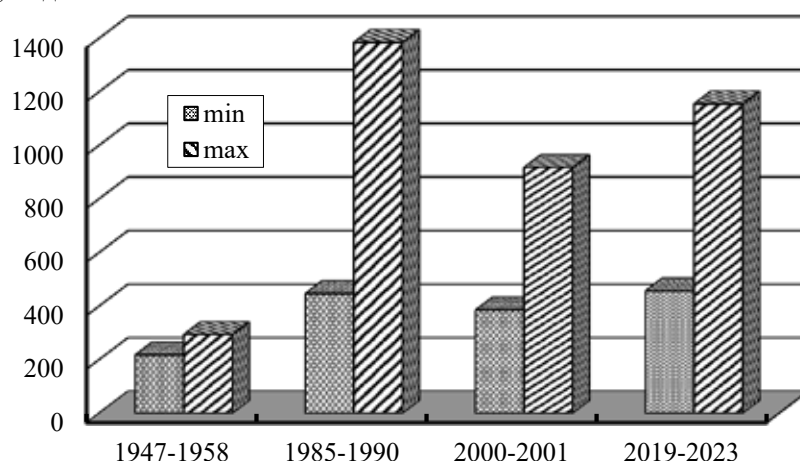
Концентрація основних біогенних елементів свідчать про відносну стабільність цих показників, хоча в останні роки і спостерігається деяке зростання вмісту нітратів, фосфатів та органічних речовин в водах озер (табл. 2).

За більшістю визначених показників вода озерної системи Ялпуг–Кугурлуй відповідає критеріям якості встановленим для рибогосподарських водойм.

Разом з тим вміст органічних речовин в воді озер постійно зростає, що пов'язано з поганим водооб-

міном, який сприяє накопиченню органічних речовин в воді і донних відкладеннях, про що свідчать величини біхроматної окиснюваності (ХСК), які характеризують наявність у воді як легкоокиснюваних органічних речовин, та біологічного споживання кисню БСК<sub>5</sub>. Наведені дані показують, що водна товща озер багата на розчинні органічні речовини і концентрація їх має сталу тенденцію до зростання.

Вища водна рослинність озер Ялпуг-Кугурлуй сьогодні представлена 58 видами водоростей (серед них 29 видів вищих рослин). Домінуюча група водоростей-індикаторів – 3-мезосапробна, що

Мінералізація  
води, мг.дм<sup>-3</sup>

Роки

Рис. 4. Мінералізація води в озері Кугурлуй (1947–1990 рр. данні Одеського державного екологічного університету, 2000–2001 рр. [10], 2019–2023 рр. – власні данні)

Таблиця 1

Вміст основних біогенних та органічних речовин в воді озер Ялпуг і Кугурлуй (мг О·дм<sup>3</sup>)

| Водойми    | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> розчин | БПК <sub>5</sub>        | ХСК                         |
|------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Ялпуг 1    | <u>0,000–0,720</u><br>0,336  | <u>сліди–0,990</u><br>0,185  | <u>0,015–0,170</u><br>0,052          | –                       | <u>7,90–42,60</u><br>17,2   |
| 2          | 0,02–0,37                    | 0,007–1,0                    | 0,005–0,110                          | 0,56–7,80               | 0,26–6,50                   |
| 3          | <u>0,008–0,842</u><br>0,455  | <u>0,005–1,112</u><br>0,385  | <u>0,009–0,255</u><br>0,095          | <u>1,29–9,71</u><br>6,8 | <u>9,95–47,45</u><br>25,4   |
| Кугурлуй 1 | <u>0,208–0,521</u><br>0,338  | <u>0,030–0,615</u><br>0,203  | <u>0,025–0,105</u><br>0,047          | –                       | <u>13,40–38,30</u><br>21,20 |
| 2          | 0,06–0,36                    | 0,003–0,70                   | 0,015–0,056                          | –                       | –                           |
| 3          | <u>0,008–0,521</u><br>0,338  | <u>0,030–0,615</u><br>0,203  | <u>0,025–0,105</u><br>0,047          | <u>1,02–10,3</u><br>5,7 | <u>15,54–40,43</u><br>23,15 |

1. Щербак и др. 2. Мединец 3. Власні данні

свідчить про середній рівень забрудненості даних водойм. Найбільш поширені прикріплена та плаваюча водна рослинність представлена Очеретом звичайним (*Phragmites australis*), рогозом гостролистним (*Typha angustifolia*), очеретом озерним (*Schoenoplectus lacustris*) та ін.

Під зарості вищої водної рослинності в озері Ялпуг сьогодні зайнято 18–25% площі, а в озері Кугурлуй 34–41%.

Біомаса очерету, коливається в межах 2,1–7,8 кг·м<sup>-2</sup> в залежності від щільності зростання. Середня, розрахункова біомаса очерету озер складає 3,1 кг·м<sup>-2</sup>.

В озерах розвинута занурювана водна рослинність представлена урутю колосистою – *Myriophyllum spicatum*, роголистником – *Ceratophyllum*., рдестом – *Potamogeton* sp., валіснерією спіральною – *Vallisneria spiralis* та ін. рослинами. Поширені також зелені та нитчасті водорості (*Spirogyra*, *Ulothrix*, *Cladophora*, та ін.). В середньому, сира маса макрофітів у вегетаційний період складає 8,76 кг·м<sup>-2</sup>.

Отримані показники близькі до таких, отриманих у попередній період [6, Ковтун].

Видовий склад, просторовий розподіл, кількісні і якісні характеристики макрофітів в озерах постійно

змінюються в якості водного середовища, мінералізації, рівневого режиму.

В озерах Ялпуг і Кугурлуй в 2021–2023 рр. було знайдено 108 видів і внутрішньовидових таксонів мікроводоростей. Найбільш широко були представлені Bacillariophyta (32%), Cyanophyta (41%) і Chlorophyta (25%). Чисельність і біомаса фітопланктону в оз. Ялпуг була вище, ніж в оз. Кугурлуй. Біомаса фітопланктону в озерах зростала від весни до літа досягаючи максимуму (Ялпуг – 25,13, Кугурлуй – 16,57 г·дм<sup>-3</sup>) в травні – червні.

Оз. Ялпуг і Кугурлуй мали схожий за таксономічний склад зоопланктон (коефіцієнт видової схожості 87%), але в оз. Ялпуг він більш різноманітний. В 2020–2023 рр. в зоопланктоні озер було встановлено 98 таксонів різного рангу. Серед коловертків переважали *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta* sp., *Polyarthra vulgaris*, *R. attulus* sp., *Euchlanis dilatata*, *Brachionus angularis*, *B. forficula*), серед гіллястовусих – *Diaphanosoma brachyurum*, *Moina* sp., *Bosmina longirostris*, *Daphnia longispina*, понто-каспійські релікти були представлені *Heteroscore caspia*, *Calanipeda aquae-dulcis* та ін. видами. До його складу зоопланктона входили прісноводні і солонуватоводні форми, але переважав озерний зоопланктон. В зоопланктоні зустрічалися також представники мікробентоса Nematoda, Ostracoda, личинки Mollusca, Decapoda, Insecta.

Найбільш численними були коловертки (67 таксонів). За біомасою переважали веслоногі (Copepoda) та гіллястовусі (Cladocera) ракоподібні. У літній період численними були копеподітні форми планктонних ракоподібних.

Біомаса зоопланктону змінювалась за сезонами від 0,832 до 5,341 г·дм<sup>-3</sup>. Середньорічна біомаса за період з 2021 по 2023 рр. складала 1,875 г·дм<sup>-3</sup>.

В 2021–2023 рр. до складу макрзообентоса в озерах Ялпуг і Кугурлуй входило 121 вид організмів. Найбільш поширеними були олігохети, личинки хірономід, червоногі і двустулкові молюски, амфиподи, мізиди, кумові раки, личинки комах та ін.

За чисельністю домінували олігохети та ракоподібні, за біомасою – молюски (90–92%) та личинки хірономід. Середня численність і біомаса макрзообентосу оз. Ялпуг складала 132,5, а оз. Кугурлуй – 119,7 г·м<sup>-2</sup>, при чисельності від 1132 до 1453 екз.·м<sup>-2</sup>, що було зіставно з характеристиками отриманими у попередні роки, була вище в оз. Ялпуг [2].

За весь період досліджень з початку 1960-х до 2003 рр. в придунайських озерах зустрічалося 63 види риб [3, 12, 18].

Іхтіофауна озер Ялпуг–Кугурлуй до обвалування заплави була представлена 48 видами риб. Зустрічались осетрові – *Acipenser ruthenus* та *A. stellatus*, бобирець – *Petroleuciscus borysthenticus*, голянь – *Phoxinus phoxinus*, підуст – *Chondrostoma nasus*; щипавка золотиста *Sabanejewia bulgarica* та ін. види, які зникли з озерної іхтіофауни вже в 70–80-х рр. минулого століття.

У 1990–2000-х рр. в озерах періодично відмічались вирезуб – *Rutilus frisii*, головень – *Squalius cephalus*, берш – *Sander volgensis* лобань – *Mugil cephalus* і піленгас *Liza haematocheilus* [12, 18], які, ймовірно, заходили з Дунаю через канали і протоки в період повені. Їх поява в озерах, як і багатьох інших видів, носила епізодичний, випадковий характер. В озерах зустрічаються види занесені в Червону книгу України – *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758), *Benthophilus stellatus* (Sauvage, 1874) [19].

Деградація природних нерестовищ та втрата вільного сполучення з Дунаєм привели до зменшення біорізноманіття і чисельності аборигенної іхтіофауни, яка раніше служила основою промислу. Для підвищення рибопродуктивності в 1970–1980-х рр. озера починають зариблювати карасем сріблястим *Carassius gibelio*, коропом *Cyprinus carpio*, білим та строкатим товстолобиками (*Hypophthalmichthys molitrix* та *Aristichthys nobilis*) і білим амуром (*Ctenopharyngodon idella*). В 2000-х рр. список вселенців поповнився атериною чорноморською *Atherina pontica*, бичком кругляком *Neogobius melanostomus* та сонячним окунем *Lepomis gibbosus* [2].

За результатами наших досліджень, у 2020–2023 рр. іхтіофауна озерної системи Ялпуг–Кугурлуй включала 27–29 видів риб, у тому числі сім вселенців. Таким чином, за понад 65 років, в результаті глобальних антропогенних перетворень іхтіофауна озер Ялпуг–Кугурлуй втратила понад 26–28 видів риб. Натомість, в озерах з'явилися сім видів вселенців. Аналогічні тенденції зміни біорізноманіття, але більш виражені, притаманні всім іншим придунайським озерам.

Змінились також кількісні характеристики та склад уловів в озерах. До 1960-х рр., в оз. Ялпуг щорічно ловили 98,0–156,8 т, а в оз. Кугурлуй 228,5–558,9 т ляща, сазана, тарані, золотого карася, окуня, щуки, судака сома та інших аборигенних риб. У перші роки після обвалування заплави склад уловів залишався близьким до попереднього періоду, але в результаті обмежаного зв'язку з Дунаєм, втрати значної частини природних нерестовищ і посиленої евтрофікації улови почали зменшуватись, а доля традиційних аборигенних видів в промислі, скорочувались [12].

Після зариблення озер карасем сріблястим, у 1964–1966 рр., він дуже швидко витіснив аборигенного золотого карася і вже після 1972 р. зайняв провідне місце в промислі (40–53% улову). Після початку інтродукції в озера білого амура, білого і строкатого товстолобиків в 1970 р., улови рослиноідні риби поступово зростають, і вже у 1980–2000 рр. разом з карасем сріблястим вони склали до 60–70% вилову.

Після переведення озер Ялпуг–Кугурлуй в режим СТРГ, їх щорічно зариблюють цьоголітками товстолобика (1,8–2,0 млн. екз.), білого амура (150 тис. екз.) та коропа (0,45 тис. екз.). Це забез-

печує високу рибопродуктивність озерної системи. В 2021–2023 рр. улови склали 807,87–1379,6 т., але частка аборигенних видів постійно знижується, з 30–40%, в 1990–2000 рр. до 13% у 2023 р.

**Висновки.** Сьогодні, основні гідрохімічні характеристики вод, мінералізація, стан природної кормової бази, різноманіття іхтіофауни та висока рибопродуктивність озер Ялпуг і Кугурлуй, буцім то, свідчать про їх відносну екологічну стабільність і сприятливі умови існування біоти.

Разом з тим, спостерігається повільний, але постійний антропогенний тиск на екосистеми водойм. Зменшення водності Дунаю та погіршення водообміну між озерами і рікою погіршує гідрохімічний режим водойм. Зростає мінералізація, відбувається замулення ложа озер, зростає евтрофікація, у воді і осадах накопичується органіка і токсичні речовини. Постійне вселення у водойми великої кількості рослинних риб призводить до пере-

будови іхтіоценозів, прогресуючої деградації аборигенної іхтіофауни, зменшення її різноманіття та запасів основних, традиційних об'єктів промислу, втрату червонокнижних видів.

Разом з тим постійна інтродукція в озера рослинних риб забезпечує біомеліоративний ефект, а також загальне зростання уловів за рахунок ефекту накопичення, що, власне, і передбачає чинний режим СТРГ. Такі зміни іхтіоценозу озер, спрямовані на зростання їх рибопродуктивності, неминуче призведуть до прогресувального зменшення біорізноманіття і, відповідно, втрати екологічної унікальності цих природних екосистем.

Зважаючи на це, сьогодні, для збереження унікальних природних комплексів, якими є озера Ялпуг і Кугурлуй необхідно прийняти міри щодо покращення їх водообміну, розробити та впровадити програму збереження аборигенної іхтіофауни, проводити постійний моніторинг стану екосистеми озер.

### Література

1. Гопченко Є. Д., Медведєва Ю. С., Македонська Ю. А. Водний баланс системи оз. Ялпуг-Кугурлуй (в період 2006-2014 рр.). *Український гідрометеорологічний журнал*, 2015. Т. 16. 176–183 с.
2. Макрозообентос Придунайського озера Китай і умови його існування : кол. монографія / Джуртубаєв Ю. М., Заморов В. В., Заморова М. П., Урбанська Т. В. ; за ред. М. М. Джуртубаєв. Одеса : Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, 2019. 170 с.
3. Шекк П. В., Моторна Т. В. Особливості формування іхтіофауни озер Ялпуг та Кугурлуй в умовах антропогенної трансформації. *Сучасні проблеми раціонального використання водних біоресурсів*: зб. матеріалів VI Міжнар. наук.-практ. конф., 9-10 жовт. 2024 р. Київ : ПРО ФОРМАТ, 2024. С. 127–130.
4. Гусяков М. Е., Ковтун О. А., Заморов В. В., Хуторний С. А. Сучасний стан екосистеми Придунайських озер і причини масової загибелі в них рослинних риб. *Аквакультурні проблеми Придунайських озер*. Одеса, 1997. С. 5–8.
5. Гідроекологія Української частини Дунаю і суміжних водойм / Т. А. Харченко, М. В. Тимченко, А. А. Ковальчук та ін. ; за редакцією Романенко В. Д. Київ : Наукова думка, 1993. С. 285.
6. Гідробіоценози транскордонних ділянок української та румунської дельти Дунаю : монографія / А. В. Ляшенко, С. О. Афанасьєв, К. Санду, К. Є. Зоріна-Сахарова та ін. Київ : Кафедра, 2018. 312 с.
7. Водний і соловий режим озера Китай / Гопченко Є. Д., Шакирзанова Ж. Р., *ОДЕКУ*. Одеса : «ТЕС», 2018. 136 с.
8. Джуртубаєв Ю. М., Джуртубаєв М. М. Деякі лімнологічні характеристики Придунайських озер Одеської області в сучасних умовах. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2011. № 4 (49). С. 2–30.
9. Джуртубаєв М. М., Джуртубаєв Ю. М., Заморова М. А. Зообентос придунайських озёр. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2010. № 2 (43). С. 164–166.
10. Деньга Ю. М., Медінець В. І. Гідрохімічний режим і якість вод Придунайських озер. *Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова. Сер. Екологія*. 2002. Вип. 2. т. 7. С. 17–25.
11. Джуртубаєв М. М., Ковтун О. А. Зообентос Придунайських озёр. *Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова. Сер. Екологія*. 2002. Вип. 2. т. 7. С. 107–114.
12. Шекк П. В. Ретроспективний аналіз і сучасний стан іхтіофауни та рибних промислів дельти Дунаю. *Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова. Сер. Екологія*. 2003. Вип. 11. т. 8. С. 55–83.
13. Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ : Наукова думка, 2007. 456 с.
14. Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Київ : Ніка-Центр, 2008. 656 с.
15. Романенко В. Д., Жукинський О. П., Оксіюк О. П. та ін. Методика екологічної оцінки поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ : Символ Т, 1998. 28 с.
16. Романенко В. Д. Основи гідроекології. Київ : Генеза, 2004. 664 с.
17. Мовчан Ю. В. Риби України : визначник-довідник. Київ : Наукова думка, 2011. 420 с.
18. Стайловський В. П., Майков Є. В., Сучасний стан іхтіофауни Придунайських озер Карпат і Кугурлуй, перспективи охорони та використання. *Вісник ОДУ*. 2000. В. 1. т. 5. С. 177–183.
19. Кудряшов С. С. Матеріали про місця зустрічей риб, що охороняються на національному рівні, та нові інвазивні види ракоподібних у р. Дунай і Придунайських озерах. *Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні. Серія: «Conservation Biology in Ukraine»*. 2020. В. 16. т. 2. С. 128–129.



## ДЕФІЦИТ ЯКІСНОЇ ВОДИ ДЛЯ РИБАЛЬСТВА В РІЧЦІ УНАВА

Строкаль В.П., Гаць А.К.

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ  
[vita.strokal@gmail.com](mailto:vita.strokal@gmail.com), [strocal\\_v@nubip.edu.ua](mailto:strocal_v@nubip.edu.ua)

Дефіцит якісної води для різних видів водокористування в тому числі для риболовлі набуває з кожним роком все більшої актуальності. Це в першу чергу зумовлено зміною клімату, що призвело до осушення багатьох малих та середніх річок, які слугують джерелами водопостачання для великих річок. Іншим фактором що впливає на дефіцит якісної води є постійне розорювання берегів річок, в результаті чого у водойми потрапляє значна частина біогенних речовин. Не менш вагомим фактором погіршення якості води у річках в нинішніх умовах виступають військові дії, що призводять до засмічення річок та їхніх русл, забруднення водойм нафтопродуктами та отруйними речовинами. Всі вище перераховані фактори суттєво вплинули на якість води особливо малих та середніх річок. Саме тому питання дефіциту води є досить актуальним та потребує наукового обґрунтування й аналітичних досліджень.

Новизна наукової роботи полягала, що авторами вперше було застосовано методику розрахунку індикатора водного дефіциту  $WSq$  (Water Scarcity including quality) для річки Унава з метою встановлення водного дефіциту водойми для різних видів риб за показниками кисневого балансу.

Основна мета роботи полягала у розрахунку індексів водного дефіциту водойми р. Унава для різних видів риб за показниками кисневого балансу. Для досягнення поставленої мети були виконані наступні завдання: (1) визначити основні характеристики водойми та морфометрію у пунктах спостереження (об'єм води, загальна кількість води в річці, ширина та довжина річки, швидкість течії, прогнозований ступінь антропогенного впливу на прибережну зону); (2) оцінити екологічний стан водойми за показниками кисневого балансу за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>); (3) розрахувати індекси водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб, що найбільш розповсюджені у даній водоймі (окунь, судак, товстолобик, щука, коропові види), та показати зміну індексів в динаміці за 2022 та 2024 роки; (4) розрахувати індекси водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником БСК<sub>5</sub> для всіх категорій риб з врахуванням динаміки зміни показника у 2022 та 2024 роках.

В ході власних польових досліджень встановлено, що р. Унава має заболочені численні ділянки, частково замулені прибережні ділянки берегів. Вона є не глибокою, берега вкриті рослинністю, чагарниками та очеретом. З точкових джерел забруднення прогнозовано найбільший вплив мають приватні присадибні ділянки в сільській місцевості та житлово-комунальні підприємства м. Фастів; з дифузних джерел забруднення впливають рілля як з приватних господарств так і фермерських господарств. На р. Унава є три водосховища, які слугують для риболовлі, рекреації й технічних потреб, також одне з них (м. Фастів) – для господарсько-питних потреб.

Проведена оцінка водойми за показниками кисневого балансу за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>). Встановлено, що концентрація розчиненого кисню у водоймі р. Унава становить від 2,2 до 7,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у 2022 році, та 4,4-10,4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у 2024 році. Вміст біологічного споживання кисню у 2022 році становив 8,9-14,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, у 2024 році – 12,8-32,8 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> при оптимальному значенні для прісноводних річок для коропових категорій риб не більше 3,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

З врахуванням показника якості – концентрації розчиненого кисню у воді, розраховано індекси водного дефіциту водойми для певних категорій риб: для окуневих  $WSq_{2022}=0,48$  (високий рівень водного дефіциту) та  $WSq_{2024}=0,30$  (середній рівень водного дефіциту); коропові, судак, товстолобик, щука –  $WSq_{2022/2024}=0,30$  (середній рівень водного дефіциту).

Рівень водного дефіциту водойми р. Унава з врахуванням показника якості – БСК<sub>5</sub> є високим як у дослідженнях 2022 року, так і в 2024 року ( $WSq_{2022}=3,15$ ,  $WSq_{2024}=5,63$ ). Проте, якщо не враховувати показник якості, рівень водного дефіциту водойми є низьким. Це свідчить про те, що водойма має органічне забруднення і воно суттєво впливає на кількість доступної якісної води для нормального розмноження та функціонування риб у водоймі р. Унава. **Ключові слова:** дефіцит води, риби, забруднення річки, якість води, кількість води, кисневий баланс, точкові та дифузні джерела забруднення.

### Water scarcity for fisheries in the Unava River. Strokal V., Hatz A.

The shortage of sufficient water quality is serious for fishing purposes. This is primarily due to climate change, which has led to the drying up of many small and medium-sized rivers that serve as sources of water supply for large rivers. Another factor affecting the shortage of good water quality is the constant plowing of river banks, which causes a significant amount of nutrients to enter rivers. An equally important factor in the deterioration of water quality in rivers in the current conditions is military operations, which has led to the clogging of rivers and their channels, and the pollution with oil products and toxic substances. All of the above factors have largely affected the water quality, especially of small and medium-sized rivers.

The novelty of this research is that the authors first applied the method of calculating the water scarcity indicator  $WSq$  (Water Scarcity including quality) for the Unava River in order to establish the water scarcity of the river for different fish species based on oxygen balance indicators. To achieve this aim, the following tasks were performed: (1) to determine the main characteristics of the river and morphometry at the water sampling points (water volume, the width and length of the river, current velocity, the degree of anthropogenic impact on the coastal zone); (2) to assess the ecological state of the river based on oxygen balance indicators for 2022 and 2024 for which we used dissolved oxygen content and biological oxygen demand (BOD<sub>5</sub>); (3) to calculate the water scarcity indices ( $WSq$ ) of the river based on the dissolved oxygen indices for specific fish species that are most common in this river (perch, pike

perch, silver carp, pike, carp species), and show the change in the indices between 2022 and 2024; (4) to calculate the water scarcity indices (WSq) of the river based on the BOD5 which is generic for all fish.

Results show that the Unava River has numerous wetlands and partially silted coastal areas on the banks. The river is shallow; the banks are covered with vegetation, shrubs, and reeds. Among pollution sources, we observed that private household plots in rural areas and housing and communal enterprises of the city of Fastiv have the greatest impact on the river (point sources); from diffuse sources of pollution, arable land from both private farms and farms affects the nearby waters. There are three reservoirs that are located along the Unava River, which serve for fishing, recreation and technical needs, and one of them (Fastiv) is for household and drinking needs.

Results show that the concentrations of dissolved oxygen in the Unava River (based on ten sampling sites) ranged from 2.2 to 7.2 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> among the sampling sites in 2022, and from 4.4 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> to 10.4 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> in 2024. Biological oxygen demand (BOD5) in 2022 ranged from 8.9 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> to 14.2 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. This range was 12.8-32.8 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> in 2024. An optimal value of BOD5 for freshwaters for carp categories was no more than 3.0 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. This illustrates that for all sampling sites, the water quality, according to BOD5, was not appropriate for growing carp.

Water scarcity indices were calculated for dominant fish types using dissolved oxygen as a water quality parameter (WSq, unitless). Results show that for perch the index of WSq for 2022 was at 0.48 (high water scarcity) while for 2024 this was 0.30 (moderate water scarcity). The results for other dominant fish types (carp, pike perch, silver carp, pike) were as follows: 0.30 for both years 2022 and 2024 (moderate water scarcity). Water scarcity indices were also calculated using the BOD5 as a water quality parameter. But this time, it was generic for all fish because BOD5 thresholds were the same for all studied fish types. Results show that the water scarcity levels exceeded 1, which is an extremely high level: 3.15 for 2022 and 5.63 for 2024. This is because of high BOD5 levels that influence the availability of clean water for fish in the studied river. This indicates that the river has organic pollution, and it affects the amount of available high-quality water for the normal reproduction and functioning of fish in the Unava River. *Key words:* water scarcity, fisheries, river pollution, water quality, water quantity, oxygen balance, point and diffuse pollution sources.

**Постановка проблеми та актуальність дослідження.** Дефіцит якісної води для різних видів водокористування набуває з кожним роком все більшої актуальності. Це в першу чергу зумовлено зміною клімату, що призвело до осушення багатьох малих та середніх річок, які слугують джерелами водопостачання для великих річок. Іншим фактором що впливає на дефіцит якісної води є постійне розорювання берегів річок, в результаті чого у водойми потрапляє значна частина біогенних речовин та інших хімічних меліорантів. Не менш вагомим фактором погіршення якості води у річках в нинішніх умовах виступають військові дії, що призводять до засмічення річок та їхніх русл, забруднення водойм нафтопродуктами та отруйними речовинами. Всі вище перераховані фактори суттєво вплинули на якість води та її доступність для різних видів водокористування [4, 5]. Саме тому питання дефіциту води є досить актуальним та потребує наукового обґрунтування й аналітичних досліджень.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями** полягає у тому щоб виокремити ключові фактор впливу, що зумовлюють дефіцит води для певних видів водокористування, зокрема риболовлі в р. Унава, в межах якої є водосховища та ставки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями дефіциту води займається багато зарубіжних вчених, зокрема досліджували майбутній глобальний дефіцит води для господарських потреб в містах та шляхи його вирішення (He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A.) [6], питання управління водними ресурсами в умовах дефіциту води (Tzanakakis, V. A., Paranychniakakis, N. V., & Angelakis, A. N.) [7], проблеми дефіциту води в сільському господарстві, їхні причин й наслідків і підходів до зменшення ризиків (Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisinigh, D.) [8].

**Новизна наукової роботи** полягає, що авторами вперше було застосовано методику розрахунку індикатора водного дефіциту *WSq* (Water Scarcity including quality [1]) для річки Унава з метою встановлення водного дефіциту водойми для різних видів риб за показниками кисневого балансу.

**Методологічне та загальнонаукове значення.** Основна мета роботи полягала у розрахунку індексів водного дефіциту водойми р. Унава для різних видів риб за показниками кисневого балансу. Для досягнення поставленої мети були виконані наступні завдання: (1) визначити основні характеристики водойми та морфометрію у пунктах спостереження (об'єм води, загальна кількість води в річці, ширина та довжина річки, швидкість течії, прогнозований ступінь антропогенного впливу на прибережну зону); (2) оцінити екологічний стан водойми за показниками кисневого балансу за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>); (3) розрахувати індекси водного дефіциту (*WSq*) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб, що найбільш розповсюджені у даній водоймі (окунь, судак, товстолобик, щука, коропові види), та показати зміну індексів в динаміці за 2022 та 2024 роки; (4) розрахувати індекси водного дефіциту (*WSq*) водойми за показником БСК<sub>5</sub> для всіх категорій риб з врахуванням динаміки зміни показника у 2022 та 2024 роках.

Для виконання першого завдання нами використано синтез теоретико-аналітичної наукової інформації вчених (Хільчевський В.К., Гребін В.В., Манукало В.О. [2-3]) та власні польові обстеження.

Друге завдання передбачало аналіз відібраних проб води в 2022 та 2024 році на вміст розчиненого кисню та біологічного споживання кисню – БСК<sub>5</sub>. Проби води з водойми р. Унава у 2022 році були відібрані у вересні, у 2024 році – на початку листо-

пада. Відбір проб води здійснювався відповідно до ДСТУ ISO 5667 «Якість води. Відбирання проб» та Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку перевірки, взяття проб води та проведення їх аналізу». Кожен пункт спостереження включав по три точки відбору проб води. Відбір проб води починався з гирла річки (1 пункт спостереження) і закінчувався впаданням річки до р. Ірпінь (10 пункт спостереження). Всього мали 10 пунктів спостереження, з яких три пункти включали водосховища р. Унава (табл. 1).

Для виконання третього та четвертого завдань нами було використано методику розрахунку індикатора водного дефіциту розроблена європейськими вченими (van Vliet, M.T. et. all, 2017) [1]. Методика дозволяє визначити водний дефіцит, обрахувавши індекси водного дефіциту для водойми, а також інтегрувати показники якісного стану водойми до відповідної кількості води, яка є необхідною для певних видів водокористування та водозабезпечення самої водної екосистеми. Індикатор водного дефіциту  $WSq$  поєднує основні два компоненти, що відповідають за кількісну величину (визначає дефіцит води) і якісну величину водойми (визначає якість води відповідно до потреби). Цю методику вперше адаптовано та застосовано в Україні для водойми Київського водосховища в аспекті інтегрального індикатора водного дефіциту для різних видів водокористування [4]. Нами, для виконання третього та четвертого завдання застосовано адаптовану для України методику розрахунку інтегрального індикатора водного дефіциту  $WSq$  для риб [5].

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до першого завдання нами зроблений опис локацій (пунктів спостереження), де були відібрані проби води (табл. 2). Ширину річки визначали за допомогою лінійки в програмі [https://earth.google.com/measure distance and area](https://earth.google.com/measure-distance-and-area). Глибину річки вимірювали за допомогою жердини де глибина була малою та за допомогою розміченої мотузки з вантажем, використовуючи човен. Швидкість течії річки визначали за допомогою поплавців. Поплавцями були повністю наповнені водою білі пластикові флакони (пляшки). Вимірювали час, за який поплавець пропливає 100 м. На кожній ділянці проводили по 10 вимірювань, пускаючи поплавець як по центру річки, так і біля берегів. Для кожної ділянки (пункту спостереження) брали усереднені дані за параметром швидкості течії. Ступінь антропогенного впливу на прибережну зону визначали шляхом наявності поруч пляжів, ріллі (розорених сільськогосподарських ділянок), підприємств, приватних та фермерських господарств, сільських та міських населених пунктів.

Наступним завданням було оцінити екологічний стан водойми за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>).

Варто зазначити, що до основних показників кисневого балансу, які є вагомими для життєдіяльності будь-яких категорій риб є концентрація у воді розчиненого кисню ( $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$ ) та вміст БСК<sub>5</sub> ( $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$ ) [5]. Зокрема показник розчиненого кисню у воді є індикатором, що відповідає за аеробні властивості риб та біологічної активності (фотосинтезу) у воді, а також

Таблиця 1

## Характеристика пунктів спостереження водойми р. Унава

| Пункти | Місце розташування                                                                                                           | Координати                   |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1      | с. Городище, Андрушівський р-н, Житомирська обл. Початок р.Унава. Гирло річки                                                | 49°58'20.6"N<br>29°11'59.0"E |
| 2      | с. Великі Лісівці, Попільнянський р-н, Житомирська обл.                                                                      | 49°59'38"N<br>29°22'10"E     |
| 3      | с. Квітневе, Попільнянський р-н, Житомирська обл. Водосховище р. Унава                                                       | 49°59'34"N<br>29°29'11"E     |
| 4      | с. Єрчики, Житомирський р-н., Житомирська обл. Водосховище р. Унава                                                          | 49°59'27"N<br>29°34'29"E     |
| 5      | с. Кошляки, Попільнянський р-н, Житомирська обл.                                                                             | 50°00'18"N<br>29°40'15"E     |
| 6      | с. Півні, Фастівський р-н, Київська обл.                                                                                     | 50°00'49"N<br>29°43'10"E     |
| 7      | с. Волиця, Фастівський р-н, Київська обл.                                                                                    | 50°02'12"N<br>29°48'39"E     |
| 8      | м. Фастів, Київська обл. Фастівське водосховище на р. Унава                                                                  | 50°04'20"N<br>29°52'51"E     |
| 9      | Між с. Мала Оліферна та с. Велика Оліферна                                                                                   | 50°07'53"N<br>29°56'39"E     |
| 10     | Васильківський р-н, Київська обл. В напрямку до с. Перевіз, між с. Чорногородка та с. Дзвінкове. Впадає р. Унава в р. Ірпінь | 50°13'59"N<br>29°59'28"E     |

Таблиця 2

**Морфометрія та усереднена характеристика  
досліджуваних пунктів відбору проб води водойми – р. Унава**

| Пункти | Усереднені дані<br>за власними<br>польовими<br>дослідженнями |            |                            | Ступінь антропогенного впливу на прибережну зону                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------|--------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | Ширина, м                                                    | Глибина, м | Швидкість<br>течі, сек/год |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1      | 2                                                            | 3          | 4                          | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1      | 25,0                                                         | 2,0        | 0,1                        | Гирло річки. Наявність розорених с.г. полів (з одного боку до полів – 20 м, з іншого – 100 м), наявність зрошувального каналу, міська дорога за 300 м, лісиста територія за 25 м, до першого приватного будинку в селі – 500 м. Вище від точки відбору – с. Городище.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2      | 4,5                                                          | 2,0        | 0,1                        | Від точки відбору до першого приватного будинку – 405 м, до розорених с.г. полів – з одного боку 100 м, з іншого – 200 м.<br>Зверху від точки відбору знаходяться с. Маркова Волиця та Сокильча; знизу від точки – с. Миролубівка. Відстань від точки до міської дороги – 5000 м. В зоні до 10 км знаходяться приватні присадибні ділянки, які не мають центрального підключення до водопостачання та водовідведення, також фермерські господарства з вирощування зернових та технічних культур.                                                                                      |
| 3      | 225,0                                                        | 3,2        | 1,5                        | Водосховище на річці заболочене, проте в якому є наявність риб (карась, окунь, плотва, короп, лящ). На території водосховища знаходиться ставкове господарство по вирощуванню риб «Попільна». Відстань від водосховища до першого приватного будинку – 122 м. Вздовж берегу присутня деревна рослинність та чагарники. Від точки відбору до першого розореного поля – 125 м. З одного боку – приватні присадибні ділянки, с.г. поля, з іншого – лісистість з поєднанням с.г. полів. Вище від точки відбору – с.г. поля, Миролубівський кар'єр та с. Миролубівка, нижче – с. Квітневе. |
| 4      | 420,0                                                        | 5,0        | 0,1                        | Водосховище має рекреаційне призначення для місцевості через що знаходили багато несанкціонованого сміття; рибальство – наявність риб як карась, окунь, плотва, короп, лящ. На території водосховища знаходиться ставкове господарство по вирощуванню риб «Попільна». В деяких місцях до міської дороги відстань становить 10 м. Також відстань до с.г. полів від точки відбору становить 25 м. Практично вся територія біля водосховища охоплена приватними присадибними ділянками з розореними с.г. полями. Біля водосховища знаходяться елеватори та стайні з худобою.             |
| 5      | 350,0                                                        | 5,5        | 0,3                        | Річка протікає через с. Кошляки. Присутня табличка що рибу заборонено ловити, хоча рибаки були присутні.<br>Біля території відбору проби води знаходиться ставкове господарство по вирощуванню риб «Попільна». Поблизу є стайні з тваринами. Від точки відбору до першого приватного будинку з с.г. полями – 10 м, до розореного поля – 250 м.                                                                                                                                                                                                                                        |
| 6      | 103,0                                                        | 2,0        | 1,5                        | Від точки відбору до першого розореного с.г. поля – 15 м. Ширина берегів занадто вузька і розорені с.г. поля знаходяться близько до річки – від 10 до 15 м. Вище від точки відбору знаходиться с. Кошляки, нижче – с. Дмитрівка та с. Волиця. До найближчої міської дороги відстань складає 4500 м.                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 7      | 4,5                                                          | 1,0        | 0,5                        | Вище від точки відбору знаходиться с. Волиця та розорені с.г. поля; нижче – з обох сторін територія виглядає як лісиста місцевість, заболочена, вкрита густою рослинністю, знаходяться водно-болотні угіддя. До міської дороги відстань складає 125 м, до першого приватного будинку – 350 м, до с.г. полів – 1000 м.                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Закінчення табл. 2

| 1                      | 2       | 3    | 4   | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------|---------|------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8                      | 475,0   | 5,5  | 1,5 | Вище від точки відбору знаходяться с.г. поля з однієї сторони, та з іншої – лісиста місцевість, урбанізація м. Фастів. Нижче від точки відбору знаходиться урбанізація м. Фастів. Знаходиться Фастівське водосховище, яке використовують для рекреації (наявність несанкціонованого сміття), господарсько-питних цілей міста та риболовлі (наявність категорій риб як карась, окунь, плотва, короп, лящ, чебачок амурський). Від точки відбору за 150 м знаходяться приватні присадибні ділянки з с.г. полями. До найближчої міської дороги відстань становить 500 м |
| 9                      | 25,0    | 1,5  | 0,1 | Вище від точки відбору знаходяться с. Мала Снітинка та м. Фастів; нижче – с. Тарасенки та с. Кліщіївка. Місцевість де був відбір проб води була заболоченою. До першого приватного будинку від точки відбору – 118 м, до с.г. полів – 125 м, до ґрунтової дороги – 230 м. Неподалік розташоване підприємство із переробки яблук.                                                                                                                                                                                                                                     |
| 10                     | 5,2     | 1,0  | 0,1 | Річка протікає між полями. Нижче від точки відбору – місце де впадає річка в річку Ірпінь на південний захід від села Перевіз. Вище від точки відбору знаходяться с.г. поля та приватні присадибні ділянки.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Усереднені значення, м | 163,720 | 2,77 | 0,6 | <i>Загальний висновок:</i> з точкових джерел забруднення прогнозовано найбільший вплив мають приватні присадибні ділянки в сільській місцевості та житлово-комунальні підприємства м. Фастів; з дифузних джерел забруднення впливають рілля як з приватних господарств так і фермерських господарств.                                                                                                                                                                                                                                                                |

є найважливішим фактором для аквакультури, що підтримує метаболізм та їхній ріст [4]. Біологічне споживання кисню є важливим екологічним показником стану природних вод, індикатором органічного забруднення води, та показує яка кількість кисню в міліграмах потрібна для окиснення органічних речовин, що містяться в одному літрі води. Чим більший уміст БСК<sub>5</sub>, тим більша кількість органічних речовин, які сприяють швидкому розмноженню аеробних бактерій, що у свою чергу можуть спричинити зменшення кисню у воді, який є ключовим елементом життєдіяльності водної біоти [4]. Саме тому врахування вище наведених показників екологічного стану водойми є обґрунтованими для використання зокрема цих показників щодо визначення водного дефіциту у р. Унава для нормального функціонування та розмноження риб у даній водоймі.

Відповідно до проведених аналітичних досліджень (рис. 1), за концентрацією розчиненого кисню у воді ми спостерігали, що значення за роками суттєво відрізняються. Відбір проб води здійснювався в осінній період як у 2022 так і в 2024 роках. Нижчі значення були у 2022 році та вищі у 2024 році у пунктах 3-8. Аналогічну ситуацію бачимо і за показником біологічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>). Лише варто відмітити, що оптимальні значення концентрації розчиненого кисню у воді для риб відрізняються залежно від їхнього виду. Зокрема прийнято, що для окуневих риб оптимальним значенням є вміст розчиненого кисню у воді на рівні 5,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, коропових видів та судаку – 5,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, товстолобик та щука – можуть проживати при вмісті 1,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> [4, 5]. Якщо брати до уваги, що на р. Унава є три водосховища, два з яких знаходяться від с. Квітневе

до с. Кошляки (Житомирська обл., пункти спостереження 3-5), на яких знаходиться ставкове господарство «Попільна», одне – знаходиться в м. Фастів (Київська обл., пункт спостереження – 8), то варто зазначити, що риболовля є розповсюдженою на цій річці. Найбільш поширеними видами риб в р. Унава є карась, окунь, плотва, короп, лящ. Частково (за словами рибалок) зустрічається щука та судак. Показник біологічного споживання кисню у воді (БСК<sub>5</sub>) не повинен перевищувати його гранично допустиму концентрацію для нормального функціонування риб, яка становить не більше 3,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Як бачимо з діаграми (рис. 1) всі пункти спостереження не відповідають нормативному значенню і відповідно є загроза органічному забрудненню водойми р. Унава.

Саме тому варто враховувати вище наведені показники кисневого балансу для розрахунків індексів водного дефіциту (*WSq*) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб (завдання 3), індексів водного дефіциту (*WSq*) водойми за показником БСК<sub>5</sub> для всіх категорій риб (завдання 4).

Наступні завдання наших досліджень стосувалися питань визначення водного дефіциту води досліджуваної водойми для риб як індикатора, що покаже чи достатньо придатна водойма для нормального функціонування всіх видів риб (рівень водного дефіциту буде низьким – що відповідає низькому рівню водного стресу) чи непридатна водойма (рівень водного дефіциту буде дуже високим – що відповідатиме дуже високому рівню водного стресу) [1].

Водний дефіцит розраховують за формулою 1 відповідно до методики [1]:

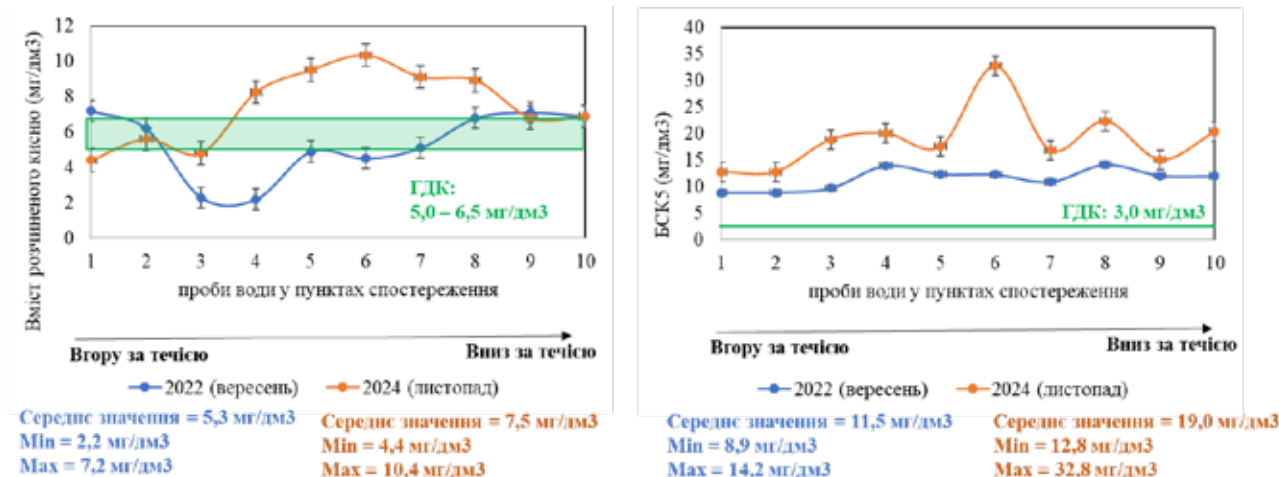


Рис. 1. Концентрація показників кисневого балансу в водоймі р. Унава

$$WSq = \frac{\sum_{j=1}^n (D_j + dq_{ij})}{Q}, \text{ де} \quad (1)$$

$WSq$  (water scarcity including quality) – дефіцит води, включаючи якість води (безмірна величина).

$D_j$  – загальне споживання води за сектором  $j$ , визначається для кожного виду водокористування окремо ( $\text{км}^3/\text{рік}$ ).

$dq_{ij}$  – додаткова кількість чистої води, яка необхідна для розбавлення забрудненої води до відповідної якості води для сектора  $j$  з урахуванням забруднювача  $i$  ( $\text{км}^3$ ), розрахункова величина.

Показник  $dq_{ij}$  розраховується на основі стандарту певного показника якості води за формулою 2:

$$dq_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } C_i \leq C_{max\,i,j} \\ \left( \frac{Q \cdot C_i}{C_{max\,i,j}} - Q \right), & \text{якщо } C_i > C_{max\,i,j} \end{cases} \quad (2)$$

$C_i$  – фактична концентрація  $i$  показника якості води для певного сектору (виду водокористування) (одиниця вимірювання залежить від розглянутого параметра якості води).

$C_{max\,i,j}$  – максимальне (нормативне) значення  $i$  показника якості води для певного сектору (виду водокористування) (одиниця вимірювання залежить від розглянутого параметра якості води).

$Q$  – загальна кількість води у водному об'єкті ( $\text{км}^3$ ).

Якщо концентрація  $i$  показника (забруднювача) не перевищує встановленим нормативним значенням, тоді відповідає умові  $C_i \leq C_{max\,i,j}$ ,  $dq_{ij} = 0$ . Якщо концентрація  $i$  показника (забруднювача) перевищує встановлені нормативні значення, тоді відповідає умові  $C_i > C_{max\,i,j}$ , розрахунок  $dq_{ij}$  проводимо за формулою вище. Цю умову ми використовували для  $i$  показника (забруднювача) – біологічного споживання кисню ( $BCK_5$ ). Обернену умову ми використовували для  $i$  показника (забруднювача) – концентрація розчиненого кисню у воді. Обернена

умова застосовується якщо за умовами якості води вважається кращою якщо концентрація  $i$  показника перевищує нормативне значення, тоді проводимо розрахунок  $dq_{ij}$  як для умови –  $C_i > C_{max\,i,j}$ , використовуючи формулу вище.

Для виконання завдань, зокрема для того щоб можна було провести розрахунок індексів водного дефіциту для риб за показниками кисневого балансу, нам потрібно знати об'єм води ( $Q$ ,  $\text{км}^3$ ), а саме загальну кількість води в р. Унава. З даним параметром виникли значні виклики, оскільки дані відсутні у вільно доступних офіційних джерелах і нами був використаний підхід для визначення загального об'єму води в річці, враховуючі власні польові дослідження за 2022 та 2024 роки (табл. 3).

Загальне споживання води ( $D_j$ ,  $\text{км}^3$ ) відповідно до методики [1] прийнято, що водна біота як риби використовують в середньому 30 % води від загальної кількості води у водоймі. Нами для обрахунку прийнято це значення, і відповідно становить 0,01  $\text{км}^3$  (30% від 0,039  $\text{км}^3$ ).

Фактичну концентрацію вмісту розчиненого кисню у водоймі р. Унава ( $C_i$ ,  $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ ) розраховували як середньоарифметичну концентрацію, що була визначена відповідно до років спостереження (рис. 1).

Додаткову кількість чистої води, яка необхідна для розбавлення забрудненої води до відповідної якості води для певних категорій риб ( $dq_{ij}$ ,  $\text{км}^3$ ) розраховували відповідно до вище описаних умов, використовуючи формулу 2.

Інтерпретація результатів водного дефіциту [1, 4]:

0,0-0,2: низький рівень – дефіциту води немає, кількість доступної якісної води достатня для  $j$  сектора;

0,2-0,4: середній рівень – дефіцит води відчутний, варто звернути увагу які показники вплинули на доступність якісної води для  $j$  сектору; кількість доступної якісної води частково достатня для  $j$  сектору;

Таблиця 3

**Вихідні дані та розрахунок загальної кількості води ( $Q$ , км<sup>3</sup>) у водному об'єкті р. Унава**

| Вихідні дані для розрахунку $Q$                                      |                 |                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Середня ширина річки                                                 | км              | 0,16372 (164,0 м/1000), 1 км=1000 м                                           |
| Середня довжина річки                                                | км              | 87                                                                            |
| Площа річки (ширина * довжина)                                       | км <sup>2</sup> | 14,244 (87 км*0,16 км)                                                        |
| Загальна кількість води у водному об'єкті ( $Q$ , км <sup>3</sup> ): |                 |                                                                               |
| площа * глибина                                                      | 39,45588        | $10^9$ дм <sup>3</sup> ( $1 \text{ км}^2 * 1 \text{ м} = 10^9 \text{ дм}^3$ ) |
| дм <sup>3</sup>                                                      | 39454882800     | $39,45588^9 \text{ дм}^3$                                                     |
| м <sup>3</sup>                                                       | 39454883        | $39454882800/1000$                                                            |
| км <sup>3</sup>                                                      | 0,039           | $39454883/10^9 \text{ дм}^3$                                                  |

Таблиця 4

**Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риби (2022 р.)**

| Категорія риби    | Величини для обрахунку |                         |                                           |                                                     |                             | Водний дефіцит | Рівень водного дефіциту |
|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
|                   | $Q$ , км <sup>3</sup>  | $D_j$ , км <sup>3</sup> | $C_i$ , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | $C_{\max_{ij}}$ , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | $dq_{ij}$ , км <sup>3</sup> | $WSq_j$        |                         |
| Судак             | 0,039                  | 0,01                    | 5,3                                       | 5,0                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Окуневі           | 0,039                  | 0,01                    | 5,3                                       | 5,5                                                 | 0,0072                      | 0,48           | високий                 |
| Коропові          | 0,039                  | 0,01                    | 5,3                                       | 5,0                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Товстолобик, щука | 0,039                  | 0,01                    | 5,3                                       | 1,5                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |

Таблиця 5

**Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риби (2024 р.)**

| Категорія риби    | Величини для обрахунку |                         |                                           |                                                     |                             | Водний дефіцит | Рівень водного дефіциту |
|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
|                   | $Q$ , км <sup>3</sup>  | $D_j$ , км <sup>3</sup> | $C_i$ , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | $C_{\max_{ij}}$ , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | $dq_{ij}$ , км <sup>3</sup> | $WSq_j$        |                         |
| Судак             | 0,039                  | 0,01                    | 7,5                                       | 5,0                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Окуневі           | 0,039                  | 0,01                    | 7,5                                       | 5,5                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Коропові          | 0,039                  | 0,01                    | 7,5                                       | 5,0                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Товстолобик, щука | 0,039                  | 0,01                    | 7,5                                       | 1,5                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |

0,4-0,6: високий рівень – рівень дефіциту води високий, існує ризик забруднення води, що унеможливає її використання; кількість доступної якісної води для  $j$  сектора – практично не доступна; для риби при цих умовах можлива поява гіпоксії риби, що у подальшому може призвести до замору риби;

>0,6: дуже високий рівень – рівень дефіциту води дуже високий, водний об'єкт не можна використовувати для  $j$  сектора через наявність високого рівня забрудненості; кількість доступної якісної води для  $j$  сектора – відсутня.

Всі вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту для конкретних видів риби за роками спостереження представлені у таблицях 4-5 та на графіку (рис. 2). Поділ на категорії риби базується на градації оптимальних значень показника вмісту розчиненого кисню у воді для цих риби.

Як бачимо з отриманих розрахунків, водойма р. Унава у 2022 році мала від середнього до високого рівня (для окуневих риби) водного дефіциту ( $WSq=0,30-0,48$ ), у 2024 році – середній рівень з  $WSq=0,30$  для всіх категорій риби (рис. 2). Показником якості, який був врахований для розрахунку водного дефіциту була концентрація розчиненого кисню у водоймі. Оскільки концентрація цього показника у водоймі перебувала на рівні оптимальних значень для категорій риби, відповідно рівень водного дефіциту без врахування показника якості відповідав рівню водного дефіциту з врахуванням показника якості. Винятком є концентрація розчиненого кисню у водоймі за 2022 рік для окуневих риби, оскільки оптимальним значенням для цих риби є 6,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, а дослідження показали вміст на рівні 5,3 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Чим нижче значення даного показника

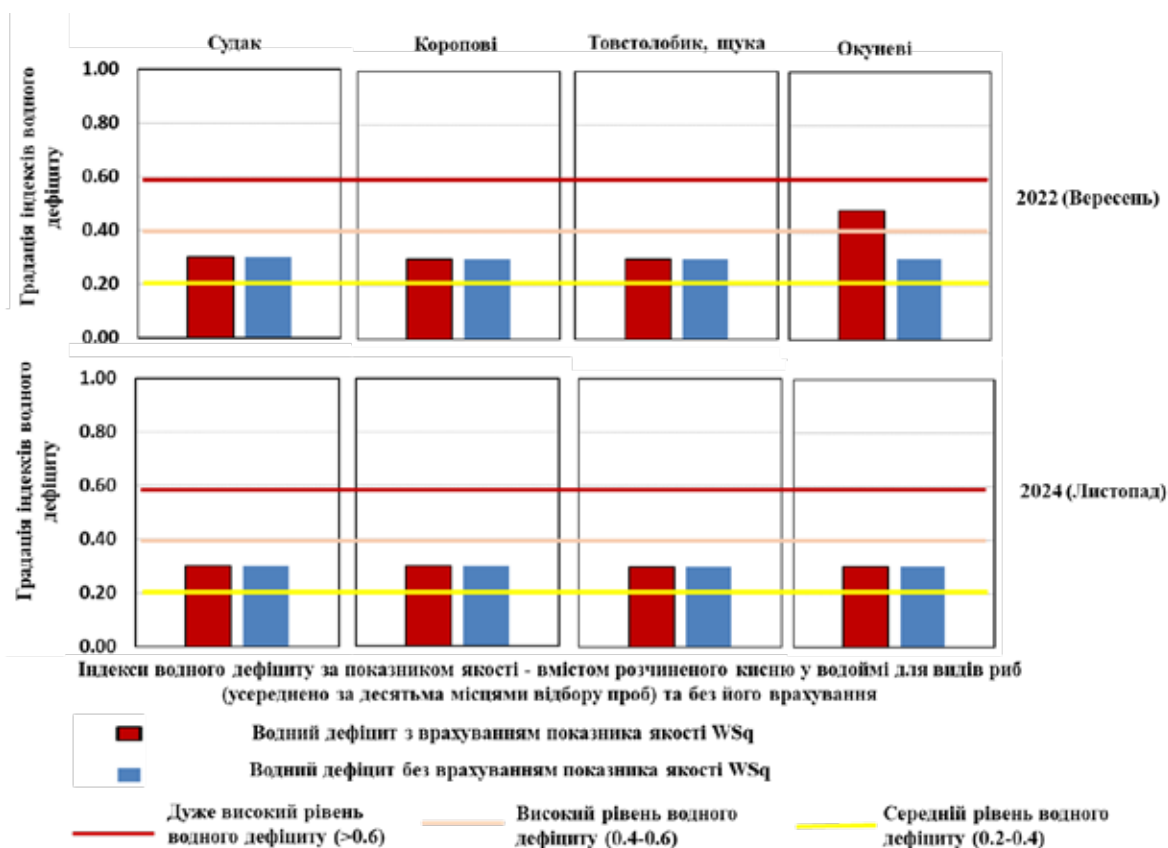


Рис. 2. Індекси водного дефіциту (WSq) водойми за показником розчиненого кисню (WSq – червоний колір стовпчика) та без його врахування (WSq – синій колір стовпчика) для конкретних видів риб, що найбільш розповсюджені у водоймі р. Унава (окунь, судак, товстолобик, щука, карпові види), в динаміці за 2022 та 2024 роки

відповідно нормативу, тим буде більший рівень водного дефіциту. Проте варто відмітити, що вищі дані вмісту розчиненого кисню у водоймі за 2024 рік можуть свідчити про різні мікробіологічні процеси у водоймі, оскільки під час відбору проб води були наявні виділення вуглекислого газу з води та процеси евтрофікації. Саме тому для більшого уточнення і достовірності отриманих висновків, нами було прийнято розрахувати індекси водного дефіциту за показником біологічного споживання кисню, який є також індикатором якості води для риб.

Останнім завданням досліджень було провести розрахунок індексів водного дефіциту (WSq) водо-

йми за показником БСК<sub>5</sub> для всіх категорій риб з врахуванням динаміки зміни показника у 2022 та 2024 роках. В цих умовах показником якості водойми виступав параметр як біологічне споживання кисню за 5 діб. Концентрація даного показника наведена на рисунку 1. Для розрахунку WSq використовували усереднені дані для всієї р. Унава. Варто зазначити, що за даним показником розраховуємо для всіх видів риб водний дефіцит, оскільки гранично допустима концентрація для категорій риб що використовували вище є однаковою і становить 3,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (C<sub>max*i,j*</sub>, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Результати розрахунків наведені в таблиці 6 та на рисунку 3.

Таблиця 6

Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту (WSq) водойми за показником БСК5 для всіх видів риб

| Категорія риб | Величини для обрахунку |                     |                                       |                                                                |                       | Водний дефіцит | Рівень водного дефіциту |
|---------------|------------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|
|               | Q, км <sup>3</sup>     | Dj, км <sup>3</sup> | Ci, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | C <sub>max<i>i,j</i></sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | dqi,j,км <sup>3</sup> | WSq,j          |                         |
| 2022          | 0,039                  | 0,01                | 11,5                                  | 3,0                                                            | 0,1123                | 3,15           | середній                |
| 2024          | 0,039                  | 0,01                | 19,0                                  | 3,0                                                            | 0,2102                | 5,63           | високий                 |



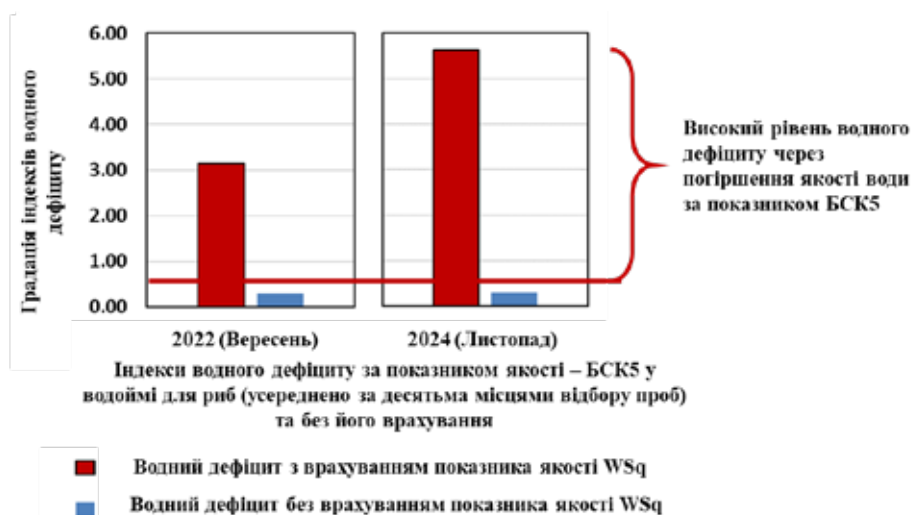


Рис. 3. Індекси водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником БСК<sub>5</sub> ( $WSq$  – червоний колір стовпчика) та без його врахування ( $WSq$  – синій колір стовпчика) для риб в динаміці за 2022 та 2024 роки

Як бачимо з розрахунків, рівень водного дефіциту водойми р. Унава з врахуванням показника якості (БСК<sub>5</sub>) є високим як у дослідженнях 2022 року, так і в 2024 року ( $WSq_{2022}=3,15$ ,  $WSq_{2024}=5,63$ ). Проте, якщо не враховувати показник якості, рівень водного дефіциту водойми є низьким. Це свідчить про те, що водойма має органічне забруднення і воно суттєво впливає на кількість доступної якісної води для нормального розмноження та функціонування риб у водоймі р. Унава.

Також з огляду на проведені розрахунки варто при дослідженнях дефіциту води обов'язково враховувати показники якості води, оскільки вони є індикаторами певного виду забруднення та показують чи достатню кількість якісної води має водойма щоб забезпечити потреби як народного господарства (зрошення, господарсько-питні цілі, рекреація), так і потреби самої водної екосистеми, щоб вона мала змогу до самоочищення.

**Головні висновки.** В ході власних польових досліджень встановлено, що р. Унава має заболочені численні ділянки, частково замулені прибережні ділянки берегів. Вона є не глибокою, берега вкриті рослинністю, чагарниками та очеретом. З точкових джерел забруднення прогнозовано найбільший вплив мають приватні присадибні ділянки в сільській місцевості та житлово-комунальні підприємства м. Фастів; з дифузних джерел забруднення впливають рілля як з приватних господарств так і фермерських господарств. На р. Унава є три водосховища, які слугують для риболовлі, рекреації й технічних потреб, також одне з них (м. Фастів) – для господарсько-питних потреб.

Проведена оцінка водойми за показниками кисневого балансу за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>). Встановлено, що концентрація розчиненого кисню у водоймі р. Унава становить від 2,2 до 7,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у 2022 році, та 4,4-10,4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у 2024 році. Вміст біологічного споживання кисню у 2022 році становив 8,9-14,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, у 2024 році – 12,8-32,8 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> при оптимальному значенні для прісноводних річок для коропових категорій риб не більше 3,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

З врахуванням показника якості – концентрації розчиненого кисню у воді, розраховано індекси водного дефіциту водойми для певних категорій риб: для окуневих  $WSq_{2022}=0,48$  (високий рівень водного дефіциту) та  $WSq_{2024}=0,30$  (середній рівень водного дефіциту); коропові, судак, товстолобик, щука –  $WSq_{2022/2024}=0,30$  (середній рівень водного дефіциту).

Рівень водного дефіциту водойми р. Унава з врахуванням показника якості – БСК<sub>5</sub> є високим як у дослідженнях 2022 року, так і в 2024 року ( $WSq_{2022}=3,15$ ,  $WSq_{2024}=5,63$ ). Проте, якщо не враховувати показник якості, рівень водного дефіциту водойми є низьким. Це свідчить про те, що водойма має органічне забруднення і воно суттєво впливає на кількість доступної якісної води для нормального розмноження та функціонування риб у водоймі р. Унава.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використанні для подальшого оцінювання екологічного стану водойми р. Унава, а також для моніторингових досліджень водних ресурсів басейну р. Ірпін.

#### Література

- van Vliet, M. T., Flörke, M., & Wada, Y. Quality matters for water scarcity. *Nature Geoscience*, 2017. 10(11), 800–802. URL: <https://www.nature.com/articles/ngeo3047>
- Хільчевський В.К. Деякі аспекти щодо стану території районів річкових басейнів та моніторингу вод під час вторгнення Росії в Україну (2022 р.) *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2022, 3(65), 6–14. URL: <https://www.researchgate.net>

- net/publication/365380601\_Deaki\_aspekti\_sodo\_stanu\_teritorii\_rajoniv\_rickovih\_basejniv\_ta\_monitoringu\_vod\_pid\_cas\_vtorgnenna\_Rosii\_v\_Ukrainu\_2022\_r\_Some\_aspects\_regarding\_the\_state\_of\_the\_territory\_of\_the\_river\_basins\_district
3. Хільчевський В. К., Гребінь В. В., Манукало В. О. Гідрологічний словник. К. ДІА, 2022. 236 с.
  4. Строкаль В. П., Куровська А. В. Інтегральне оцінювання екологічного стану води Київського водосховища: монографія. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2024. 225 с. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/085daab2-29d4-447a-b039-9e25b28168b5/content>
  5. Строкаль В. П., Куровська А. В. Науково-методичні рекомендації: Інтегральна оцінка екологічного стану природних вод для різних видів водокористування : науково-методичні рекомендації. Київ : Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2024. 64 с. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/11205>
  6. He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 2021. 12(1), 4667. <https://www.nature.com/articles/s41467-021-25026-3>
  7. Tzanakakis, V. A., Paranychanakis, N. V., & Angelakis, A. N. Water supply and water scarcity. *Water*, 2020. 12(9), 2347. <https://doi.org/10.3390/w12092347>
  8. Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisinigh, D. Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*. 2023. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)05715-8](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)05715-8)

УДК 351.791:628(477.44-21)Кам'янець-Подільський  
DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.36>

## УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ: ДОСВІД ТА СТРАТЕГІЇ КП «МІСЬКТЕПЛОВОДЕНЕРГІЯ»

Тютюнник О.С., Гордій Н.М.

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка  
вул. Огієнка, 61, 32300, м. Кам'янець-Подільський  
[guslaynka@gmail.com](mailto:guslaynka@gmail.com), [nataliagordiy3103@gmail.com](mailto:nataliagordiy3103@gmail.com)

У статті досліджено сучасні підходи до управління водними ресурсами в умовах змін клімату на прикладі діяльності КП «Міськтепловоденергія». Особливу увагу приділено аналізу кліматичних чинників, що впливають на водопостачання та водовідведення у муніципальних системах, зокрема зростанню середньорічних температур, нерівномірному розподілу опадів та збільшенню частоти екстремальних погодних явищ, таких як посухи, повені та сильні зливи. Визначено основні виклики, з якими стикається підприємство, включаючи підвищене навантаження на водозабірні споруди, погіршення якості води, зростання енергетичних витрат на очищення та транспортування води, а також необхідність модернізації застарілої інфраструктури.

У статті розглянуто адаптаційні стратегії, що впроваджуються підприємством для підвищення стійкості водогосподарської системи до кліматичних змін. До таких стратегій належать використання енергоефективних технологій у процесах водопідготовки та водоочищення, застосування сучасних методів моніторингу водних ресурсів, оптимізація роботи насосних станцій і водопровідних мереж, а також розширення альтернативних джерел водопостачання. Окрім цього, наголошено на важливості впровадження інтегрованого управління водними ресурсами на рівні муніципалітетів, що передбачає розробку комплексних політик, спрямованих на раціональне використання води, мінімізацію втрат та підвищення загальної ефективності систем водопостачання та водовідведення.

Досвід КП «Міськтепловоденергія» може стати основою для розробки ефективних муніципальних стратегій адаптації водогосподарських систем до кліматичних змін, забезпечуючи сталий розвиток міського середовища та підвищуючи рівень екологічної безпеки. *Ключові слова:* управління водними ресурсами, зміни клімату, адаптація, енергоефективність, водопостачання, водовідведення, муніципальне господарство, моніторинг, альтернативні джерела води.

**Water resource management in the context of climate change: experience and strategies of KP “Miskteplovodenerhiya”.**  
Tiutunyk O., Hordii N.

The article explores modern approaches to water resource management in the context of climate change using the case of KP «Miskteplovodenerhiya». Special attention is given to the analysis of climatic factors affecting municipal water supply and wastewater management, including the increase in average annual temperatures, uneven precipitation distribution, and the rising frequency of extreme weather events such as droughts, floods, and heavy rains. The main challenges faced by the enterprise are identified, including increased pressure on water intake facilities, deterioration of water quality, rising energy costs for water treatment and transportation, and the need for modernization of outdated infrastructure.

The study examines the adaptation strategies implemented by the enterprise to enhance the resilience of the water management system to climate change. These strategies include the use of energy-efficient technologies in water treatment and purification processes, the application of modern water resource monitoring methods, the optimization of pumping stations and water supply networks, and the expansion of alternative water sources. Additionally, the importance of integrating water resource management at the municipal level is emphasized, which involves the development of comprehensive policies aimed at rational water use, minimizing losses, and improving the overall efficiency of water supply and wastewater systems.

The experience of KP «Miskteplovodenerhiya» can serve as a foundation for the development of effective municipal strategies for adapting water management systems to climate change, ensuring sustainable urban development and enhancing environmental safety. *Key words:* water resource management, climate change, adaptation, energy efficiency, water supply, wastewater management, municipal infrastructure, monitoring, alternative water sources.

**Актуальність дослідження.** Зміна клімату має значний вплив на водні ресурси, роблячи їх більш нестабільними та загрожуючи сталому водопостачанню. Підвищення середньорічних температур, нерівномірний розподіл опадів, часті посухи та екстремальні погодні явища чинять все більший тиск на водні екосистеми та інфраструктуру водопостачання. У цьому контексті ефективне управління водними ресурсами є одним з ключових викликів для муніципальних операторів водопостачання та водовідведення.

Комунальне підприємство «Міське водопостачання» є важливим учасником процесу водокористування на муніципальному рівні і змушене адаптуватися до нових екологічних викликів. Традиційні підходи до управління водними ресурсами стають недостатніми і потребують впровадження інноваційних технологій, енергоефективних рішень та стратегій адаптації. Вивчення досвіду компанії та розробка ефективних механізмів адаптації дозволить не тільки підвищити стійкість систем водопостачання, а й створити основу для розробки національних та

регіональних стратегій управління водними ресурсами в умовах зміни клімату.

Дослідження досвіду КП «Міськтепловоденергія» має практичну значущість, оскільки підприємство активно впроваджує сучасні технології управління водними ресурсами та адаптаційні заходи до змін клімату. Це питання набуває ще більшої ваги у контексті євроінтеграції України, адже розвиток її міст має відповідати світовим тенденціям у сфері екологічної стійкості та ефективного водокористування. Україна отримує підтримку від більш успішних міжнародних партнерів, що сприяє впровадженню передових технологій та управлінських підходів у комунальній сфері. Крім того, повоєнне відновлення країни вимагає стратегічного планування модернізації інфраструктури, включно з водопостачанням і водовідведенням, щоб забезпечити стабільний розвиток українських міст відповідно до європейських стандартів. Отримані результати можуть бути використані для формування політики сталого управління водними ресурсами на місцевому та національному рівнях, що сприятиме підвищенню екологічної безпеки та ефективному використанню водних ресурсів у довгостроковій перспективі.

**Викладення основного матеріалу.** Централізоване водопостачання забезпечується з Дністровського басейну за допомогою насосних станцій та комплексу очисних споруд, а також підземного водозабору до якого входить 28 артезіанських свердловин. До системи водопостачання входить 6 водопровідних насосних станцій та 325 км водопровідних мереж. Виробничі потужності дають змогу подати 50 тис м<sup>3</sup>/добу води.

У грудні 2022 року було проведено комісійне обстеження об'єктів централізованого та децентралізованого водопостачання на території Кам'янець-Подільської міської територіальної громади відповідно до розпорядження міського голови від 16.11.2022р. № 557-р «Про створення спільної комісії для обстеження на території Кам'янець-Подільської міської територіальної громади об'єктів централізованого та децентралізованого водопостачання». В результаті обстеження було встановлено, що контроль за якістю води питної здійснюється відомчою лабораторією підпорядкованою КП «Міськтепловоденергія».

Потребує вирішення проблема визначення розмірів і меж водоохоронних зон та прибережних захисних смуг вздовж річок та навколо водойм на території громади. Необхідним є розгляд проблеми підтоплення, яка пов'язана з діяльністю Кам'янець-Подільської малої ГЕС та сезонними паводками і зливами [2].

Згідно звіту Хмельницької обласної державної адміністрації щодо стану навколишнього середовища Хмельницької області у 2015 році моніторинг децентралізованого водопостачання здійснювався Держсанепідслужбою області за 15093 криницями громадського користування. На санітарно-хімічні

показники досліджено з джерел децентралізованого водопостачання – 3914 проб, з них 2298 (58,7%) з відхиленням санітарних норм. На мікробіологічні показники з джерел децентралізованого водопостачання досліджено 1961, з них 805 (41,1%) з відхиленням санітарних норм.

На території Хмельницької області скид зворотних вод у водні об'єкти здійснюють 80 водокористувачів. Повна біологічна очистка з подальшим скидом очищених стічних вод у водні об'єкти здійснюється на 52 комплексах очисних споруд. Загальні скиди зворотних вод становили 42,62 млн.м<sup>3</sup>, в минулому році було скинуто 32,29 млн.м<sup>3</sup> зворотних вод.

Зменшилися обсяги скидання недостатньо-очищених зворотних вод, в 2015 році, вони склали 0,544 млн.м<sup>3</sup>, у 2014 році – 0,957 млн. м<sup>3</sup>. Також в 2015 році скинуто у водні об'єкти 0,104 млн.м<sup>3</sup> неочищених зворотних вод.

Централізоване господарсько-питне водопостачання: станом на 01.01.2016р. Державною санепідемслужбою області здійснювався контроль за 1203 господарсько-питними водопроводами (38 – комунальними, у тому числі 2 з відкритих водойм; 430 – сільськими та 733 – відомчими). Централізоване водопостачання забезпечується за рахунок експлуатації підземних джерел водопостачання (артсвердловини), окрім міст Кам'янець-Подільського (водопостачання з р. Дністер) та Полонне (водопостачання з р. Хомора та артсвердловин).

Якість води за вмістом основних санітарно-хімічних та бактеріологічних показників відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання населення». Основні забруднювачі водних об'єктів (за галузями економіки), а також використання та відведення води підприємствами, які використовують воду у Хмельницькій області наведено у таблиці 1 [3].

З таблиці видно, що найбільший забір води здійснюється галузями електроенергетики та, відповідно, на потреби житлово-комунального господарства. Причому, що саме ця галузь здійснює найбільший скид забруднених неочищених стоків у поверхневі водні об'єкти.

**Досвід та виклики в управлінні водними ресурсами.** Серед позитивних прикладів роботи КП «Міськтепловоденергія» можна відзначити впровадження енергоефективних технологій на насосних станціях, що дозволило знизити витрати енергії на 20%; модернізація системи водоочищення, яка дозволила значно підвищити якість води, що подається споживачам.

Проте підприємство стикається і з певними викликами такими як знос інфраструктури. Багато об'єктів водопостачання потребують термінової модернізації, що вимагає великих фінансових затрат та зміни клімату нестабільні погодні умови ускладнюють прогнозування потреб у воді, що веде до перевантаження систем в окремі періоди року.

Таблиця 1

Використання та відведення води підприємствами галузей економіки, млн.м<sup>3</sup>

| Галузь економіки                | Використано води у 2016р. | У т.ч. на:             |                   | Відведено зворотних вод |                    |                    |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
|                                 |                           | Побутово-питні потреби | Виробничі потреби | Всього                  | У т.ч. забруднених | з них без очищення |
| Електроенергетика               | 25,990                    | 2,814                  | 23,170            | -                       | -                  | -                  |
| Машинобудування                 | 0,513                     | 0,192                  | 0,321             | -                       | -                  | -                  |
| Житлово-комунальне господарство | 24,220                    | 20,910                 | 3,293             | 27,020                  | 0,580              | 0,102              |
| Сільське господарство           | 11,020                    | 0,030                  | 9,540             | 9,500                   | -                  | -                  |
| Харчова промисловість           | 3,649                     | 0,571                  | 3,078             | 1,257                   | 0,039              | -                  |
| Транспорт                       | 0,514                     | 0,319                  | 0,195             | 0,003                   | -                  | -                  |
| Промисловість буд. матеріалів   | 0,744                     | 0,166                  | 0,579             | 1,858                   | -                  | -                  |
| Інші галузі                     | 0,430                     | 0,068                  | 0,374             | 0,312                   | 0,029              | 0,002              |
| Всього                          | 67,080                    | 25,070                 | 40,550            | 39,95                   | 0,648              | 0,104              |

КП «Міськтепловоденергія» є ключовим постачальником води та послуг з водовідведення в містах. Підприємство обслуговує значну кількість споживачів і володіє розвинутою мережею водопостачання та водовідведення. Проте з огляду на зміни клімату, зокрема на часті посухи та паводки, підприємство змушене адаптувати свої стратегії для забезпечення безперервного постачання води.

Місто багато робить у сфері залучення міжнародного досвіду зниження енергозатратності комунальної сфери та підвищення загального рівня енергоефективності:

- підписано у Брюсселі «Угоду мерів», яка має на меті об'єднати європейські місцеві органи влади (муніципалітети) в добровільне утворення задля спільної боротьби з глобальним потеплінням. Підписанти Угоди Мерів беруть на себе добровільні зобов'язання виконати загальноєвропейські вимоги ЄС стосовно скорочення викидів CO<sub>2</sub> щонайменше на 20% шляхом запровадження енергоощадних заходів та поширення використання поновлюваних джерел енергії. Місто отримало можливість долучатись до грантових пропозицій Європейського Союзу для досягнення цієї мети;

- місто стало повноправним партнером Проекту «Реформа міського теплозабезпечення в Україні», що фінансується Агентством США з міжнародного розвитку (USAID) та виконується компанією International Resources Group (IRG). Основні завдання цього Проекту включатимуть аналіз та аудит систем теплопостачання в містах, удосконалення міського енергопланування, встановлення лічильників і застосування енергоефективних технологій в будівлях, а також надання технічної допомоги місцевим органам влади в залученні фінан-

сування та моніторингу програм центрального теплопостачання;

- за підтримки Асоціації «Енергоефективні міста України» місто долучилось до спільного проекту з Європейською Асоціацією муніципалітетів «Енерджі-Сіте» під назвою «MODEL-CIUDAD», що фінансується Європейською комісією. Кам'янець-Подільський увійшов до трійки міст України, в яких будуть профінансовані заходи з термомодернізації однієї бюджетної будівлі;

- долучились до реалізації Проекту «Будівництво «пасивного будинку», який проводить німецька компанія GTZ (відібрані як одне з чотирьох пілотних міст України); – подано заявку та необхідний інформаційний пакет даних для налагодження «енергетичних» партнерських стосунків з містами Великобританії та участі у відповідній грантовій пропозиції уряду Великобританії; – стали повноправним партнером проекту «Сприяння впровадження енергоефективних технологій в Україні», який впроваджувався Міжнародною громадською організацією «Фундація польсько – української співпраці ПАУСІ» [4].

Різке зменшення рівня води в річках Смотрич і Дністер, що є основним водозбором для забезпечення потреб міста, є серйозною екологічною проблемою, зумовленою комплексом природних і антропогенних факторів. Однією з головних причин є нестача опадів, що спричиняє дефіцит водних ресурсів у регіоні. Зокрема, в останні роки спостерігається значне скорочення кількості снігових опадів у Карпатах, звідки бере початок Дністер. Це призводить до недостатнього поверхневого живлення річки навесні, а також до загального зменшення водності її притоків, таких як Смотрич. Також аномально високі температури влітку. Внаслідок цього рівень

води в річках падає, що негативно впливає на місцеві екосистеми, водопостачання населених пунктів і функціонування аграрного сектору.

Ще одним критичним чинником є збройна агресія росії проти України, яка створює додаткові виклики для управління водними ресурсами. Постійні ракетні та дронів атаки на енергетичну інфраструктуру України призводять до перебоїв у роботі електростанцій, зокрема атомних і теплових, що змушує гідроенергетичні об'єкти компенсувати нестачу виробництва електроенергії. Новодністровська ГЕС, розташована нижче за течією Дністра, змушена збільшувати водозабір для підтримки енергосистеми країни, що ще більше знижує рівень води в річці. Це створює ризики для водопостачання населених пунктів, роботи промислових підприємств і збереження біорізноманіття річкових екосистем.

Поєднання кліматичних змін і воєнних факторів значно ускладнює ситуацію, вимагаючи розробки комплексних заходів для збереження водних ресурсів. Необхідно впроваджувати сучасні методи моніторингу водності річок, розробляти стратегії раціонального використання води та підвищувати ефективність водоочисних систем. Крім того, важливим є міжнародне співробітництво у сфері водної безпеки, адже Дністер є транскордонною річкою, і його водний режим впливає на екологічний баланс не лише України, а й Молдови. В умовах триваючої війни та кліматичних викликів адаптація до нових реалій стає стратегічним завданням для державної політики у сфері водних ресурсів.

**Перспективи розвитку і рекомендації для покращення управління водними ресурсами.** Для покращення управління водними ресурсами в умовах змін клімату необхідно впроваджувати новітні технології, які допоможуть знизити витрати води та енергії. Зокрема такі як розвиток систем моніторингу і прогнозування для забезпечення ефективного управління водними ресурсами в реальному часі; модернізація інфраструктури водопостачання та водовідведення для зменшення втрат води та забезпечення її сталого постачання та використання альтернативних джерел води (наприклад, дощової води) для зниження навантаження на основні водозабірні джерела.

Крім того, збройна агресія Російської Федерації проти України перешкоджає ефективному впровадженню державної кліматичної політики в Україні і призводить до незворотних наслідків не лише для України, а і для всього європейського континенту та світу. Внаслідок збройної агресії Російської Федерації проти України виникають додаткові викиди парникових газів, триває руйнування екосистеми. На даний час обсяг таких викидів оцінюється в близько 150 млн. тонн. При цьому у період відбудови також передбачається збільшення викидів парникових газів. Потреби повоєнного відновлення, зокрема відбудови будівель та інфраструктури, прогнозовано призведуть до викидів парникових газів

в обсязі, що на даний час оцінюється в 54,7 млн. тонн еквівалента двоокису вуглецю.

На даний час здійснюються заходи з відновлення природних екосистем, зокрема національних парків, заповідників та осушених торфовищ, що є важливим для скорочення викидів та збільшення поглинання двоокису вуглецю та інших парникових газів. Велика частина природних ресурсів постраждала від збройної агресії Російської Федерації, а саме 2,4 млн. гектарів лісів, що звільнені від окупації Російської Федерації, потребують відновлення, 832 тис. гектарів лісів перебувають у зоні бойових дій, 900 заповідних об'єктів зазнали особливих руйнувань [5].

Повоєнна відбудова України є не лише питанням інфраструктурного та економічного відновлення, а й можливістю побудови екологічно стійкої держави. Руйнування промислових об'єктів, водопостачальних та водовідвідних систем, а також забруднення земель і водних ресурсів внаслідок воєнних дій створюють серйозні екологічні виклики. Відновлення повинно базуватися на принципах сталого розвитку, передбачаючи застосування екологічно безпечних технологій, енергоефективних рішень та адаптації до змін клімату. Важливим аспектом є очищення та відновлення водних ресурсів, які постраждали від бойових дій, а також впровадження сучасних систем управління водопостачанням і водовідведенням.

З урахуванням євроінтеграційного курсу України повоєнна відбудова має відповідати екологічним стандартам ЄС, що сприятиме не лише підвищенню якості життя громадян, а й інтеграції у міжнародні економічні та екологічні програми. Використання передових світових практик у реконструкції міст дозволить зменшити негативний вплив на довкілля, підвищити енергоефективність та сприяти розвитку «зелених» технологій. Таким чином, екологічна складова повинна стати невід'ємною частиною відновлення країни, забезпечуючи довгострокову екологічну безпеку та стійкість України в умовах глобальних змін клімату.

**Головні висновки.** Управління водними ресурсами в умовах змін клімату є важливою складовою забезпечення сталого розвитку міських територій. Зниження рівня води в річках Смотрич і Дністер спричинене комбінацією кліматичних змін та воєнних дій, що загрожує екосистемам, водопостачанню та енергетичній стабільності регіону. Для пом'якшення наслідків необхідно впроваджувати комплексні заходи з моніторингу, раціонального використання водних ресурсів та міжнародного співробітництва. КП «Міськтепловоденергія» демонструє успішний досвід адаптації до нових умов через впровадження інноваційних технологій та оптимізацію процесів водозабезпечення. Проте для подальшого розвитку необхідно продовжувати модернізацію інфраструктури та розвивати стратегії збереження водних ресурсів, щоб забезпечити сталий доступ до води для мешканців міста.

**Література**

1. Дорожня карта кліматичних цілей України до 2030 року: бачення громадськості URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2020/02/dk-clim-ciley-short1.pdf>
2. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту документа державного планування «Програма соціально-економічного та культурного розвитку Кам'янець-Подільської міської територіальної громади на 2024-2025 роки» <https://onedrive.live.com/?authkey=%21ADOK%5Fzs7pLLWVH8&id=ECE43D51F9A9D478%2179713&cid=ECE43D51F9A9D478&parId=root&parQt=sharedby&o=OneUp>
3. Екологічний паспорт Хмельницької області. Департамент екології та природних ресурсів – Хмельницький 2016 р. С. 24-27.
4. План дій зі сталого енергетичного розвитку Кам'янця-Подільського URL: [https://mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc\\_covenant/documents/8/ICsXEqn3Rz-\\_abvAJHWf1lsGvHVkZesm.pdf](https://mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc_covenant/documents/8/ICsXEqn3Rz-_abvAJHWf1lsGvHVkZesm.pdf)
5. Розпорядження Про схвалення Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024-2026 роках URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#Text>
6. План розвитку на 2022-2026 роки КП «Міськтепловоденергія» м. Кам'янець-Подільський URL: <https://surl.li/ohwrnm>

UDC 628.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.37>

## THE LATEST MOST ENVIRONMENTALLY FRIENDLY METHODS OF WATER PURIFICATION IN TERMS OF ITS ORIGIN

Fedenko Yu.M., Kutsenko A.O., Tkachuk A.O.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Peremogy Ave., 37, 03056, Kyiv

fedenkoyura@ukr.net, 0982455570san@gmail.com, tkachukanna2004@gmail.com

Every year the problem of wastewater treatment to provide drinking water to the urban network becomes more urgent. Pollution of water resources because of wastewater discharges from various enterprises, agricultural and domestic emissions require the development of an effective method of water purification and preparation for safe use.

The article discusses the various stages of the water treatment process: from mechanical purification to the use of chemical and biological methods and assesses the impact of each stage on water quality and composition. The relevance of the topic is caused by the need to improve existing water treatment systems to reduce the negative impact on the environment and ensure sustainable development of urban infrastructure.

Wastewater is water that, after being used for domestic or industrial purposes, is discharged through a wastewater disposal system (a set of sanitary and hygienic measures and technical devices that ensure the removal of wastewater outside the production area). This process is carried out through drainage systems and industrial and domestic wastewater. Depending on their origin, wastewater is divided into three main categories: domestic; industrial; and atmospheric.

Wastewater has very different compositions and properties. Understanding the composition and properties of impurities is an important prerequisite for choosing the right treatment methods and developing an optimal technological plan for treatment facilities. Wastewater is a complex system of dissolved, colloidal and insoluble organic and mineral pollutants. The composition of industrial wastewater is very diverse and depends on the type of production and technical processes used. There are several methods of wastewater treatment: mechanical, physical, chemical, and biological. Mechanical methods of wastewater treatment involve removing insoluble and partially colloidal impurities from water. Chemical methods of wastewater treatment include neutralization, oxidation, and reduction. Biological methods are considered the main way to treat wastewater from the oxidation of organic impurities. The physicochemical method is based on the electrolysis of water on an insoluble electrode and the flotation effect. *Key words:* domestic wastewater, industrial wastewater, atmospheric wastewater, chemical methods, physical methods, biological methods.

**Новітні найбільш екологічні методи очищення води з точки зору її походження. Феденко Ю.М., Куценко А.О., Ткачук А.О.**

З кожним роком стає більш актуальною проблема очищення стічних вод для забезпечення міської мережі питною водою. Забруднення водних ресурсів в результаті скидання стічних вод з різних підприємств, сільськогосподарських і побутових викидів потребує розроблення ефективного методу очищення та підготовки води для безпечного використання.

У статті розглядаються різні етапи процесу водопідготовки: від механічного очищення до застосування хімічних і біологічних методів, а також оцінюється вплив кожного етапу на якість та склад води. Актуальність теми викликана необхідністю покращення існуючих систем водопідготовки з метою зменшення негативного впливу на середовище та забезпечення сталого розвитку міської інфраструктури.

Стічні води – це води, які після використання в побутових або промислових цілях людини скидаються через систему водовідведення (комплекс санітарно-гігієнічних заходів і технічних пристроїв, що забезпечують видалення стічних вод за межі виробництва). Цей процес здійснюється за допомогою дренажних систем і промислових і побутових стічних вод. Залежно від походження стічні води поділяються на три основні категорії: господарсько-побутові; виробничі; атмосферні.

Стічні води мають дуже різні склади та властивості. Розуміння складу і властивостей домішок є важливою умовою правильного вибору методів очищення та розробки оптимального технологічного плану очисних споруд. Стічні води – це складна система розчинених, колоїдних і нерозчинних органічних і мінеральних забруднювачів. Склад промислових стічних вод дуже різноманітний і залежить від типу виробництва і використовуваних технічних процесів. Існує декілька методів очищення стічних вод – це механічні, фізичні, хімічні, біологічні. Механічні методи очищення стічних вод полягають у видаленні з води нерозчинних і частково колоїдних домішок. До хімічних методів очищення стічних вод відносять методи нейтралізації, окиснення та відновлення. Біологічні методи вважаються основним способом очищення стічних вод від окислення органічних домішок. Фізико-хімічний метод заснований на електролізі води на нерозчинному електроді і ефекті флотації. *Ключові слова:* побутові стічні води, промислові стічні води, атмосферні стічні води, хімічні методи, фізичні методи, біологічні методи.

**Introduction.** Wastewater is water that, after being used for domestic or industrial purposes, is discharged through a wastewater disposal system (a set of sanitary and hygienic measures and technical devices that ensure the removal of wastewater outside the production area). This process is carried out through drainage systems and industrial and domestic wastewater [1-3].

Depending on the origin, wastewater is divided into three main categories:

- domestic;
- industrial;
- atmospheric.

Domestic wastewater is generated in residential buildings and service facilities such as showers and



toilets. It is usually contaminated with detergents and excrement. Most of the suspended solids are cellulose, and other organic contaminants include fatty acids, carbohydrates, and proteins. The unpleasant odor of this wastewater is caused by the breakdown of proteins under anaerobic conditions. The composition of domestic wastewater is relatively constant and contains mainly organic pollutants in undissolved, colloidal and dissolved states (approximately 60 %) and a variety of bacteria and microorganisms, including pathogens. Industrial wastewater is generated because of the use of water in industrial processes and mining. They are discharged through industrial or public drainage systems. The most characteristic and dangerous pollutants in industrial wastewater are organic substances with long decomposition times, including extractive substances (mainly oil products), phenols, synthetic surfactants, heavy metals, and various pesticides. In addition, industrial wastewater may contain toxic substances (e.g., waste of electroplating plants) and pathogenic bacteria (e.g., waste from tanneries meat processing plants, etc.) [4].

Atmospheric runoff is formed by rain and snowmelt in residential areas of villages and areas of villages and on the territory of industrial enterprises. In modern cities atmospheric runoff contains not only sand and debris washed off the roads, but also organic substances. These substances can be classified as domestic wastewater, as they are often slightly contaminated by their composition. Pollution of the of an industrial enterprise leads to the appearance of impurities that are specific to a particular product. Rainwater drainage is characterized by ephemeral nature and strong heterogeneity of flow rate and concentration of pollutants. Depending on the sewage system domestic wastewater, industrial wastewater, or household wastewater, industrial wastewater and atmospheric wastewater enter the municipal sewer system and form municipal wastewater. The composition of wastewater is mainly characterized by the content of organic pollutants in undissolved, colloidal and dissolved states. Organic pollutants come from a variety of sources, including vegetable origin (fruits, vegetables, plant residues, paper, etc.) and animal origin (physiological human and animal excretions, organic acids, tissue residues of organisms, pathogenic bacteria, yeast). and mold). fungi – the so-called bacterial and biological pollution). Domestic wastewater contains approximately 40 % of mineral pollutants and 60 % organic pollutants [5-8].

Atmospheric wastewater contains mainly mineral pollutants and to a lesser extent organic pollutants. The composition and concentration of industrial wastewater varies widely, as it depends on the type of production, manufactured products, and the specifics of the technological of the technological process. Industrial wastewater is divided into two main categories: polluted wastewater and uncontaminated (conditionally clean) [9].

Contaminated industrial wastewater contains various impurities and is divided into three groups [10].

Mostly contaminated with mineral impurities (metallurgical machine-building, ore and coal enterprises, plants producing mineral fertilizers, acids, construction products and materials, etc.)

Mostly polluted by organic impurities (meat, fish, dairy, pulp and paper, chemical, microbial, plastics, rubber, etc. industries) [11-13].

Pollution by mineral and organic impurities (oil production, oil refining, petrochemicals, textile and light industry, pharmaceutical industry, factories producing canned food, sugar, organic synthetics, paper, vitamins, etc.)

Atmospheric runoff is formed by rain and snowmelt in residential areas of villages and on the territory of industrial enterprises. In modern cities, atmospheric runoff contains not only sand and debris washed off the roads, but also organic substances. These substances can be classified as domestic wastewater, as they are often slightly contaminated by their composition. Contamination of the territory of an industrial enterprise leads to the appearance of impurities specific to certain products. Rainwater drainage is characterized by its ephemeral nature and strong heterogeneity in flow rate and pollutant concentration. Depending on the sewage system, domestic wastewater, industrial wastewater or domestic wastewater, industrial wastewater and atmospheric wastewater enter the urban sewer network and form urban wastewater. Due to the different degree of wastewater pollution and its sources, when designing drainage systems, the possibility of extracting different types of wastewaters together or separately, as well as their treatment together or separately, is considered. The main characteristics of wastewater include the amount of water measured in l/s, m<sup>3</sup>/s, m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/shift, m<sup>3</sup>/day, etc. Type of pollutant and its concentration (measured in mg/l or g/m<sup>3</sup>). An important characteristic of wastewater is the degree of uniformity of its generation and discharge into the drainage system, which is usually determined by the heterogeneity of the wastewater flow throughout the day during the year. These characteristics are considered when planning a drainage system [14, 15].

#### **Overview of the features of wastewater treatment of various origins**

Before being discharged into a water body, wastewater must be treated at a wastewater treatment plant. To do this, we need to know the composition and quality of these waters. Pollution is classified by source as follows [16]:

- mineral;
- organic;
- biological;
- bacterial.

Mineral contaminants include sand, clay particles, slag, solutions of mineral salts, acids and alkalis, mineral oils, etc.

Organic pollution is of plant or animal origin. Vegetable pollution includes residues of vegetables, fruits, cereals, paper, etc. The main chemical element

in this type of pollution is carbon. Animal pollutants include human and animal physiological waste, animal muscle and fatty tissue residues, and adhesive substances containing large amounts of nitrogen. Organic pollutants can be classified into nitrogen-free pollutants, pollutants containing carbon, hydrogen and oxygen, and pollutants containing nitrogen. The main organic pollutants in domestic wastewater are carbohydrates and fats. Such water contains many monosaccharides, such as glucose and lactose (milk sugar), and disaccharides, such as sucrose. Polysaccharides such as cellulose and starch are also components of domestic wastewater and are not soluble in water but are in suspension and often form an important part of the solid phase. The pollutants contained in domestic wastewater can be in undissolved, dissolved, or colloidal states. Undissolved contaminants that remain on paper filters are often called suspended solids. Organic contaminants pose the greatest health risk. The content of dissolved organic pollutants is estimated using the values of biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). Domestic wastewater typically has a BOD value of 100 to 400 mg/l and COD value of 150 to 600 mg/l, indicating a high level of pollution. Such water can deteriorate within 12–24 hours when stored at 20 °C. Organic pollutants make up a significant portion of municipal wastewater, approximately 45–58 %. Mineral and other impurities make up 42–55 % each. Organic pollution of wastewater promotes the development of various microorganisms and bacteria, which leads to biological and bacterial contamination, increasing the risk of infectious diseases [17–19].

Wastewater treatment methods are divided into mechanical, chemical, physicochemical, and biological, and when these methods are used together, they are called combined methods. The choice of approach depends on the type of pollution and its harmfulness. Methods for the treatment of polluted industrial water can be divided into several groups: mechanical, physical, physical-mechanical, chemical, physical-chemical, biological and integrated methods [20]. Mechanical methods of wastewater treatment consist in removing insoluble and partially colloidal impurities from water. The waste contained in wastewater (paper, rags, bones, various industrial wastes, etc.) is collected in preliminary screens. Mechanical treatment can remove up to 60–75 % of insoluble contaminants from domestic wastewater and up to 95 % from industrial wastewater. Many of them are valuable pollutants used in production [21].

Grids and nets are used for filtration, and coarse dirt (bags, rags, plastic, large items and objects) is also filtered. The cleaning device works on the principle of installing a special mesh that traps large particles of dirt. Then the purified water enters the fine mesh, and small particles of dirt are trapped in it. Finally, a microfilter removes particles and insoluble substances [22].

Chemical methods of wastewater treatment include neutralization, oxidation, and reduction. Chemical treatment can be used as a preliminary stage of biological treatment or as a subsequent treatment method. Both chemical and physicochemical treatment are used only in industrial environments and require preliminary mechanical treatment. Chemical treatment reduces the number of insoluble pollutants by up to 95 % and soluble pollutants by up to 25 % [23].

For example, neutralization is a method of treating contaminated water that can be returned to a normal pH (6.5–8.5). This process neutralizes acids and alkalis and turns them into safe substances. When treating wastewater from industrial plants, it is necessary to deal with such contaminants. Even if acidic wastewater is mixed with alkaline wastewater, it can be neutralized simply by mixing. To neutralize acidic water, alkaline waste, caustic soda, soda, chalk, and limestone are used. To achieve this method, companies install filters and various devices [24].

The main methods of neutralization include:

- mixing acid and alkaline liquids;
- introduction of reagents;
- filtering of acidic wastewater with the use of neutralizing substances;
- alkaline dissolution of gases;
- introduction of an ammonia solution into acidic wastewater [25].

So, wastewater is a complex system of dissolved, colloidal and insoluble organic and mineral pollutants. The composition of industrial wastewater is very diverse and depends on the type of production and technical processes used. There are several methods of wastewater treatment: mechanical, physical, chemical, and biological. Mechanical wastewater treatment methods involve removing insoluble and partially colloidal impurities from water. Chemical methods of wastewater treatment include neutralization, oxidation, and reduction. Biological methods are considered the main way to treat wastewater from the oxidation of organic impurities. The physicochemical method is based on the electrolysis of water on an insoluble electrode and the flotation effect.

## References

1. Kehoe P. Scaling up onsite water recycling systems in the US. *Water Security*. 2023. Vol. 20. P. 100153. DOI: 10.1016/j.wasec.2023.100153.
2. Wu N., Zhang J., Gao X. Distribution and drivers for blue water dependence in crop production in China, 1999–2018. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 290. P. 108593. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108593.
3. Yan A., Chen Y. Monitoring and control of algal growth in the Shuangxikou Reservoir and drinking water source for possible management measures. *Desalination and Water Treatment*. 2023. Vol. 315. P. 627–636. DOI: 10.5004/dwt.2023.30046.

4. Zhang W. Calculation model and management system of WRCC based on grey water footprint calculation. *Desalination and Water Treatment*. 2023. Vol. 313. P. 266–278. DOI: 10.5004/dwt.2023.30026.
5. Yinglan A., Wang J., Zeng Q. Optimization of wetland water replenishment process based on the response of waterbirds in a semi-arid and cold region. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 156. P. 111142. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111142.
6. Wang B., Zhang J. Assessing the impact of changing environment on coal mining water use in China. *Water-Energy Nexus*. 2023. Vol. 6. P. 177–186. DOI: 10.1016/j.wen.2023.10.005.
7. Du W., Wang J., Zhao X. Algal or bacterial community: Who can be an effective indicator of the impact of reclaimed water recharge in an urban river. *Water Research*. 2023. Vol. 247. P. 120821. DOI: 10.1016/j.watres.2023.120821.
8. Wang J., Gao X. Evaluation of vegetation–water mutual suitability in Helong Region of the Loess Plateau. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 290. P. 108603. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108603.
9. Safavi N., Soltani J. Modifying physical supply and use tables (PSUTs) in the system of environmental-economic accounting (SEEA) for off-farm irrigation water management. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. Vol. 215. P. 108430. DOI: 10.1016/j.compag.2023.108430.
10. Wang Y., Xiao Y. Assessment of water quality ions in brackish water on drip irrigation system performance applied in saline areas. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 289. P. 108544. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108544.
11. Tang M., Li Y., Wang W. Risk assessment method of level-induced water scarcity in the city located along rivers: Application in Nanchang, China. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 157. P. 111256. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.111256.
12. Zheng C., Chen Y. Water transfer mechanisms and vapor flow effects in seasonally frozen soils. *Journal of Hydrology*. 2023. Vol. 627. P. 130401. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.130401.
13. Chaukura N., Moyo W., Kajau T.A. Low-cost ceramic filtration for point-of-use water treatment in low-income countries. *Water Security*. 2023. Vol. 20. P. 100145. DOI: 10.1016/j.wasec.2023.100145.
14. Chen H., He H. A study on urban household water consumption behavior under drought conditions. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 346. P. 118963. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118963.
15. Huang H., Zhuo L., Wang W. Resilience assessment of blue and green water resources for staple crop production in China. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 288. P. 108485. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108485.
16. Wang J., Zhou W., Zhao M. Water quality assessment and pollution evaluation of surface water sources: The case of Weishan and Luoma Lakes, Xuzhou, Jiangsu Province, China. *Environmental Technology & Innovation*. 2023. Vol. 32. P. 103397. DOI: 10.1016/j.eti.2023.103397.
17. Cao K., Liu X. Dynamic and harmonious allocation of irrigation water resources under climate change: A SWAT-based multi-objective nonlinear framework. *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 905. P. 167221. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167221.
18. Chen X., Xing H. Changes induced by multi-stage water stress on maize growth, water and nitrogen utilization and hormone signaling under different nitrogen supplies. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 290. P. 108570. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108570.
19. Zhang S., Wen X., Zhang R. An optimal allocation model based on the regional ecological water requirements and multi-water supply characteristics: A case study of Shandong Province, China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2023. Vol. 49. P. 101513. DOI: 10.1016/j.ejrh.2023.101513.
20. Zhu J., Stuetz R.M., Hamilton L. Odour management in drinking water systems fed by mixed water supplies. *Journal of Water Process Engineering*. 2023. Vol. 56. P. 104329. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104329.
21. Schreiner-McGraw A.P., Baffaut C. Quantifying links between topsoil depth, plant water use, and yield in a rainfed maize field in the U. S. Midwest. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 290. P. 108569. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108569.
22. Gao H., Yang L., Song X. Sources and hydrogeochemical processes of groundwater under multiple water source recharge condition. *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 903. P. 166660. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166660.
23. Willis T., Siu Y.L., Taylor A. An integrated climate and water resource climate service prototype for long term water allocation in the Upper Yellow River region of China. *Climate Services*. 2024. Vol. 33. P. 100445. DOI: 10.1016/j.cliser.2023.100445.
24. Song Y., Yan D. The suitability of isotopic methods in identifying water sources of a shallow-rooted herbaceous plant in a desert steppe. *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 902. P. 166072. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166072.
25. Bo L., Guan H., Mao X. Diagnosing crop water status based on canopy temperature as a function of film mulching and deficit irrigation. *Field Crops Research*. 2023. Vol. 304. P. 109154. DOI: 10.1016/j.fcr.2023.109154.

## СЕЗОННЕ ФОРМУВАННЯ ФІТОПЛАНКТОНУ НА РІЧЦІ СУХА СУРА

Фельдман Д.В., Дрегваль І.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Науки, 72, 49045, м. Дніпро

feldman\_d@365.dnu.edu.ua, dregigor24@gmail.com

Річковий фітопланктон, який формується на водотоку має часову мінливість, то дослідження що напроєлені виявлення сезонної різноманітності є досить актуальними і заслуговують уваги, особливо, якщо це стосується малих річок. Видове різноманіття також має сезонну мінливість і тому цікаві дані про наявність тих чи інших видів водоростей, і особливо домінуючих видів. Домінуючі види водоростей у різні сезони можуть змінюватись в залежності від комбінації певних умов навколишнього середовища. Особливо цікаво спостерігати розвиток фітопланктону на малих водотоках, де процеси впливу різних факторів мають швидкі прояви і сильно залежать від сезонності. В наших дослідженнях на малій річці Суха Сура в 2024 році вивчався антропогенний вплив, в залежності від сезону, може сильно змінювати умови навколишнього середовища, що проявляється у зменшенні видового різноманіття водоростей, а також наявністю міжрічних варіацій продуктивності фітопланктону в один і той же сезон, але в різні роки. За досліджуваний період спостерігалось зменшення видового складу водоростей до 9 видів. Серед домінуючих видів були *Microcystis aeruginosa*; *Scenedesmus quadricauda*; *Chlorella vulgaris*; *Cyclotella meneghiniana*. Аналіз за коефіцієнтом видової подібності Соренсена  $K_s = 0,785$  показав подібність видового різноманіття на різних ділянках водотока. Проведений кластерний аналіз показав, що ділянки з різним водотоком можуть мати і різний видовий склад фітопланктону. У цілому, як взимку, так і навесні домінували синьо-зелені, зелені та діатомові водорості, що пов'язано з евтрофікацією річки Суха Сура. За видовим складом фітопланктону у весняний період зберіглись види, які домінували у попередньому сезоні, також у досліджуваний період не було виявлено впливу стоків, що вплинуло на їх кількість у відносно чистих ділянках навесні було обмежено, також це період збільшення втрати стоку річки.

Таким чином, фітопланктону водотоку притаманна часова мінливість його різноманіття, яка за певних умов середовища зумовлює домінування тих чи інших видів. Ділянки з малим водотоком мають більш стабільний видовий склад фітопланктону ніж ділянки з більш швидким водотоком. Також кількісна мінливість фітопланктону пов'язана з розвитком в різні сезони року.

**Ключові слова:** фітопланктон, водорості, малі річки, продуктивність фітопланктону, водна екосистема.

### Seasonal formation of phytoplankton on the Sukha Sura River. Feldman D., Dregval I.

River phytoplankton, which is formed on the watercourse, has temporal variability, so studies aimed at identifying seasonal diversity are quite relevant and deserve attention, especially if it concerns small rivers. Species diversity also has seasonal variability and therefore interesting data on the presence of certain types of algae, and especially dominant species. Dominant species of algae in different seasons can change depending on the combination of certain environmental conditions. It is especially interesting to observe the development of phytoplankton on small watercourses, where the processes of influence of various factors have rapid manifestations and strongly depend on seasonality. Research was conducted in 2024 on the small Sukha Sura River, studying the dependence of anthropogenic impact on the season. Changes in environmental conditions were revealed, which is manifested in a decrease in the species diversity of algae, as well as the presence of interannual variations in phytoplankton productivity in the same season, but in different years. During the studied period, a decrease in the species composition of algae to 9 species was observed. Among the dominant species were *Microcystis aeruginosa*; *Scenedesmus quadricauda*; *Chlorella vulgaris*; *Cyclotella meneghiniana*. Analysis by the Sorensen species similarity coefficient  $K_s = 0.785$  showed the similarity of species diversity in different sections of the watercourse. The cluster analysis showed that sections with different watercourses may have different species composition of phytoplankton. In general, both in winter and spring, blue-green, green and diatom algae dominated, which is associated with eutrophication of the Sukha Sura River. According to the species composition of phytoplankton in the spring period, the species that dominated in the previous season were preserved, and in the studied period, the influence of runoff was not detected, which affected their number in relatively clean areas in the spring was limited, and this is also a period of increased loss of river runoff.

Thus, the phytoplankton of the watercourse is characterized by temporal variability of its diversity, which under certain environmental conditions determines the dominance of certain species. Areas with a small water flow have a more stable species composition of phytoplankton than areas with a faster water flow. Also, the quantitative variability of phytoplankton is associated with development in different seasons of the year. **Key words:** phytoplankton, algae, small rivers, phytoplankton productivity, aquatic ecosystem.

Формування водоростей на малих річках є однією з сучасних екологічних проблем, особливо коли спостерігається «цвітіння» води. Таке явище є негативним для водної екосистеми і може шкодити здоров'ю людини. Домінування одних видів водоростей над іншими призводить не тільки до «цвітіння» води, а також і до порушення функціонування водної еко-

системи. Особливо це стосується видів, які виділяють сильнодіючі токсини. Ці токсини роблять воду непридатною до споживання тваринами та використання її людиною. Розвиток водоростей погіршує рекреаційну привабливість водойми.

З кожним роком проблема «цвітіння» води загострюється внаслідок посилення антропогенного

впливу на водойму. Збільшення кількості надходження біогенних елементів на урбанізованих територіях є стимулом для масового розвитку водоростей. Також підвищення температури води та збільшення періодів посухи сприяє більш інтенсивнішому розвитку водоростей [1–3].

Тому дослідження розвитку фітопланктону є актуальним і необхідним для розробки більш ефективних методів контролю та запобігання масовому розвитку водоростей на водних об'єктах. Все це потребує глибокого розуміння розвитку окремих видів водоростей та їх екологічних особливостей, що впливають на якості води.

Дослідження розвитку водоростей на певній водоймі дозволяє виявити специфічні види, оцінити їх інтенсивність, масштаби та причини цього процесу. Аналіз цих процесів дозволить розробити конкретні рекомендації щодо попередження домінуючого розвитку певних водоростей та оздоровлення річки Суха Сура.

Основними природними очищувачами водойм є фітопланктон, тому що ці організми формують структурно-функціональні зв'язки на різних рівнях організації [4–7].

Метою роботи було встановлення наявності та поширення водоростей-збудників «цвітіння» в річці Суха Сура.

В наших дослідженнях використовувались польові (візуальне обстеження водойми, відбір проб води), лабораторні (підготовка проб, мікроскопічний аналіз проб води, ідентифікація видового складу водоростей), аналітичні (аналіз факторів «цвітіння» та розробка рекомендацій) методи досліджень.

Дослідження проводились на чотирьох ділянках річки Суха Сура (рис. 1).

За результатами наших досліджень 2024 року було виявлено видовий та кількісний склад фітопланктону річки Суха Сура, що перебували в річці в зимовий період та весняний період (табл. 1).

Також визначали індекс сапробності водотоку результати дослідження наведені у табл. 2.

Індекс сапробності зазвичай варіюється від 0 до 4, де:

0-1: олігосапробна зона (чиста вода)

1-2:  $\beta$ -мезосапробна зона (помірно забруднена вода)

2-3:  $\alpha$ -мезосапробна зона (забруднена вода)

3-4: полісапробна зона (сильно забруднена вода)

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що вода в річці Суха Сура на всіх досліджених ділянках та в досліджувані періоди відноситься до  $\beta$ -мезосапробної зони, тобто є помірно забрудненою.

Аналіз дослідження індексу видового різноманіття представлені в табл. 3.

Зростання значення індексу Шеннона відбувається як при збільшенні кількості видів, так і при збільшенні рівності між ними за кількістю зразків, тобто чим вище загальна кількість видів і частка тих із них, які представлені значною кількістю зразків, тим вище буде і індекс Шеннона.

При обрахуванні подібності різноманіття різних досліджуваних ділянок аналізувався коефіцієнт видової подібності Соренсена, який розраховувався за формулою:  $S = 2c/(a+b)$ , де  $a$  – кількість видів на першій ділянці;  $b$  – кількість видів на другій ділянці;  $c$  – кількість спільних видів і внутрішньовидових таксонів. За результатами наших досліджень коефіцієнт Соренсена  $K_s = 0,785$ , що більше 0,5, а це вказує на схоже різноманіття видів різних ділянок.

Далі ми досліджували подібності видового складу фітопланктону річки Суха Сура за допомогою кластерного аналізу. Результати кореляційного аналізу за Спірменом, як зимового періоду, так і весняного показав, що між ділянками 1 та 4 існує статистично значущий кореляційний зв'язок між параметрами  $p \leq 0,01$  ( $r = 0,97$ ). Також між ділянками 1 та 3 ( $r = 0,96$ ,  $r = 0,95$ ), 1 та 2 ( $r = 0,84$ ,  $r = 0,97$ ), 2 та 4 ( $r = 0,85$ ,  $r = 0,94$ ), 2 та 3 ( $r = 0,82$ ,  $r = 0,8$ ) спостерігались кореляційно значущі зв'язки між параметрами при  $p \leq 0,01$ .



Ділянка 1 - 48.453023, 34.588573

Ділянка 2 - 48.444749, 34.583110

Ділянка 3 - 48.456943, 34.578645

Ділянка 4 - 48.459930, 34.601035

Рис. 1. Ділянки взяття проб з річки Суха Сура

Таблиця 1

## Видовий та кількісний склад фітопланктону річки Суха Сура у досліджуваний період

| Вид                             | Ділянка 1        | Ділянка 2 | Ділянка 3 | Ділянка 4 |
|---------------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                 | Зима/весна, кл/л |           |           |           |
| <i>Microcystis aeruginosa</i>   | 97/210           | 149/248   | 84/183    | 120/222   |
| <i>Anabaena flos-aquae</i>      | 53/105           | 71/126    | 60/99     | 84/118    |
| <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> | 32/84            | 40/93     | 24/75     | 35/85     |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i>  | 84/153           | 62/131    | 70/140    | 90/166    |
| <i>Pediastrum boryanum</i>      | 45/94            | 30/88     | 54/107    | 45/96     |
| <i>Chlorella vulgaris</i>       | 202/302          | 179/296   | 220/322   | 190/290   |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i>  | 58/117           | 73/121    | 55/105    | 66/114    |
| <i>Staphauros hantzschii</i>    | 40/82            | 50/97     | 30/73     | 45/85     |
| <i>Aulacoseira granulata</i>    | 34/70            | 40/84     | 22/69     | 37/75     |

Таблиця 2

## Значення індекса сапробності водотоку Суха сура

| Період   | Ділянка 1 | Ділянка 2 | Ділянка 3 | Ділянка 4 | Середнє значення |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| Зимовий  | 1.94      | 2.01      | 1.90      | 1.97      | 1.96             |
| Весняний | 1.98      | 2.04      | 1.95      | 2.00      | 1.99             |

Таблиця 3

## Видове різноманіття водотоку Суха Сура за індексом Шеннона

| Період   | Ділянка 1 | Ділянка 2 | Ділянка 3 | Ділянка 4 | Середнє значення |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| Зимовий  | 1.998     | 2.020     | 1.931     | 2.038     | 1.997            |
| Весняний | 2.075     | 2.091     | 2.057     | 2.086     | 2.077            |

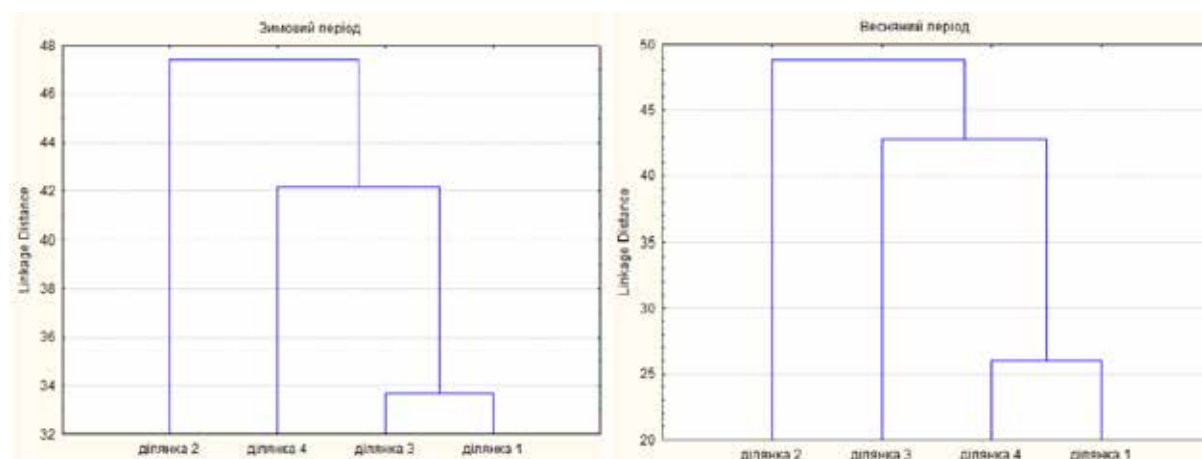


Рис. 2. Кластерний аналіз ділянок річки Суха Сура за видовим складом фітопланктону взимку та на весні 2024 р.

У наших дослідженнях основні види були присутні на всіх ділянках, тому вирахування подібності видового складу водоростей між різними місцями відбору застосовували індекс Жаккара, який розраховувався на основі відносної чисельності видів. На основі цього індексу був проведений кореляційний аналіз та побудована дендрограма.

На основі цих матриць нами був зроблений кластерний аналіз ділянок річки Суха Сура за видовим складом фітопланктону, який чітко ілюструє схожість ділянок річки (рис. 2).

У обидва сезони спостерігається дуже висока подібність між усіма ділянками відбору (всі значення індексу Жаккара вище 0,77), що вказує на

однорідність видового складу фітопланктону вздовж досліджуваної ділянки річки Суха Сура.

Ділянки 1 і 3 мають найвищу подібність у зимовий сезон, що може вказувати на схожі екологічні умови на цих ділянках. Навесні ділянки 1 і 4 вже мають більшу подібність порівняно з ділянками 2 і 3.

Ділянка 2 має найменшу подібність з іншими ділянками в обидва сезони, що може свідчити про деякі відмінності в умовах середовища в цій точці.

Навесні також найбільша ступінь схожості виявлена між ділянками 4 та 1, але значно впливала на схожість між ділянками також відстань між ділянками. Такі види, знайдені у гірлі річки, як *Melosira italica*, *Cocconeis placentula*, *Dictyosphaerium pulchellum*, безумовно слід вважати видами, не притаманними для фітопланктону річки. У цілому, навесні домінували синьо-зелені, зелені та діатомові водорості. Можливо таке домінування пов'язано з евтрофікацією річки Суха Сура [8, 9]. Таким чином, за видовим складом у весняний період збереглися види, які домінували у попередньому сезоні [9–11], також у весняний період не було виявлено впливу стоків і на це можливо дві причини: 1) завдяки малій кількості холодостійких масових видів, їх кількість у відносно чистих ділянках навесні було обмежено; 2) у цей період однозначно відчувається вплив річки внаслідок збільшення втрати стоку.

Подібність між різними ділянками дещо зростає у весняний період порівняно з зимовим, що може бути пов'язано з більш однорідними умовами в річці в теплу пору року. Загальна структура подібності між ділянками зберігається в обидва сезони, що вказує на стабільність просторового розподілу фітопланктону в річці Суха Сура [11].

Таким чином, якісний склад фітопланктону річки визначається значним видовим різноманіттям, в основному, за рахунок діатомових, зелених та синьо-зелених водоростей. Домінантами були види: *Microcystis aeruginosa*; *Anabaena flos-aquae*; *Scenedesmus quadricauda*; *Chlorella vulgaris*; *Cyclotella meneghiniana*. Ступінь їхнього розвитку залежала в першу чергу від гідрологічних особливостей ділянок річки або комунальними стічними водами.

Проводячи аналіз формування фітопланктону в умовах антропогенного забруднення водотоку виявлено, що значна частина видів водоростей є індикаторами органічного забруднення води. Аналіз на сапробність показує, що в водотоку Суха Сура склалася загрозлива ситуація з забруднення води, так як багато забруднювачів м. Кам'янське створюють

умови до розвитку водоростей. Серед водоростей можна виділити біоіндикатори, що представляють різні види – біоіндикатори від *c* – *o* – сапробних (найбільш чисті води) до *a* – мезо – та *r* – сапробних (найбільш забруднені води), але більшість біоіндикаторів належать до *b* – мезосапробів (помірно забруднені води).

Формування розвитку водоростей *Microcystis aeruginosa*, що відноситься до індикаторів *a* – мезосапробної зони, корелює із збільшенням видового різноманіття евгленових із роду *Euglena*, а це свідчить про забруднення певної ділянки водотоку та погіршення якості води річки. Наявність активного розвитку діатомових водоростей є показником погіршення якості води, яка стає непридатною до споживання.

Постійне антропогенне забруднення, зростання надходження органічних сполук спонукав появу та розвитку *Anabaena flos-aquae*, що є певним попередженням про накопичення токсинів, які є небезпечними для тварин та людини. Також простежується і в ретроспективному аналізі особливо за останні 20 років – при порівнянні співвідношення видів – біоіндикаторів і за нашими результатами, можна постежити розвиток і домінування певних видів водоростей. Якщо ще на початку минулого століття водорості, які відносяться до індикаторів *a* – мезосапробної зони зовсім не зустрічались, то вже в 60-і роки з'являються поодинокі види, а в 90-і роки їхня частка досягала 14% від загальної кількості видів – індикаторів сапробності [11, 12]. Таке збільшення пояснюється впливом стоків, які викликають збільшення концентрації у воді органічної речовини, підвищення температури, особливо в літній період, що і зумовило розвиток сапробіонтів в умовах повільного водотоку.

Таким чином, фітопланктону водотоку притаманна часова мінливість його різноманіття, яка за певних умов середовища зумовлює домінування тих чи інших видів. Зміна кліматичних умов, підвищення температури навколишнього середовища, сприяє розвитку видів водоростей, які є більш токсичними та небезпечними для тварин і людини. Тож кількісна мінливість фітопланктону пов'язана з розвитком в різні сезони року.

Дослідження малих водотоків можуть покращити розуміння щодо розвитку та реакції фітопланктону на зміни навколишнього середовища, а також допоможуть більш ефективно впливати на евтрофікацію та відновлення водних екосистем.

### Література

1. Афанасьев С.О. Проблемы и развитие исследований экологического статуса гидросистем Украины в аспекте имплементации директив ЕС в галузі довкілля. *Гідробіологічний журнал*. 2018. 54. № 6. С. 3–17. <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000953097>
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 758 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-п> (поточна редакція від 06.09.2024 № 1071).

3. Проект Стратегії сталого розвитку України до 2030 року. Проект Закону України від 07.08.2018 № 9015. URL: [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=64515](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=64515)
4. Deng J., Qin B., Sarvala J. et al. Phytoplankton assemblages respond differently to climate warming and eutrophication: a case study from Pyhäjärvi and Taihu. *Journal of Great Lakes Research*. 2016. Vol. 42, № 2. P. 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.12.008>.
5. Shelyuk Yu.S., Shcherbak V.I. Phytoplankton Structural and Functional Indices in the Rivers of the Pripjat' and Teterev Basins. *Hydrobiological Journal*. 2018. Vol. 54. № 3. P. 10–23. DOI: 10.1615/HydrobJ.v54.i3.20 <https://www.dl.begellhouse.com/journals/38cb2223012b73f2,21e3612a66713642,4eb9221c45b67bb1.html>
6. Shelyuk Yu.S. Peculiarities of Phytoplankton Formation and Functioning in Small Water Reservoirs. *International Journal on Algae*. 2024. № 26 (3). P. 273–284. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v26.i3.50 <https://www.dl.begellhouse.com/ru/references/7dd4467e7de5b7ef,3f0eed2660a27eda,3e8c8771718e829a.html>
7. Shelyuk Y.S., Astahova L.Y. Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosystems Diversity*. 2021. № 29 (2). P. 119–128. <https://doi.org/10.15421/012116>.
8. Chang, CW., Miki, T., Ye, H. et al. Causal networks of phytoplankton diversity and biomass are modulated by environmental context. *Nat Commun*. 2022. Vol. 13, 1140. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28761-3>
9. Kaneko, H., Endo, H., Henry, N. et al. Predicting global distributions of eukaryotic plankton communities from satellite data. *ISME Communications*. 2023. Vol. 3, № 1, P. 101. <https://doi.org/10.1038/s43705-023-00308-7>
10. Moutier, W., Duforêt-Gaurier, L., Thyssen, M. et al. Evolution of the scattering properties of phytoplankton cells from flow cytometry measurements. *PloS one*. 2017. Vol. 12, № 7: e0181180. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181180>
11. Chang, CW., Miki, T., Ye, H. et al. Author Correction: Causal networks of phytoplankton diversity and biomass are modulated by environmental context. *Nat Commun*. 2022. Vol. 13, № 5872. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33702-1>
12. Skouroliaou, D.-I., Breton, E., Christaki, U. Phaeocystis globosa and diatom blooms promote distinct bacterial communities and associations in a coastal ecosystem. *Environmental Microbiology Reports*. 2024. Vol. 16, № 4: e13313. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.13313>



## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ В РЕЗЕРВУАРАХ

Голота В.В.

Національний університет цивільного захисту України  
вул. Онопрієнка, 8, 18000, м. Черкаси  
[pechdsns@ukr.net](mailto:pechdsns@ukr.net)

Транспортування нафтопродуктів створює серйозні загрози для навколишнього середовища, оскільки будь-який витік або аварія можуть спричинити значне забруднення поверхневих водних об'єктів та підземних вод, ґрунтів, а також атмосферного повітря. Для зниження екологічних ризиків, що супроводжують транспортування нафти та нафтопродуктів, необхідно розробляти та впроваджувати сучасні технології захисту навколишнього природного середовища, яка включає використання сучасних запобіжних систем та заходів, такі як матеріали для побудови трубопроводів, контроль стану транспортних засобів, систем моніторингу та аварійні системи перекриття витоків та відновлювальні технології для ліквідації наслідків аварій. Також слід відмітити головною складовою є дотримання міжнародних екологічних стандартів, які регулюють транспортування небезпечних речовин. Важливими вимогами є герметичність резервуарів, справність транспорту, перевірки обладнання та методів зберігання перед транспортуванням. В роботі було проведено аналіз аварій на резервуарах зберігання нафтопродуктів при транспортуванні та оцінка впливів нафтопродуктів на навколишнє природне середовище при різних умовах транспортування. При аналізі нормативно-правової бази визначено важливі документи, які регламентують зберігання та транспортування нафтопродуктів. В роботі було визначено можливі небезпеки від процесу транспортування нафтопродуктів в резервуарах, що дасть змогу запропонувати комплекс заходів із попередження та мінімізації впливів нафтопродуктів на навколишнє природне середовище. Було розроблено Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за станом резервуарів для зберігання нафтопродуктів при транспортуванні, який враховує потенційні загрози впливу на навколишнє природне середовище, що дозволить зменшити та попередити негативні впливи на навколишнє природне середовище від процесу транспортування нафтопродуктів в резервуарах. *Ключові слова:* екологічна безпека, резервуари нафтопродуктів, навколишнє середовище, транспортування нафтопродуктів.

### Ensuring conditions for environmentally safe petroleum products transportation in tanks. Holota V.

The petroleum products transportation causes serious threats to the environment, since any spill or accident could cause significant pollution of surface water bodies and groundwater, soils, as well as atmospheric air. In order to reduce the environmental risks accompanying the oil and petroleum products transportation, it is necessary to develop and implement modern environmental protection technologies, which includes the use of modern safety systems and measures, such as materials for the pipelines construction, control of the vehicles condition, monitoring systems and emergency closure systems leaks and restorative technologies to eliminate the accident consequences. It should also be noted that the main component is compliance with international environmental standards that regulate the hazardous substances transportation. Important requirements are tightness of tanks, transport serviceability, checks of equipment and storage methods before transportation. The paper analyzed accidents at petroleum product storage tanks during transportation and assessed the petroleum products impact on the environment under different transportation conditions. The analysis of the regulatory framework identified important documents that regulate the storage and transportation of petroleum products. The paper identified possible dangers from the oil products transporting process in tanks, which will make it possible to propose a set of measures to prevent and minimize the effects of oil products on the environment. An Action Algorithm has been developed during the monitoring of the state of storage tanks for petroleum products during transportation, which takes into account potential threats to the environment, which will allow to reduce and prevent negative impacts on the surrounding environment from the process of petroleum products transportation in tanks. *Key words:* environmental safety, petroleum product tanks, environment, petroleum products transportation.

**Постановка проблеми.** Транспортна система є основною ланкою процесу постачання нафтопродуктів, таких як нафта та нафтопродукти. Ці енергоносії забезпечують роботу транспортної інфраструктури, енергетичних об'єктів, промислових підприємств, та інших секторів, що є важливими для сталого розвитку країни. Разом із їхньою важливістю для розвитку економіки, транспортування нафтопродуктів створює серйозні загрози для навколишнього середовища, оскільки будь-який витік або аварія можуть спричинити значне забруднення

поверхневих водних об'єктів та підземних вод, ґрунтів, а також атмосферного повітря.

Актуальність даного питання стає на фоні сучасних глобальних екологічних викликів, таких як зміна клімату, забруднення природного середовища та деградація екосистем. Відповідно до цього, питання екологічно безпечного транспортування нафтопродуктів набуває все більшого значення. З досвіду минулих екологічних катастроф, аварії під час транспортування нафтопродуктів можуть мати масштабні наслідки, які проявляються не лише у вигляді

значних економічних втрат, а й у руйнуванні екосистем та загрозах для здоров'я людей.

В основному використовуються кілька основних методів транспортування нафтопродуктів: трубопровідний транспорт, морські танкери, залізничний транспорт та автомобільні цистерни. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки з точки зору екологічної безпеки. Наприклад, морські танкери, які часто використовуються для міжнародних перевезень нафти, створюють ризики забруднення, особливо у разі аварій або недотримання правил безпеки. Трубопроводи зручні тим, що можуть перевозити великі обсяги, але вразливі до корозії, технічних несправностей і зовнішніх факторів, що може призвести до витоків. Автомобільний та залізничний транспорт, незважаючи на гнучкість у доставці на короткі відстані, можуть бути менш безпечними через ризик аварій у місцях скупчення транспорту.

Для зниження екологічних ризиків, що супроводжують транспортування нафти та нафтопродуктів, необхідно розробляти та впроваджувати сучасні технології захисту навколишнього природного середовища, яка включає використання сучасних запобіжних систем та заходів, такі як матеріали для побудови трубопроводів, контроль стану транспортних засобів, систем моніторингу та аварійні системи перекриття витоків та відновлювальні технології для ліквідації наслідків аварій. Також слід відмітити головною складовою є дотримання міжнародних екологічних стандартів, які регулюють транспортування небезпечних речовин. Важливими вимогами є герметичність резервуарів, справність транспорту, перевірки обладнання та методів зберігання перед транспортуванням.

На сьогоднішній день, безпечне транспортування відбувається завдяки інформаційно-комунікаційним технологіям, що дозволяють проводити моніторинг у реальному часі за станом трубопроводів, танкерів і цистерн. Автоматизовані системи контролю можуть значно підвищити рівень екологічної безпеки та забезпечити своєчасне виявлення і усунення аварійних ситуацій.

Таким чином, екологічно безпечне транспортування нафтопродуктів є важливою складовою глобальної енергетичної системи, що вимагає системного підходу до управління екологічними ризиками, впровадження нових технологій і дотримання міжнародних стандартів.

В статті розглядаються сучасні технології та методи транспортування, що забезпечують екологічну безпеку, аналізується міжнародний досвід у сфері регулювання цих процесів, а також оцінюються перспективи впровадження інноваційних рішень у транспортній галузі.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Визначити можливі небезпеки від процесу транспортування нафтопродуктів в резервуарах, що

дасть змогу запропонувати комплекс заходів із попередження та мінімізації впливів нафтопродуктів на навколишнє природне середовище.

2. Розробити Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за станом резервуарів для зберігання нафтопродуктів при транспортуванні, який враховує потенційні загрози впливу на НПС, що дозволить зменшити та попередити негативні впливи на навколишнє природне середовище від процесу транспортування нафтопродуктів в резервуарах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Стандарти і закони є важливими для забезпечення безпеки під час перевезення та зберігання нафтопродуктів, оскільки вони знижують ризики для людей, майна та навколишнього середовища.

В ДСТУ 7688:2015 «Нафтопродукти. Загальні вимоги до експлуатаційної безпеки» визначено загальні вимоги до безпечного зберігання, транспортування та використання нафтопродуктів [1].

В ДСТУ 4454:2005 «Нафта і нафтопродукти. Маркування, упаковка, транспортування і зберігання» встановлено правила маркування, пакування, транспортування та зберігання нафтопродуктів, а також їх вимоги до безпеки [2].

В ДСТУ 3437-96 «Нафтопродукти. Терміни та визначення» [3]. та ДСТУ 3464-96 «Авіаційні палива, оливи, мастильні матеріали і технічні рідини. Організація і правила контролю якості. Загальні положення» [4] визначено основні терміни.

*В роботі розглянуто інші державні стандарти України, такі, як ДСТУ 4454:2005 Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання* Режим доступу: [5], ДСТУ 4345:2004 Нафтопродукти. Палива рідкі. Номенклатура показників якості [6] щодо умов зберігання та транспортування нафтопродуктів.

В законі України «Про перевезення небезпечних вантажів» визначено загальні положення про порядок перевезення небезпечних вантажів, до яких належать нафтопродукти, і встановлює вимоги до транспортування, зокрема щодо упаковки, маркування, документального супроводу та безпеки [7].

В законі України «Про охорону навколишнього природного середовища» містить положення, які стосуються захисту довкілля під час перевезення небезпечних вантажів, включаючи нафтопродукти. Відповідно до закону, всі заходи з транспортування мають мінімізувати вплив на довкілля [8].

Проаналізувавши нормативні акти, закони та стандарти, які є життєво важливими для створення чіткої системи управління ризиками, що підвищує безпеку перевезень, знижує шкоду довкіллю та сприяє екологічно відповідальному використанню нафтопродуктів, було визначено перелік нормативних документів які регламентують та визначають вимоги щодо екологічно безпечного транспортування нафтопродуктів в резервуарах.

Під час транспортування нафтопродуктів можуть виникнути небезпечні екологічні загрози, і в тому числі можливі випадки аварій та витоків. Яскравими прикладами екологічних катастроф є:

1. Розлив нафти з танкера Ексон Вальдес що сталася 24 березня 1989 року в затоці Принца Вільгельма, спричинивши масштабне забруднення узбережжя Аляски та призвела до розливу близько 40 мільйонів літрів сирої нафти [9].

2. Вибух нафтової платформи «Deepwater Horizon» – техногенна катастрофа, яка сталася 20 квітня 2010 р. за 80 км від узбережжя штату Луїзіана в Мексиканській затоці, що призвів до виливу нафти і значного впливу на екосистему затоки [10].

Ці та інші випадки показали, що навіть незначна аварія під час транспортування нафтопродуктів може мати масштабні екологічні, економічні та соціальні наслідки. Втрата біорізноманіття, загибель морських і наземних екосистем, шкода для здоров'я людей і величезні економічні втрати – це тільки частина негативних наслідків, які можуть виникати внаслідок таких інцидентів.

Вивченням умов екологічно безпечного транспортування нафтопродуктів у резервуарах досліджували різні науковці з метою мінімізації впливу на навколишнє середовище та підвищення безпеки при транспортуванні. Нижче наведені вчені та дослідники, які внесли значний внесок у цю сферу.

В роботах Серікової О.М. досліджено стаціонарні резервуари зберігання нафтопродуктів при сейсмічних навантаженнях, проведено прогнозування можливих витоків, враховуючи природні й техногенні фактори, запропоновано заходи щодо підвищення рівня екологічної безпеки процесу зберігання нафтопродуктів. [11-16] Але не розглянуто впливи нафтопродуктів на довкілля при транспортуванні. Чіккам, А.К., Ларкін, Е., Петрина, Д.Ю. та інші оцінювали ризик корозії резервуарів [17-18]. У наукових роботах Zhang X [19], S. Wilson [20], L.A. Godoy [21], Islamovic F. [22], Jaca R.C. [23,24] представлено оцінку впливу резервуарів для зберігання нафтопродуктів на навколишнє природне середовище та моніторингу зміни герметичності колекторів, швидкості руйнування їх структури під дією техногенних і природних факторів. Актуальним є дослідження транспортування нафтопродуктів по трубах в роботах Peysson, Y., Bensakhria, A., Perry, G., Ashrafizadeh SN [25-28].

**Метою дослідження** є аналіз ключових екологічних загроз, що виникають під час транспортування нафтопродуктів та розробка заходів щодо їх мінімізації.

**Новизна.** Удосконалено науково-практичні підходи до оцінки впливу нафтопродуктів на навколишнє природне середовище при їх зберіганні та транспортуванні в резервуарах.

**Матеріали та методи дослідження.** Основними із застосованих методів були такі, як аналіз літературних даних щодо вирішення досліджуваної проблеми, системний аналіз щодо розроблення і обґрун-

тування наукових підходів до зниження впливу на навколишнє природне середовище, які можуть виникнути під час транспортування нафтопродуктів.

В роботі було розроблено Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за станом резервуарів для зберігання нафтопродуктів при транспортуванні (Рис. 1), який враховує погодні умови – температура, тиск, вологість, швидкість вітру.

Даний алгоритм відрізняється від існуючих тим, що він враховує можливі загрози при порушенні герметичності резервуара при транспортуванні. Основний акцент ставиться на прогнозуванні можливих змін стану резервуара при втратах рідин під час транспортування.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Алгоритм враховує як природні фактори (погодні умови: зміна температури, кількість опадів, сезон року, вітрові навантаження; агресивне середовище), так і техногенні (дорожнє покриття, вид транспорту, вібраційні навантаження, умови експлуатації резервуара та транспортного засобу, термін експлуатації резервуара, швидкість руху, зупинки та інш.), та дає змогу враховувати прогнози втрат рідин і визначати необхідність та доцільність впровадження технічних і управлінських заходів.

Для запобігання можливим загрозам, аваріям використовуються ряд заходів щодо перевірки герметичності та втрат рідини, які при порушеннях призводять до відповідних управлінських рішень [29-31].

Управлінські заходи щодо забезпечення екологічно безпечних умов транспортування нафтопродуктів включають:

- встановлення нових датчиків контролю рідини;
- моніторинг стану резервуара;
- режим руху та маршрут транспорту;
- технічний огляд транспортного засобу;
- врахування погодних умов при транспортуванні нафтопродуктів;
- інструктаж персоналу, що обслуговує транспортний засіб і резервуар;
- підбір матеріалів резервуарів зберігання нафтопродуктів.

Технічні заходи:

- Встановлення та своєчасна заміна засобів контролю за резервуаром та рідиною;
- модифікація конструкції резервуарів за необхідністю;
- підбір клапанів для підвищення герметизації резервуара;
- підбір антикорозійного захисту резервуара;
- вібраційний моніторинг конструкції резервуара;
- підбір матеріалів для ущільнення та мінімізації витоків;
- підбір матеріалів резервуара.

В статті було визначено можливі небезпеки від процесу транспортування нафтопродуктів в резерву-

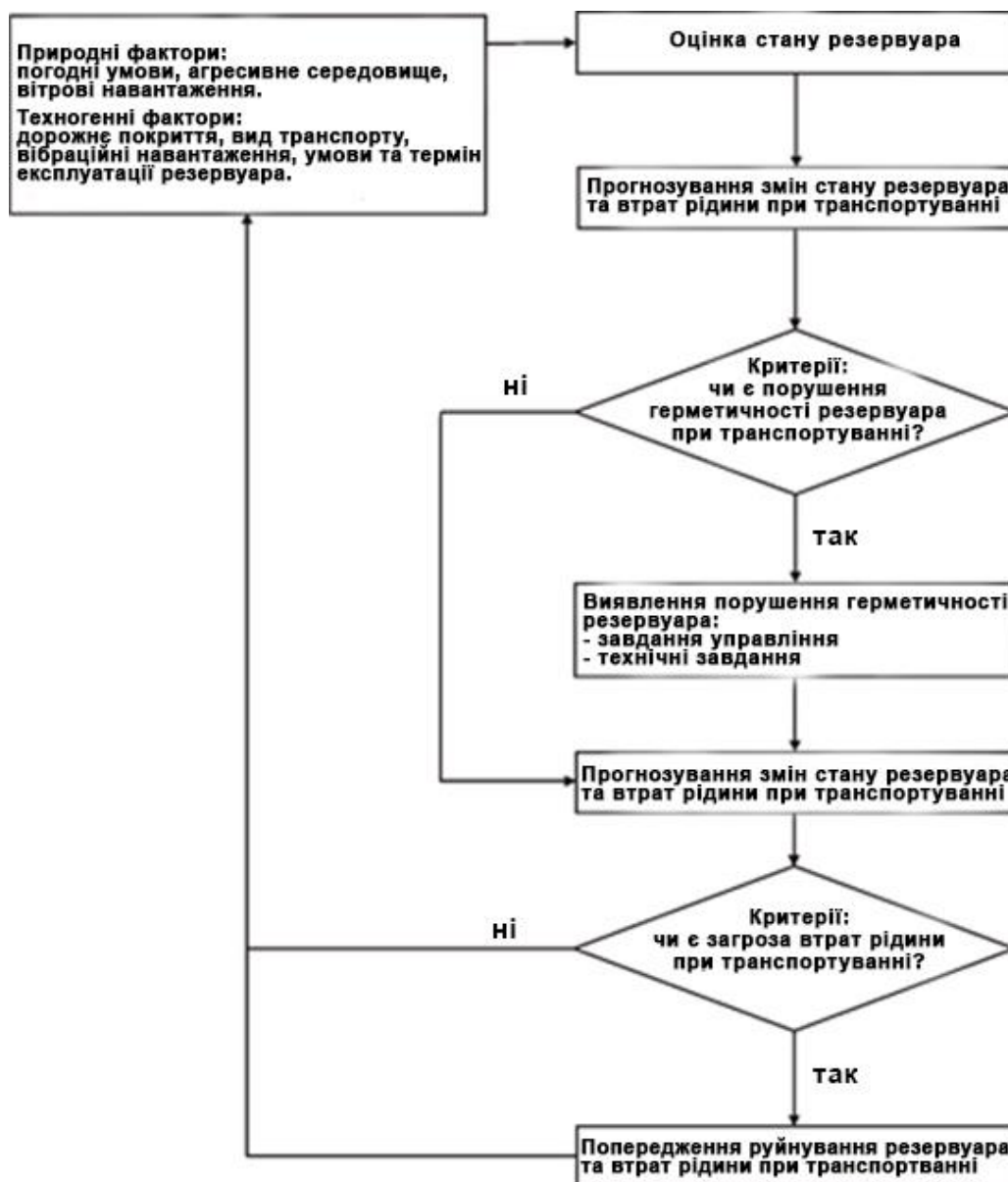


Рис. 1. Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за станом резервуарів для зберігання нафтопродуктів при транспортуванні

арах, що дасть змогу запропонувати комплекс заходів із попередження та мінімізації впливів нафтопродуктів на навколишнє природне середовище. Було розроблено Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за станом резервуарів для зберігання нафтопродуктів при транспортуванні, який враховує потенційні загрози впливу на НПС, що дозволить зменшити та попередити негативні впливи на навколишнє природне середовище від процесу транспортування нафтопродуктів в резервуарах.

**Головні висновки.** Було проведено аналіз аварій на резервуарах зберігання нафтопродуктів при транспортуванні та оцінка впливів нафтопродуктів на навколишнє природне середовище при різних умовах транспортування. При аналізі нормативно-правової бази визначено важливі документи,

які регламентують зберігання та транспортування нафтопродуктів. Розроблено алгоритм дій у ході проведення моніторингу за станом резервуарів для зберігання нафтопродуктів при транспортуванні, який враховує потенційні загрози впливу на навколишнє природне середовище, який забезпечить умови екологічно безпечного транспортування нафтопродуктів в резервуарах.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати досліджень можуть бути використані для підвищення рівня екологічної безпеки зберігання та транспортування нафтопродуктів в резервуарах шляхом забезпечення умов їх безаварійної експлуатації, для розвитку нових технологій та методів зниження техногенного впливу на довкілля від таких об'єктів.

## Література

1. Паливо дизельне Євро. Технічні умови. ДСТУ 7688:2015. Чинний від 2015–05–28. К.: ДП «УкрНДНЦ». 2015. 18 с.
2. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання: ДСТУ 4454:2005. К.: Держспоживстандарт України. 2006. 139 с.
3. Нафтопродукти. Терміни та визначення: Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 17.10.1996. ДСТУ 3437-96 № 428. 1996. URL: [https://budstandart.ua/normativdocument.html?id\\_doc=68722](https://budstandart.ua/normativdocument.html?id_doc=68722);
4. Авіаційні палива, оливи, мастильні матеріали і технічні рідини. Організація і правила контролю якості. Загальні положення: Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 28.05.2000. № 523. URL: [https://budstandart.ua/normativ-document.html?id\\_doc=64132](https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=64132)
5. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання. ДСТУ 4454:2005. 2005.
6. Нафтопродукти. Палива рідкі. Номенклатура показників якості: ДСТУ 4345:2004. К.: Управління Держспоживстандарту, 2006. 18 с.
7. Про перевезення небезпечних вантажів. Закон України від 6 квітня 2000 р. (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2000, № 28, ст. 222) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1644-14#Text>
8. Про охорону навколишнього природного середовища: закон України від 25 червня 1991 року № 1264-XII. Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. Ст. 546.
9. Iman C., Ganaie Q. A., Saini G. The Exxon Valdez Oil Spill: A Review. *International Journal of Technical Innovation in Modern Engineering & Science (IJTIMES)*. 2019. Vol. 5. Sp.Is. 04. P. 220–223.
10. Hazen, T.C., E.A. Dubinsky, T.Z. DeSantis, G.L. Andersen, Y.M. Piceno, N. Singh, J.K. Jansson, A. Probst, S.E. Borglin, J.L. Fortney, and others. Sea oil plume enriches indigenous oil-degrading bacteria. 2010. *Science* 330. P. 204–207, <https://doi.org/10.1126/science.1195979>
11. Sierikova O., Koloskov V., Degtyarev K., Strelnikova E. Improving the Mechanical Properties of Liquid Hydrocarbon Storage Tank Materials. *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. 2022. Vol. 1068. P. 223–229. doi:10.4028/p-888232;
12. Sierikova O., Strelnikova E., Gnitko V., Tonkonozhenko A., Pisia L. Nanocomposites Implementation for Oil Storage Systems Electrostatic Protection. *Conf. Proc. of Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – ICTM-2021*. Synergetic Engineering Springer Nature Switzerland AG 2022 M. Nechiporuk et al. (Eds.): ICTM 2021. 2022. LNNS 367. P. 573–585. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_49)
13. 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
14. 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>
15. Серікова О.М. Підвищення рівня екологічної безпеки території, прилеглої до місць розташування резервуарів рідких вуглеводнів. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*, 14(2/2023). Харків. 2023. С. 50–57. DOI: 10.52363/2522-1892.2023.2.6
16. 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.eco.6-51.21>
17. Zee, M., Chikkam, A. K., Larkin, E., Taheri, P., Rezaie, A., Campbell, A. Corrosion risk assessment, failure analysis and corrosion mitigation for aboveground storage tanks and case histories. *Corrosion* 2019. Nashville, Tennessee, USA: NACE International. 2019.
18. Petryna D.Y., Hohol' V.M., Petryna Y.D. et al. Corrosion and Corrosion-Mechanical Fracture of the Steel of Crude-Oil Tanks. *Mater Sci* 51. 2016. P. 666–672. <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9889-1>
19. Zhang X., Tang W., Zhang Q., Wang T. et al. Hydrodeoxygenation of lignin-derived phenolic compounds to hydrocarbon fuel over supported Ni-based catalysts. *Applied Energy*. 2018. Vol. 227. P. 73–79. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.078
20. Wilson S., Zhang H., Burwell K., Samantapudi A., Dalemarr L., Jiang C., Rice L., Williams E., Naney C. Leaking Underground Storage Tanks and Environmental Injustice: Is There a Hidden and Unequal Threat to Public Health in South Carolina *Environ. Justice* 6. P. 175–182.
21. Godoy L.A., Jaca R.C., Ameijeiras M.P. On buckling of oil storage tanks under nearby explosions and fire in Fingas, M. (Ed.): *Storage Tank Spills: Preventative Design, Causes, Case Histories*. 2021. Chapt. 2.6. P. 199–259.
22. Islamovic F., Gaco Dž., Hodzic D., Bajramovic E. Determination of stress-strain state on elements of cylindrical tank structure. *Proc. of 9th International scientific conference on defensive technologies*. OTEH 2020, October 8–9. Belgrade, Serbia. 2020. P. 1–6.
23. Jaca R.C., Godoy L.A., Calabro H.D., Espinosa S.N. Thermal post-buckling behavior of oil storage tanks under a nearby fire. *Int. J. Pressure Vessels and Piping*. 2021. Vol. 189, N 1. P. 104289.
24. Jaca R.C., Godoy L.A., Calabro H.D., Espinosa S.N. Thermal post-buckling behavior of oil storage tanks under a nearby fire. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2021. 189 (2). P. 1–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104289>
25. Peysson Y., Bensakhria A., Antonini G., Argillier J.F. Pipeline lubrication of heavy oil: experimental investigation of flow and restart problems. *SPE Prod & Oper*. 2007. 22 (01). P. 135–140. <https://doi.org/10.2118/97764-PA>.
26. Perry G. Method of Shear Heating of Heavy Oil Transmission Pipelines. Canadian Patent Application 2524542. 2007.
27. Ashrafizadeh SN, Kamran M. Emulsification of heavy crude oil in water for pipeline transportation. *J Pet Sci Eng*. 2010. 71. P. 205–211.
28. Shi L., Shuai J., Xu K. Fuzzy fault tree assessment based on improved AHP for fire and explosion accidents for steel oil storage tanks. *Journal of hazardous materials*. 2014. Vol. 278. P. 529–538. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.034>.

- 
29. Tadros, A. F. F. Environmental aspects of petroleum storage in above ground tank. *E3S Web of Conferences The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020)*. 2020. Vol. 166, 01006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016601006> ICSF 2020.
  30. Choudhary N., Kumar N., Strelnikova E., Gnitko V., Kriutchenko D., Degtyariov K. Liquid vibrations in cylindrical tanks with flexible membranes. *Journal of King Saud University, Science*. 2021. Vol. 33, no. 8, 101589. [doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101589](https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101589).
  31. Ramirez O., Mesa A., Zuluaga S., Munoz F., Sanchez-Silva M., Salzano E. Fragility Curves of Storage Tanks Impacted by Strong Winds. *Chemical Engineering Transactions*. 2019. Vol. 77. P. 91–96.

УДК 621.311.25:504.453

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.40>

## ОЦІНКА СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН ПРИ ФОРМУВАННІ ВОДНОГО СКИДУ ЗВОРОТНИХ ВОД ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Кузнєцов П.М., Бєдункова О.О.

Національний університет водного господарства та природокористування  
вул. Соборна, 11, 33028, м. Рівне  
[p.m.kuznietsov@nuwm.edu.ua](mailto:p.m.kuznietsov@nuwm.edu.ua), [o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua](mailto:o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua)

Атомні електростанції (АЕС) широко використовують оборотні системи охолодження (ОСО), де вода багатократно циркулює, відводячи теплове навантаження в атмосферу через градирні або у водойми. В процесі експлуатації ОСО утворюються завислі речовини (ЗР), що негативно впливають на ефективність теплообміну обладнання. Ефекти впливу ЗР на природні водні об'єкти (ПВО) включають фізичні, хімічні та біологічні ефекти впливу, що обумовлено факторами: концентрації, тривалість впливу та хімічним і гранулометричним складом ЗР. ЗР у ПВО поділяються на органічні та мінеральні складники, а їх концентрація прямо впливає на каламутність і прозорість води. Методи водопідготовки, такі як вапнування, дозволяють знизити утворення накипу в ОСО, але призводять до зміни хімічного складу води та збільшення концентрації ЗР.

Метою дослідження було визначення закономірностей формування хімічного та гранулометричного складу ЗР, їх седиментаційної стійкості та впливу на екологічні показники скидних зворотних вод (СЗВ). Об'єктом дослідження є ЗР вод річки Стир та ОСО Рівненської АЕС (РАЕС). Завданнями дослідження було визначити хімічний та гранулометричний склад ЗР, дослідити вплив вапнування на склад ЗР та їх осаджувані властивості, оцінити швидкість седиментації ЗР у тракті ОСО, визначити рівень впливу ЗР у СЗВ на якість ПВО.

Було проведено комплексний аналіз води річки Стир та ОСО РАЕС, який включав хімічний та гранулометричний аналіз, мікроскопіювання ЗР, а також оцінку седиментаційних характеристик ЗР. Результати показують, що вапнування збільшує вміст ЗР до 70% і змінює їх хімічний склад, знижуючи частку органічних речовин і кремнію, але збільшуючи вміст кальцієвих сполук. У тракті ОСО спостерігається агломерація ЗР, що сприяє їх седиментації. СЗВ містять ЗР, максимальна фракція яких сягає 120–150 мкм, час осадження варіює в межах від 50 до 120 хв. Вода річки Стир після скиду СЗВ відповідає екологічним нормативам, а її екологічна якість за значенням концентрації ЗР класифікується як II клас, 2 категорії та за станом є «добрі» і за чистотою є «дуже добрі». Це свідчить про мінімальний вплив СЗВ ОСО на стан ПВО. Отримані дані дозволяють оптимізувати ефективність ОСО, мінімізуючи екологічні ризики водного скиду для ПВО. *Ключові слова:* завислі речовини (ЗР), оборотні системи охолодження (ОСО), якість води, скидні зворотні води (СЗВ), природні водні об'єкти (ПВО).

### **Assessment of the composition and properties of suspended solids in the formation of water discharge of power plant wastewater. Kuznietsov P., Biedunkova O.**

Nuclear power plants (NPP) extensively utilise recirculating cooling systems (RCS), wherein water is repeatedly circulated, thereby extracting heat load from the atmosphere through cooling towers or into water bodies. During the operation of the RCS, suspended solids (SS) are formed, which have a detrimental effect on the efficiency of heat exchange of the equipment. The impact of SS on natural water bodies (NWB) encompasses physical, chemical, and biological effects, which are influenced by the following factors: concentration, duration of exposure, and the chemical and particle size distribution of the SS. The SS in the NWB are categorised into organic and mineral components, and their concentration directly affects the turbidity and transparency of water. Water treatment methods, such as liming, have been shown to reduce scale formation in RCS; however, they can also lead to alterations in the chemical composition of water and an increase in the concentration of SS.

The objective of the present study was to ascertain the patterns of formation of the chemical and particle size distribution of AS, their sedimentation stability, and their impact on the environmental parameters of wastewater discharge (WWD). The subject of the study is the SS of the Styr River and the Rivne NPP (RNPP) effluent. The objectives of the study were threefold: firstly, to determine the chemical and particle size distribution of the SS; secondly, to investigate the effect of liming on the SS composition and its settling properties; thirdly, to assess the SS sedimentation rate in the RCS pathway; and finally, to determine the level of SS impact on the quality of the NWB.

A comprehensive analysis of the water of the Styr River and RNPP RSC was carried out, including chemical and particle size analysis, microscopy of the SS, and assessment of the sedimentation characteristics of the SS. The results show that liming increases the content of SS up to 70% and changes its chemical composition, reducing the proportion of organic matter and silicon, but increasing the content of calcium compounds. Agglomeration of SS is observed in the OSO tract, which contributes to their sedimentation. RSC contains SS with a maximum fraction of 120-150 µm, and the time of deposition varies from 50 to 120 minutes. The water of the Styr River after discharge of WWD meets environmental standards, and its environmental quality is classified as Class II, Category 2, and is 'good' in terms of the concentration of SS and 'very good' in terms of its condition and purity. This indicates a minimal impact of the RSC WWD on the state of NWB. The obtained data allow optimising the efficiency of the RSC, minimising the environmental risks of water discharge for NWB. *Key words:* suspended solids (SS), recirculating cooling systems (RCS), water quality, wastewater discharge (WWD), natural water bodies (NWB).

**Постановка проблеми.** Оборотні системи охолодження (ОСО) атомних електростанцій (АЕС) є ключовим елементом у забезпеченні їхньої безпечної та ефективної експлуатації. В процесі роботи ОСО у воді накопичуються завислі речовини (ЗР), що утворюються внаслідок хімічних процесів водопідготовки та технологічних процесів експлуатації. Підвищена концентрація ЗР у технологічних водах ОСО спричиняє забруднення теплообмінного обладнання та впливає на екологічні показники якості скидних зворотних вод (СЗВ). *Метою роботи є* встановлення закономірностей формування гранулометричного та хімічного складу ЗР, що утворюються внаслідок вапнування води для ОСО Рівненської АЕС (РАЕС), оцінка їх седиментаційної стійкості та впливу на якість СЗВ. Досягнення мети передбачало вирішення ряду завдань щодо відстеження характеристик ЗР у складі скидних зворотних вод РАЕС (рис. 1).

Термін ЗР означає масу (мг) або концентрацію (мг/дм<sup>3</sup>) неорганічної та органічної речовини, яка утримується у товщі води водного об'єкту [1]. Усі потоки природних водних об'єктів (ПВО) несуть деяку кількість ЗР, які відіграють важливу роль у функціюванні екосистеми ПВО [2]. Незважаючи на те, що ЗР є невід'ємною частиною ПВО, їх наявність пов'язана з низкою проблем [3]. Якщо концентрація ЗР підвищуються через антропогенні чинники це може призводити до змін фізичних, хімічних і біологічних властивостей ПВО [4, 5].

**Актуальність дослідження.** Актуальність дослідження зумовлена необхідністю визначення характеристик ЗР СЗВ та пошуком рішень щодо мінімізації їх впливу ЗР СЗВ на навколишнє середовище в умовах зростаючих вимог до екологічної безпеки енергетичної галузі.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження сприяє розробці нових методів контролю складу та властивостей ЗР і зменшення екологічного навантаження на довкілля.

**Аналіз останніх досліджень.** У технологічному циклі ОСО вода використовується багаторазово, теплові навантаження викидаються в атмосферу через градирні, а СЗВ відводиться до ПВО [6]. Внаслідок концентрування розчинених сполук в охолоджуючій воді ОСО спостерігається утворення нерозчинних сполук ЗР [7]. Як показник якості вод ЗР характеризує кількість нерозчинних сполук, що затримуються на паперовому фільтрі («синя стрічка») при фільтруванні проби та пропорційно зв'язана з іншими гідрофізичними показниками: прозорість та. За походженням ЗР водойм можуть бути природними і техногенними [8], а в ПВО ЗР поділяються на дві групи: мінерального і органічного походження [9]. Ефекти впливу ЗР на ПВО включають фізичні, хімічні та біологічні ефекти впливу, що обумовлено факторами: концентрації, тривалості впливу та хімічним і гранулометричним складом ЗР (рис. 2).

Величина впливу ЗР на водні організми загалом зростає зі збільшенням концентрації [10]. Крім того, вплив концентрацій ЗР має різні ефекти залежно від сезону, тривалості дії та стану самих організмів. Наприклад, потоки ЗР, матимуть більш значний вплив на рибу в період нересту, і навпаки, потоки ЗР матимуть менший вплив на риб у період спокою зимою [11]. Хімічний склад ЗР у ПВО є важливим фактором, оскільки визначає їх токсичність. Наразі хімічний склад ЗР залишається фактором, який не враховується при розробці рекоменда-



Рис. 1. Мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження



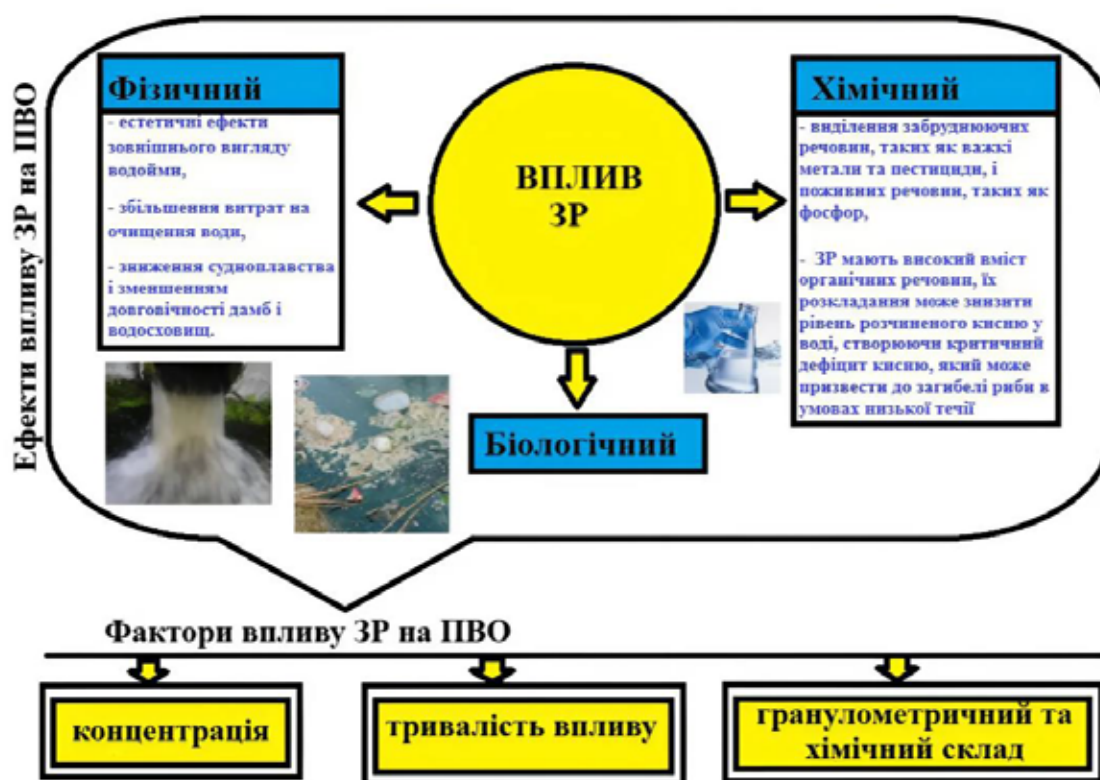


Рис. 2. Ефекти та фактори впливу ЗР на ПВО

цій щодо покращення якості води за вмістом ЗР. Гранулометричний склад ЗР визначає тривалість часу, протягом якого ЗР залишатимуться в суспензії та визначає їх розподіл по глибині ПВО та сорбційну здатність. Менші частинки залишатимуться у товщі води протягом більш тривалого часу, ніж більші частинки [12, 13]. Також розмір ЗР впливає на їх сорбційну здатність. Більш дрібні частинки, як правило, мають вищу сорбційну здатність через наявність колоїдних властивостей [14].

Надійність експлуатації ОСО з огляду хімічного аспекту пов'язана з гарантією того, що в системі не виникнуть відмови, через хімічні перетворення [15, 16]. В свою чергу, надійність хімічних процесів значно покращується після встановлення хімічного контролю вхідної води [17, 18]. Модифікація та модернізація водопідготовки, зміна стратегій експлуатації, технічного обслуговування та контролю зменшують споживання води [19, 20]. До ОСО, для поновлення витрат, постійно направляється додаткова вода та відбувається скид зворотних вод у ПВО [21]. При цьому, особливості водопідготовки, якість вхідної води та технологія очищення скиду формують характеристики ЗР у складі СЗВ [22, 23, 24].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** ЗР мають значний вплив на гідробіотів і середовище їх проживання. ЗР можуть впливати на

макрофіти та водорості, головним чином через вплив на кількість світла, що проникає крізь товщу води, через що обмежується швидкість асиміляції енергії при фотосинтезі [25]. Також вплив ЗР на бентосних безхребетних полягає у їх травмуванні, коли ЗР переносяться потоком по дну русла [26]. Крім того, збільшення концентрації ЗР на 40–80 мг/дм<sup>3</sup> вище фонових рівнів викликає збільшення дрейфу безхребетних на 25–90% [27]. ЗР можуть бути захоплені перифітоном що призводить до закупорки харчових отворів та знижує ріст організмів [28]. Вплив ЗР на рибу полягає у зниженні розвитку та виживання ікри, через те, що ЗР блокують пори та перешкоджають достатньому обміну розчиненого кисню та вуглекислого газу між ікрою та водою [29]. ЗР можуть також впливати безпосередньо на вільноживучу рибу, закупорюючи та абразивно діючи на їхні зяброві структури [30]. Варто також зазначити, що хоча риба реагує на потоки ЗР, вона також може викликати потоки ЗР [31]. Попри значну кількість досліджень, все ще залишаються невирішеними питання формування ЗР у СЗВ. Відсутність детальних даних щодо процесів формування ЗР у технологічних системах ускладнює розробку ефективних рішень для зниження екологічних ризиків для ПВО.

**Новизна.** Новизна дослідження полягає у встановленні впливу параметрів технологічних процесів та методів хімічної обробки води ОСО електростанції на формування характеристик ЗР у складі СЗВ.

**Методологічне або загальнонаукове значення.**

Методологічною основою дослідження є застосування комплексного підходу до вивчення складу та властивостей ЗР, що поєднує фактори впливу ЗР на ПВО (рис. 2) та комплексну методологію вимірювання характеристик ЗР (рис. 3).

Дослідження проводили для технологічних вод ОСО РАЕС, поповнення яких відбувається за рахунок поверхневих вод річки Стир. Відбір проб води проводили за стандартизованою методикою [32]. Схематичну послідовність вимірювань характеристик властивостей ЗР вказано на рис. 3. Аналіз даних хімічного контролю СЗВ проводили за звітними документами РАЕС [33]. Розмір ЗР та їх розподіл за фракціями визначали за допомогою лазерного лічильника НІАС/ROYCO 8000A та мікроскопу (об'єктив 20х, окуляр 10х, точність поділки 0,005 мм). Вимірювання концентрації ЗР проводили гравіметричним методом

за методикою [34]. Визначення класу якості води річки Стир за вмістом ЗР проводили на підставі екологічної класифікації (табл. 1) [36, 37].

Хімічний склад ЗР визначали відповідно до стандартів [35], що включало визначення масових часток кальцію (CaO) та магнію (MgO), кремнію (SiO<sub>2</sub>), органічних (ППП<sub>орг.</sub>) та мінеральних (ППП<sub>карб.</sub>) домішок. Час осадження ЗР визначали гравіметричним методом, швидкість осідання ЗР оцінювали за ходом води в тракті ОСО на ділянках із різною віддаленістю від джерела підживлення ОСО.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На основі аналізу даних, встановлено, що технологія вапнування у процесі підготовки додаткової води ОСО спричиняє суттєве збільшення концентрації ЗР, яка досягає максимальних значень – до 70% у порівнянні з вихідною водою (рис. 4). Це пояснюється впливом часток вапна (CaO), які утворюються під



Рис. 3. Схема виконання вимірювань характеристик ЗР

Таблиця 1

**Екологічна класифікація якості ПВО за концентрацією ЗР**

| Класи                           | I          | II         |              | III               |                    | IV     | V           |
|---------------------------------|------------|------------|--------------|-------------------|--------------------|--------|-------------|
| Категорії                       | 1          | 2          | 3            | 4                 | 5                  | 6      | 7           |
| ЗР, мг/дм <sup>3</sup>          | < 5        | 5–10       | 11–20        | 21–30             | 31–50              | 51–100 | > 100       |
| Якість води за станом           | Відмінні   | Добрі      |              | Задовільні        |                    | Погані | Дуже погані |
|                                 | Відмінні   | Дуже добрі | Добрі        | Задовільні        | Посередні          | Погані | Дуже погані |
| Якість води за ступенем чистоти | Дуже чисті | Чисті      |              | Забруднені        |                    | Брудні | Дуже брудні |
|                                 | Дуже чисті | Чисті      | Досить чисті | Слабко забруднені | Помірно забруднені | Брудні | Дуже брудні |



Рис. 4. Збільшення концентрації ЗР та зменшення концентрації ЗТ в освітленій воді в порівнянні з вхідною водою

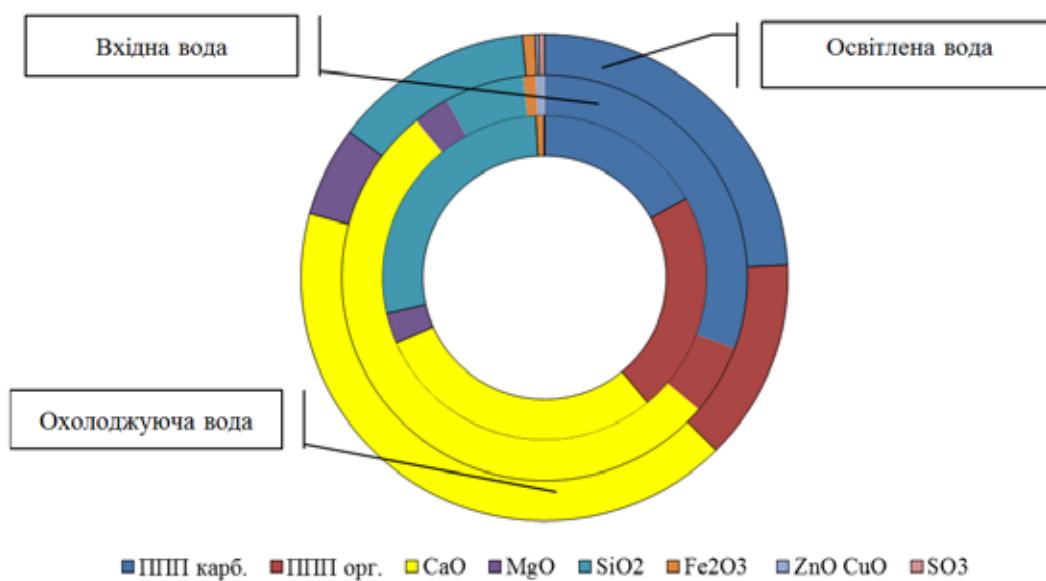


Рис. 5. Зміна хімічного складу ЗР у технологічних водах ОСО (в перерахунку на оксиди)

час вапнування, внаслідок чого знижується швидкість дисоціації гідроксиду кальцію ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) і накопичуються кристали карбонату кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ) у зародковому стані [38]. Водночас результати дослідження свідчать, що процес вапнування забезпечує ефективне зменшення загальної твердості (ЗТ) води.

Встановлено, що в процесі водопідготовки за технологією вапнування відбувається зміна хімічного складу ЗР (рис. 5). Зокрема, етап вапнування характеризується зменшенням масової частки органічних домішок і діоксиду кремнію ( $\text{SiO}_2$ ), що свідчить про ефективність цього процесу при вилученні

зазначених компонентів з води. Одночасно зафіксовано значне збільшення масової частки  $\text{CaO}$ , що вказує на інтенсивне утворення кальцієвих сполук у результаті вапнування. Охолоджуюча вода ОСО демонструє зворотну тенденцію у зміні хімічного складу ЗР. Зокрема, спостерігається підвищення масової частки  $\text{SiO}_2$  та оксиду магнію ( $\text{MgO}$ ) на фоні зменшення вмісту  $\text{CaO}$ . Це пояснюється процесами утворення накипу в ОСО, що супроводжуються формуванням кристалів  $\text{CaCO}_3$ .

Мікроскопіювання відокремлених ЗР вхідної та освітленої води ОСО дозволило помітити, що

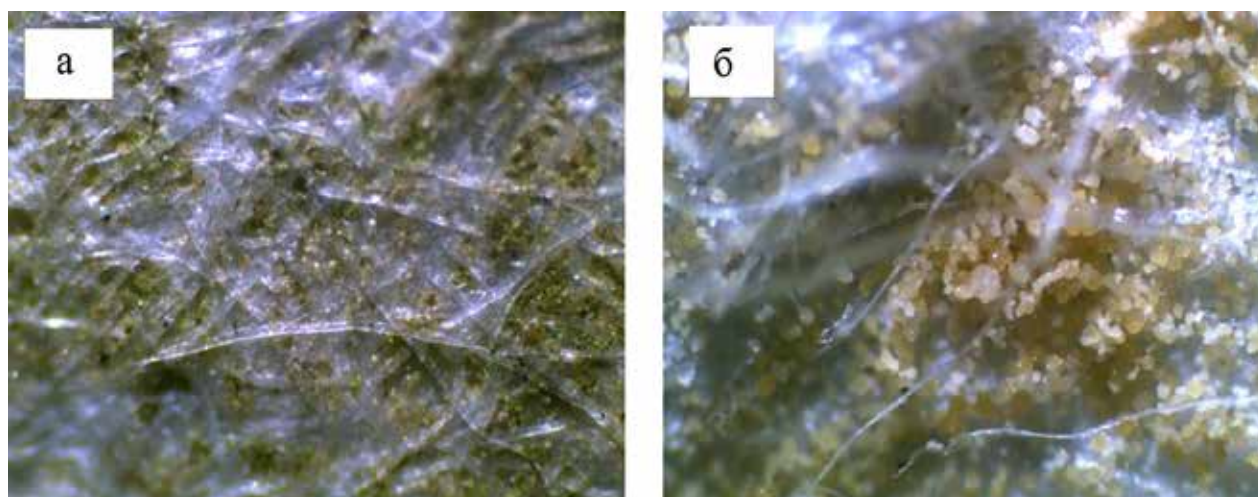


Рис. 6. Мікроскопіювання ЗР вхідної та освітленої води (а – вхідної води; б – освітленої води ОСО)

Таблиця 2

## Гранулометричний склад ЗР технологічних вод ОСО

| Середовище       | Фракція часток, мкм | Максимальна фракція |       |
|------------------|---------------------|---------------------|-------|
|                  |                     | Розмір, мкм         | %, шт |
| Вхідна вода      | 0,5-20              | 2-10                | 79,0  |
| Освітлена вода   | 20-50               | 10-30               | 80,5  |
| Охолоджуюча вода | 50-150              | 120-150             | 83,6  |
| СЗВ              | 20-50               | 20-50               | 75,3  |

в освітленій воді ОСО ЗР мають кристалічну структуру (рис. 6). Результати аналізу гранулометричного складу демонструють, що вапнування впливає на формування нових фракцій гетерогенної фази із частками інших розмірів. Максимальний розмір часток ЗР зафіксовано в охолоджуючій воді ОСО (120-150 мкм), найменший – у вхідній воді річки Стир (2-10 мкм). Для освітленої води ОСО після вапнування максимальна фракція становить 10-30 мкм (табл. 2). В охолоджуючій воді ОСО спостерігається укрупнення часток ЗР внаслідок агрегації, а у СЗВ переважають частки, здатні до осадження завдяки седиментаційним процесам.

Для оцінки поведінки ЗР у процесі експлуатації ОСО було досліджено процеси їх седиментації. Час осадження ЗР визначався для проб, відібраних у тракті ОСО на найбільш віддаленій ділянці від місця підживлення системи (точки відбору проб 1-3). Час седиментації ЗР технологічних вод ОСО становить 50-120 хвилин, що підтверджує ефективність осадження часток розміром понад 50 мкм у технологічних водах ОСО (рис. 7).

Внаслідок змін структури та складу ЗР, через досить низькі значення часу седиментації, спостерігається їх осадження в ОСО. В результаті у СЗВ, порівняно з концентрацією ЗР вхідної води, спостерігається зниження їх концентрації (рис. 8). За концентрацією ЗР вода річки Стир після скиду

СЗВ відповідає гігієнічним вимогам до складу та властивостей води ПВО у пунктах господарсько-питного та культурно-побутового водокористування за значенням гранично-допустимої концентрації (ГДК). За екологічною класифікацією по ЗР (табл. 1) вода річки Стир після скиду СЗВ відносяться до II клас, 2 категорії, що характеризує якість води за станом як «добра» і за чистотою – «дуже добра» (рис. 9).

Результати проведеного дослідження демонструють двоаспектний вплив процесу вапнування на якісні показники технологічних вод ОСО. Зокрема, з одного боку, суттєве підвищення концентрації ЗР спостерігається внаслідок коагуляційних процесів, з іншого боку, ефективне зниження ЗР пояснюється осадженням  $\text{CaCO}_3$ , хоча цей процес може бути обмежений умовами температурного режиму та кінетикою реакцій у водопідготовчих системах. Детальний аналіз гранулометричного і хімічного складу ЗР свідчить про суттєві зміни, зумовлені процесами вапнування. Зокрема, виявлено, що вміст часток розміром 10-30 мкм в освітленій воді ОСО досягає 80%, що є наслідком хімічної взаємодії  $\text{Ca(OH)}_2$ . У порівнянні з вхідною водою річки Стир, де домінують частинки ЗР розміром 2-10 мкм, освітлена вода демонструє зміну розподілу фракції часток, яка підтверджує утворення нових фаз у результаті вапнування. Додатково встановлено, що у тракті ОСО відбувається агрегація



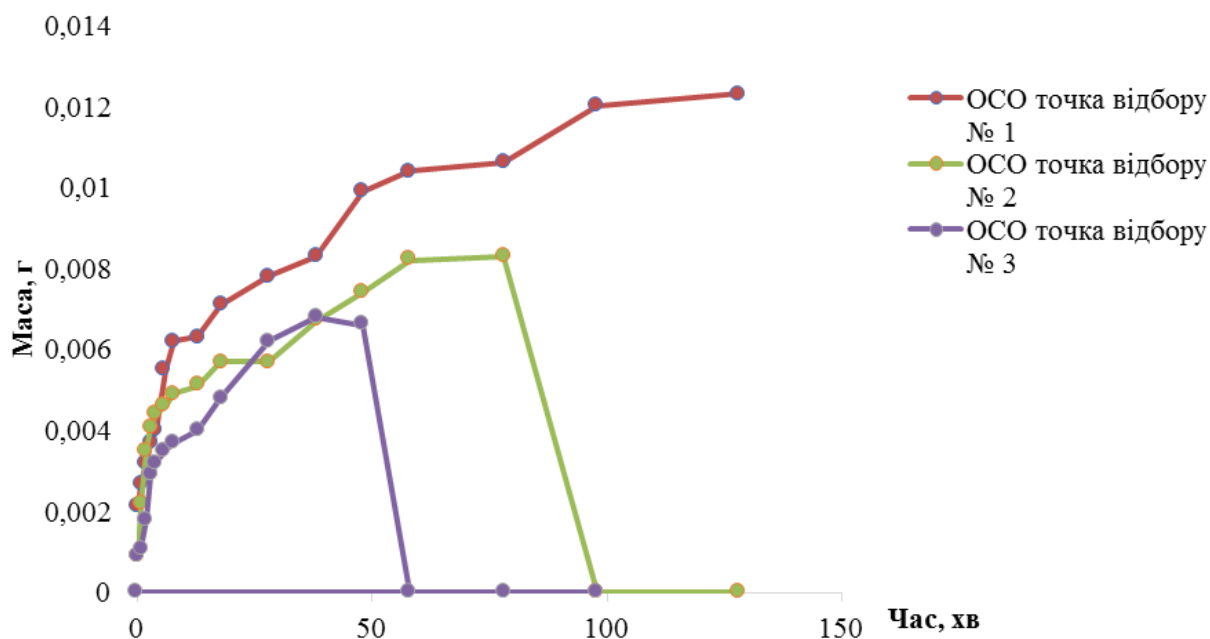


Рис. 7. Визначення часу седиментації ЗР для проб технологічних вод, відібраних для різної віддаленості тракту ОСО

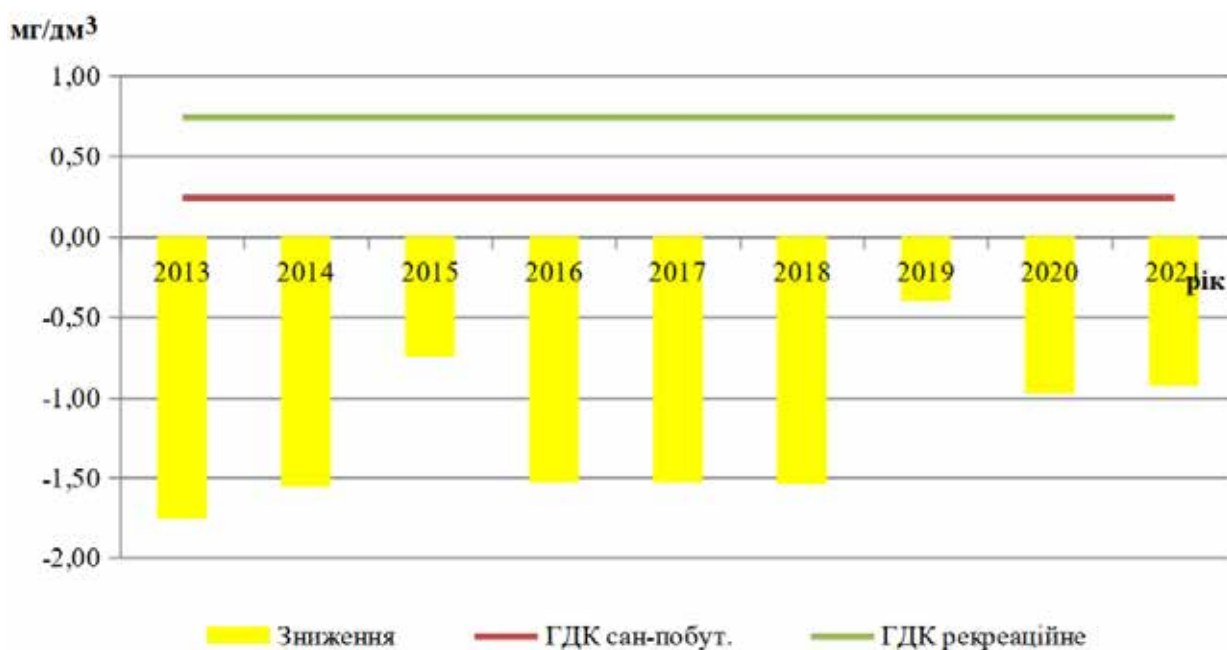


Рис. 8. Порівняння фактичних значень різниці концентрації ЗР в вхідній воді та воді річки Стир

дрібних часток до фракцій розміром 120-150 мкм, які переважно осаджуються в ОСО. Ця особливість пояснює зниження вмісту ЗР у СЗВ, де домінують частинки розміром 20-50 мкм, а також зменшення концентрації ЗР у СЗВ на 60-70%. Хімічний аналіз освітленої води після вапнування свідчить про збільшення частки кальцію, що пов'язано з утворенням  $\text{CaCO}_3$  як продукту реакції [39, 40]. Одночасно спостерігається зниження вмісту орга-

нічних домішок, що вказує на коагуляцію органічних речовин. Порівняння отриманих результатів із літературними даними [41] підтверджує ефективність вапнування як методу зменшення концентрації накопуютьовуючих компонентів, таких як  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , і покращення якісних характеристик охолоджувальної води. Оцінка екологічних характеристик СЗВ вказує на їх відповідність нормативним вимогам. Концентрація ЗР у воді річки Стир

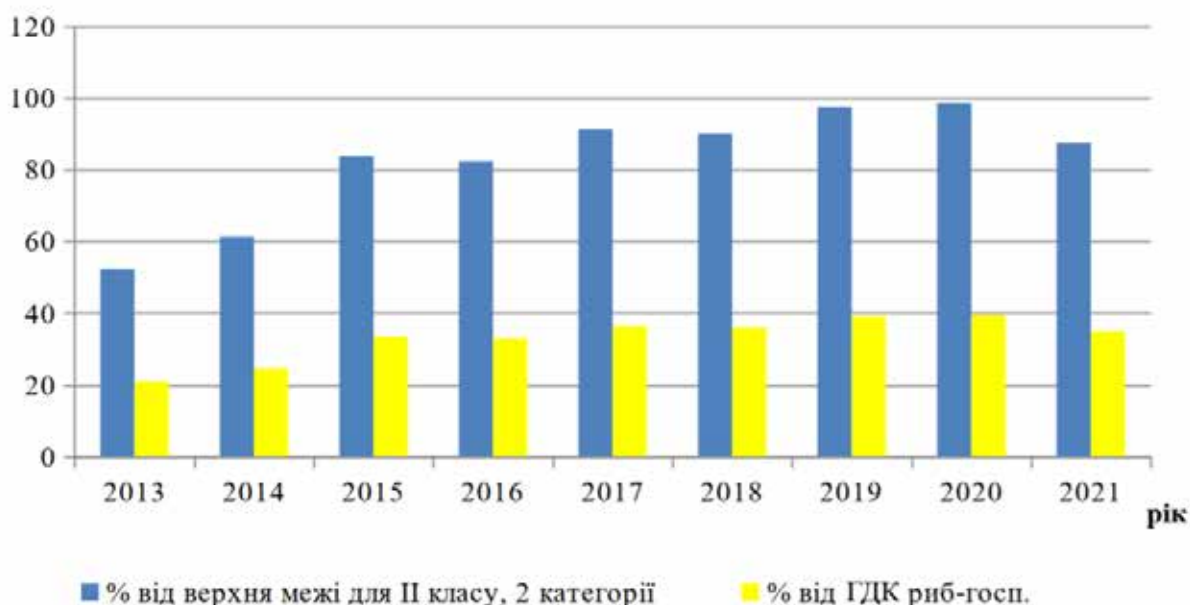


Рис. 9. Нормалізовані значення концентрації ЗР у воді річки Стир

не перевищує 0,4 від ГДК, що підтверджує їх класифікацію за екологічними стандартами як «дуже добра» (2 категорія II класу). Ці показники свідчать про мінімальний вплив ЗР при водопідготовці та експлуатації ОСО АЕС на довкілля.

**Головні висновки.** Проведене дослідження висвітлює формування ЗР у водному скиді ОСО, акцентуючи увагу на формуванні складу та властивостей ЗР у технологічних водах. Вапнування води сприяє значному зниженню ЗР та змінює гранулометричний і хімічний склад ЗР, хоча цей процес супроводжується підвищенням їх концентрації. Зокрема, встановлено, що після вапнування домінуючою фракцією у освітленій воді є частки розміром 10-30 мкм, водночас у системі ОСО спостерігається агломерація часток ЗР у більшій фракції (120-150 мкм), що забез-

печує суттєве зниження концентрації ЗР у скидних водах на 60-70%. Зміна хімічного складу ЗР включає збільшення кальцієвих сполук і зменшення частки органічних речовин та  $\text{SiO}_2$ . Час осадження ЗР, який варіює в межах 50-120 хвилин, підтверджує ефективність седиментаційних процесів у ОСО. Оцінка екологічної відповідності скидних вод свідчить про їх якість у межах до II клас, 2 категорії, що характеризує якість води за станом як «добра» і за чистотою – «дуже добра».

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати дослідження розширюють наукові знання про поведінку ЗР в технологічних водах та сприяють вдосконаленню технологій водопідготовки, що має практичне значення для енергетичної галузі та екологічної інженерії.

### Література

1. Waters T.F. Sediment in streams: sources, biological effects, and control. *American Fisheries Society Monograph*. Bethesda, Maryland, 1995. № 7. С. 79–118.
2. Dean D.J., Topping D.J., Schmidt J.C., Griffiths R.E., Sabol T.A. Sediment supply versus local hydraulic controls on sediment transport and storage in a river with large sediment loads. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2016. Vol. 121, № 1. P. 82–110.
3. García-Ruiz J.M., Beguería S., Nadal-Romero E., González-Hidalgo J.C., Lana-Renault N., Sanjuán Y. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*. 2015. Vol. 239. P. 160–173.
4. Bilotta G.S., Brazier R.E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*. 2008. Vol. 42, № 12. P. 2849–2861.
5. Клименко М.О., Бєдункова О.О. Кругообіг важких металів у водних екосистемах: монографія. Рівне: НУВГП, 2008. 216 с.
6. Kuznietsov P., Biedunkova O. Experimental Tests of Biocidal Treatment for Cooling Water of Safety Systems at Rivne NPP. *Nucl. Radiat. Saf.* 2023. № 1. P. 30–40. [https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1\(97\).04](https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1(97).04)
7. Biedunkova O., Kuznietsov P., Gandziura V. Behaviour of dissolved inorganic salts in the cooling water of a nuclear power plant open recirculation system and formation of water discharge. *Royal Society Open Science*. 2024. Vol. 11, № 8. P. 240492. <https://doi.org/10.1098/rsos.240492>
8. Морозова А.О., Дьяченко Т.М. Екологічний стан малої урбанізованої водойми оз. Небриж за деякими гідрохімічними та гідробіологічними показниками. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. № 3. С. 38–44.

9. Жежеря В.А., Жежеря Т.П., Линник П.М., Шелюк Ю.С. Методичні особливості дослідження складу завислих речовин поверхневих вод. *Збірка тез доповідей Київської конференції з аналітичної хімії: Сучасні тенденції* 2024. Київ: Інтерсервіс, 2024. 140 с. С. 134–135.
10. Zezulka Š., Maršálek B., Maršálková E., Odehnalová K., Pavlíková M., Lamaczová A. Suspended Particles in Water and Energetically Sustainable Solutions of Their Removal—A Review. *Processes*. 2024. Vol. 12, № 12. P. 2627.
11. Gong C., Zhang H., Huo S., Zhang J., Weng N., Li W. Transformation processes of total suspended solids and dissolved organic matter in rivers: Influences of different land use sources and degradation processes. *Science of The Total Environment*. 2025. Vol. 963. P. 178509.
12. Schindl G., Studnicka M., Eckelhart A., Summer W. Hydrological and instrumentation aspects of monitoring and analysing suspended sediment transport crossing international borders. *Sediment Budgets 1: Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil*. 2005. P. 227–240.
13. Brady N.C., Weil R.R. The nature and properties of soils. 13th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008. P. 662–710.
14. Stone M., Droppo I.G. In-channel surficial fine-grained sediment laminae. Part II: Chemical characteristics and implications for contaminant transport in fluvial systems. *Hydrological Processes*. 1994. Vol. 8, № 2. P. 113–124.
15. Nyman R., Erixon S., Tomic B., Lydell B. Reliability of piping system components. Vol. 4. The pipe failure event database. *Swedish Nuclear Power Inspectorate*. 1996.
16. Kuznietsov P.M., Biedunkova O.O., Yaroshchuk O.V., Pryshchepa A.M. Optimization of the anti-scale corrective treatment of water by organic phosphonate. *Science and Innovation*. 2024. Vol. 20, № 2. P. 79–90. <https://doi.org/10.15407/scine20.02.079>
17. Rajakovic-Ognjanovic V.N., Zivojinovic D.Z., Grgur B.N., Rajakovic L.V. Improvement of chemical control in the water-steam cycle of thermal power plants. *Applied Thermal Engineering*. 2011. Vol. 31. P. 119–128.
18. Kawamura H., Shoda Y., Terachi T., et al. PWR secondary water chemistry guidelines in Japan—purpose and technical background. *Progress in Nuclear Energy*. 2019. Vol. 114. P. 121–137.
19. Rodriguez M.A. Corrosion control of nuclear steam generators under normal operation and plant-outage conditions: a review. *Corrosion Reviews*. 2020. Vol. 38, № 3. P. 195–230.
20. Lee J.-M., Jeon S.-H., Kim K.-S., Han J., Hur D.H. Effects of pH control agents on magnetite deposition on steam generator tubes. *Annals of Nuclear Energy*. 2020. Vol. 143. P. 107486.
21. Hell, F., Liebminger, L. A., & Bharati, V. P. (2024). Boiler Make-Up Water Treatment. In *Handbook of Water and Used Water Purification* (pp. 911-921). Cham: Springer International Publishing.
22. Pan S.-Y., Snyder S.W., Packman A.I., Lin Y.-J., Chiang P.-C. Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus. *Water-Energy Nexus*. 2018. Vol. 1. P. 26–41.
23. Biedunkova O., Kuznietsov P., Korbutiak V. Evaluation of return cooling water reuse in the wet cooled power plant to minimise the impact of water intake and drainage. *Sustainable Chemistry for the Environment*. 2024. Vol. 7. P. 100151. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100151>
24. Kuznietsov P., Biedunkova O. Evaluating the impact of dispersed particles in the water of a power plant recirculating cooling system on the discharge of suspended solids into a natural water body. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 6(10), № 126. P. 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292879>
25. Bosco Imbert J., Perry J.A. Drift and benthic invertebrate responses to stepwise and abrupt increases in non-scouring flow. *Hydrobiologia*. 2000. Vol. 436, № 1. P. 191–208.
26. Matsuzaki S.I.S., Usio N., Takamura N., Washitani I. Effects of common carp on nutrient dynamics and littoral community composition: roles of excretion and bioturbation. *Fundamental and Applied Limnology*. 2007. Vol. 168. P. 27–38.
27. Gammon J.R. The effect of inorganic sediment on stream biota. United States Environmental Protection Agency, Water Quality Office. 1970. Vol. 18050.
28. Newcombe C.P., MacDonald D.D. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North American Journal of Fisheries Management*. 1991. Vol. 11, № 1. P. 72–82.
29. Haygarth P.M., Jarvis S.C. (Eds.). *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. Wallingford: CABI, 2002. 502 p.
30. Greig S.M., Sear D.A., Carling P.A. The impact of fine sediment accumulation on the survival of incubating salmon progeny: implications for sediment management. *Science of the Total Environment*. 2005. Vol. 344, № 1–3. P. 241–258.
31. Redding J.M., Schreck C.B. Influence of ambient salinity on osmoregulation and cortisol concentration in yearling coho salmon during stress. *Transactions of the American Fisheries Society*. 1983. Vol. 112, № 6. P. 800–807.
32. ДСТУ ISO 5667-6:2009. Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків. Наказ від 03.12.2009 № 440. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=64511](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64511) (дата звернення: 18.12.2024).
33. Звіти з оцінки впливу нерадіаційних факторів ВП «Рівненська АЕС» URL: <https://www.energoatom.com.ua/> (дата звернення: 18.12.2024).
34. КНД 211.1.4.039-95. Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних і стічних водах. URL: [https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=110594](https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=110594) (дата звернення: 18.12.2024).
35. ГКД 34.37.304-2003. Контроль стану основного обладнання електростанцій. Визначення хімічного складу відкладень. Методичні вказівки. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=69844](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=69844) (дата звернення: 18.12.2024).
36. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ, 1998. 28 с.
37. Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах. Наказ Мінагрополітики України від 30.07.2012 № 471.

38. Бєдункова О.О., Кузнєцов П.М. Формування карбонатної системи оборотної охолоджуючої води атомної електро-станції та вплив на рН поверхневих вод при зворотних скидах. *Екологічні науки*. 2023. № 3(48). С. 163–168. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.26>
39. Кузнєцов П.М., Бєдункова О.О. Ідентифікація та просторово-часові зміни показників вмісту органічних речовин в поверхневих водах р. Стир. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. № 135(2). С. 249–256. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.33>
40. Kuznietsov P.M., Biedunkova O.O. Multivariate regression studies for the investigation of the COD, BOD, and TOC concentrations in the water of the Styr River within the zone of influence of the power plant discharge. *Water Practice & Technology*. 2024. Vol. 19, № 4. P. 1412–1426. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.075>
41. Кузнєцов П.М. Дослідження впливу підкислення водоциркуляційної системи на скиди сульфат-іонів зі зворотними водами. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 6. С. 136–148. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.14>



## МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКТОРА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ПРОЦЕСУ ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ПІРОЛІЗУ

Маркіна Л.М., Івашенко Т.Г., Власенко О.В., Ковтунов О.В.  
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

Вивчені результати дослідження технології циркуляційного піролізу (ЦП), спрямованої на ефективну переробку органічних відходів та полімерних матеріалів. Основна увага приділена розробці експериментальної установки для вивчення процесів піролізу в умовах замкнутого циклу. Детально описані конструктивні особливості створеного експериментального стенду, що дозволяє досліджувати вплив різних параметрів на процес термічного розкладу матеріалів.

У роботі висвітлено основні структурні компоненти установки, зокрема реакторну камеру, систему подачі сировини, нагрівальні елементи та систему збору газоподібних і рідких продуктів піролізу. Здійснено аналіз конструкційних матеріалів, використаних у розробці стенду, з метою забезпечення оптимальних умов проведення експериментів. Особлива увага приділена системі контролю температури та параметрів теплового потоку, що впливають на ефективність процесу.

Окрім експериментальних досліджень, проведено комп'ютерне моделювання теплових потоків навколо реактора, що дозволило оцінити розподіл температурних зон, визначити оптимальні режими роботи системи нагріву та розрахувати потенційні втрати енергії. Виконані теоретичні розрахунки підтвердили ефективність застосування циркуляційного піролізу для отримання високоякісних продуктів термічного розкладу, таких як синтез-газ, піролізна олія та вуглецевий залишок.

Результати досліджень демонструють перспективність використання технології ЦП для екологічно безпечної утилізації відходів та виробництва вторинної сировини. Запропонований підхід може бути застосований у промислових масштабах для мінімізації екологічного навантаження та підвищення енергоефективності процесів переробки полімерних і органічних матеріалів. *Ключові слова:* багатоконтурний циркуляційний піроліз, експериментальний стенд, полімерні відходи, теплові потоки.

**Modeling of the experimental stand reactor of the circulating pyrolysis process. Markina L., Ivashchenko T., Vlasenko O., Kovtunov O.**

The article presents the results of the study of circulating pyrolysis (CP) technology aimed at the efficient processing of organic waste and polymeric materials. The main attention is paid to the development of an experimental facility for studying pyrolysis processes in a closed cycle. The design features of the created experimental bench are described in detail, which allows to study the influence of various parameters on the process of thermal decomposition of materials.

The paper highlights the main structural components of the plant, in particular the reactor chamber, the raw material supply system, heating elements and the system for collecting gaseous and liquid pyrolysis products. The analysis of structural materials used in the development of the stand was carried out in order to ensure optimal conditions for conducting experiments. Particular attention is paid to the temperature control system and heat flow parameters that affect the efficiency of the process.

In addition to experimental studies, computer simulations of heat flows around the reactor were carried out, which made it possible to assess the distribution of temperature zones, determine the optimal operating modes of the heating system and calculate potential energy losses. The theoretical calculations performed have confirmed the effectiveness of circulating pyrolysis applications to produce high-quality thermal decomposition products such as synthesis gas, pyrolysis oil, and carbon residue.

The results of the research demonstrate the prospects of using CPU technology for environmentally friendly waste disposal and production of secondary raw materials. The proposed approach can be applied on an industrial scale to minimize the environmental burden and increase the energy efficiency of the processes of processing polymeric and organic materials. *Key words:* multi-circuit circulating pyrolysis, experimental bench, polymer waste, heat flows.

**Постановка проблеми.** Основним елементом будь-якої хіміко-технологічної системи, що складається з різних машин та апаратів, зв'язаних між собою різними зв'язками, є хімічний реактор – пристрій, у якому відбувається хімічна реакція. Вибір типу, конструкції та розрахунок реактора, а також розробка системи управління його роботою є важливими завданнями технології. Реактори, призначені для різних процесів, різняться за конструкцією, розмірами та зовнішнім виглядом. Проте, незважаючи на ці відмінності, існують загальні критерії класифікації реакторів, які полегшують систематизацію інформації про них, складання математичних моделей та вибір методів розрахунку.

Технологія ЦП, яка ґрунтується на принципі термічної рециркуляції, дозволяє утилізувати суміш органічних (полімерних) відходів, отримуючи продукти легких фракцій. Для проведення експериментальних досліджень з метою вивчення технологічних параметрів процесу БЦП, оптимізації робочих режимів обладнання та визначення технологічних залежностей, необхідно розробити експериментальну установку і змодельовати теплообмін на етапі первинної деструкції в реакторі.

**Актуальність дослідження.** Хімічні реактори класифікуються за кількома ключовими параметрами, які визначають їх роботу:

Рух реакційного середовища: Як рідина або газ рухаються всередині реактора, впливаючи на

перемішування та контакт реагентів (гідродинаміка) [5].

Теплообмін: Як тепло передається між реакційною сумішшю та навколишнім середовищем, впливаючи на швидкість реакції.

Фазовий склад: Чи є реакційна суміш однорідною (наприклад, тільки рідина) чи неоднорідною (наприклад, рідина та газ), що впливає на контакт реагентів [1].

Організація процесу: Як процес організований (наприклад, безперервний або періодичний), що впливає на продуктивність.

Зміна параметрів: Як параметри процесу (наприклад, температура, тиск) змінюються з часом, що впливає на швидкість реакції.

Конструктивні характеристики: Особливості конструкції реактора, що впливають на його ефективність та безпеку [9].

Реактор періодичної дії працює циклічно: всі реагенти додаються на початку, реакція протікає, а продукти виводяться після завершення. Тривалість реакції збігається з часом перебування реагентів в реакторі. Параметри процесу змінюються з часом [5].

Між циклами реакції необхідно виконувати допоміжні операції, такі як завантаження та вивантаження, що знижує продуктивність реактора, оскільки в цей час не відбувається реакція [9].

Для дослідження біохімічних процесів (БЦП) було розроблено нові типи обладнання [1,2], враховуючи результати попередніх випробувань. Описана експериментальна установка є одним із прикладів такого обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Моделювання піролізу є вагомим складовим дослідженням у галузі інженерії та екології, оскільки дозволяє оптимізувати процеси термічного розкладу органічних матеріалів, таких як полімери, біомаса та відходи.

За останні п'ять років у літературі було задокументовано сімдесят п'ять дослідницьких робіт, присвячених обчислювальному моделюванню піролізу (відповідно до пошуку в базах даних за ключовими словами: моделювання, відходи, піроліз).

Останні наукові публікації висвітлюють різні аспекти моделювання піролізу.

Джамал Уфкір, Рашид Черуакі та ін. досліджують перетворення пластикових відходів на поліетилен низької щільності (LDPE) за допомогою піролітичного палива за допомогою переривчастого реактора в лабораторному масштабі. Це дослідження зосереджено на конструкції піролізної установки, призначеної для перетворення пластикових відходів на високоенергетичне рідке паливо [5].

Шиві Гарг, Ананд Найяр та ін. досліджують різні стратегії поводження з відходами та детально обговорюється процес піролізу. Моделювання проводилося зі збереженням піролізу як основного процесу та з урахуванням різних параметрів, таких як

живлення та матеріали реактора. Були обрані різні корми, такі як поліетилен низької щільності (LDPE), пшенична солома, соснова деревина, а також суміш полістиролу (PS), поліетилену (PE) і поліпропілену (PP). Розглядалися різні матеріали реакторів, а саме: нержавіюча сталь AISI 202, AISI 302, AISI 304 і AISI 405. AISI розшифровується як Американський інститут чавуну та сталі [6].

Д. Чайчинська, Р. Кшижинська та А.Дж. Рейнольдс досліджують зв'язки між умовами піролізу, хімічним і мінералогічним складом їх продукції та перевагами піролізу в секторі поводження з відходами. Зокрема розглядається швидкий, проміжний та повільний піроліз органічних відходів та сумішей неорганічних та органічних відходів домогосподарств [7].

Ясір Маккаві, Пол Нанкерроу та ін. досліджують піроліз сировини у реакторі з киплячим шаром. Фізико-хімічні характеристики вихідної сировини компоненти були піддані швидкому піролізу і отримані баланси мас. Продукти швидкого піролізу (біоолія та газ, що не конденсується) були проаналізовані з точки зору їх хімічного складу, термогравіметричних профілів та енергетичного складу. Встановлено, що загальний розподіл продукту за масовим відсотком при температурі піролізу 525 °C становить 38,8% біоолія (включаючи 10,4% реакційної води), 37,2% біовугілля і 24,0% неконденсованого газу. Було виявлено, що загальна ефективність перетворення енергії (відношення вмісту енергії в продукті до вмісту у вихідній сировині) становить 87,0%, що свідчить про хороший потенціал перетворення відходів фіникової пальми в енергію при одночасному усуненні негативного впливу на навколишнє середовище та витрат, пов'язаних з утилізацією відходів [8].

Осанна Увітонзе, Айон Кім досліджують гідродинаміку газотвердого потоку та характеристики теплопередачі CFB (низькотемпературний піроліз), для швидкого піролізу за допомогою тривимірної (3D) ейлеріанської моделі CFD. Розглядаються параметри моделі, дзеркальність та коефіцієнти реституції частинка-частинка, для точного прогнозування гідродинаміки газотвердого потоку та розподілу тепла з урахуванням різних швидкостей газу та швидкостей циркуляції твердого тіла [9].

Людмила Маркіна вивчає проблеми утилізації промислових та побутових органічних відходів. Досліджує технології багатоконтурного циркуляційного піролізу, що гарантує екологічно чисту утилізацію твердих побутових відходів, з одержанням цінних вихідних продуктів: рідкого палива легких фракцій та електроенергії [10].

Попри те, що за останні десятиліття було досягнуто значного прогресу в експериментальних дослідженнях технології піролізу, практична вартість технології відносно висока, вимагає значних вкладень робочої сили, матеріальних ресурсів і часу.

Зі швидким розвитком комп'ютерних технологій методи чисельного моделювання стали отримувати інформацію про параметри для кожної точки вимірювання процесу термічної деструкції, і вони стали ефективним методом для прискорення розвитку технології піролізу, зменшення витрат на проектування та часу експлуатації, а також зменшення технічних ризиків [13].

В основному, всі дослідження, які зараз проводяться, спрямовані на розуміння механізмів розкладу піролізної сировини та утворення продуктів піролізу, що може сприяти розробці ефективних методів утилізації поліетиленових відходів. Ці дослідження підкреслюють важливість застосування різних методів моделювання для глибшого розуміння процесів піролізу та розробки ефективних технологій утилізації органічних матеріалів [11].

**Виділення раніше нерозв'язаних аспектів загальної проблеми, на якіх зосереджено увагу цієї статті.** Невирішені раніше аспекти загальної проблеми, які розглядаються в цій статті, включають врахування специфіки хімічних процесів, що відбуваються у реакторах, для підвищення ефективності та безпеки виробництва, дослідження нових матеріалів, геометричних рішень та способів змішування реагентів для покращення тепломасообміну, розгляд сучасних підходів до математичного моделювання та чисельного аналізу для підвищення точності прогнозування поведінки реакційної системи, зниження енергетичних витрат та мінімізація утворення шкідливих відходів у процесі хімічного виробництва.

Ці питання є актуальними для сучасної технології піролізних процесів і вимагають подальших досліджень для підвищення ефективності та безпеки хімічних реакторів [12].

## Новизна.

**Розробка експериментальної установки** – запропоновано новий стенд для дослідження процесу циркуляційного піролізу, що дозволяє більш точно аналізувати параметри реакції.

**Впровадження циркуляційного режиму** – використання технології циркуляційного руху газових та рідких продуктів піролізу для покращення тепломасообміну та підвищення ефективності процесу.

**Оптимізація параметрів піролізу** – визначення оптимальних температурних режимів, швидкості потоку та інших факторів для максимального виходу цільових продуктів.

**Можливість масштабування** – розроблені методичні підходи можуть бути адаптовані для промислового застосування, що сприяє розвитку технологій переробки органічної сировини.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Створення експериментального стенду для моделювання та вивчення параметрів процесу ЦП за допомогою програмного забезпечення ANSYS для оцінки термічних напруг і деформацій, перевірки стійкості матеріалу піролізної установки, відпрацювання робочих режимів обладнання та виявлення технологічних залежностей.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження технології ЦП створена експериментальна установка ЕУ БЦП – 14 [3] (рис. 1-2).

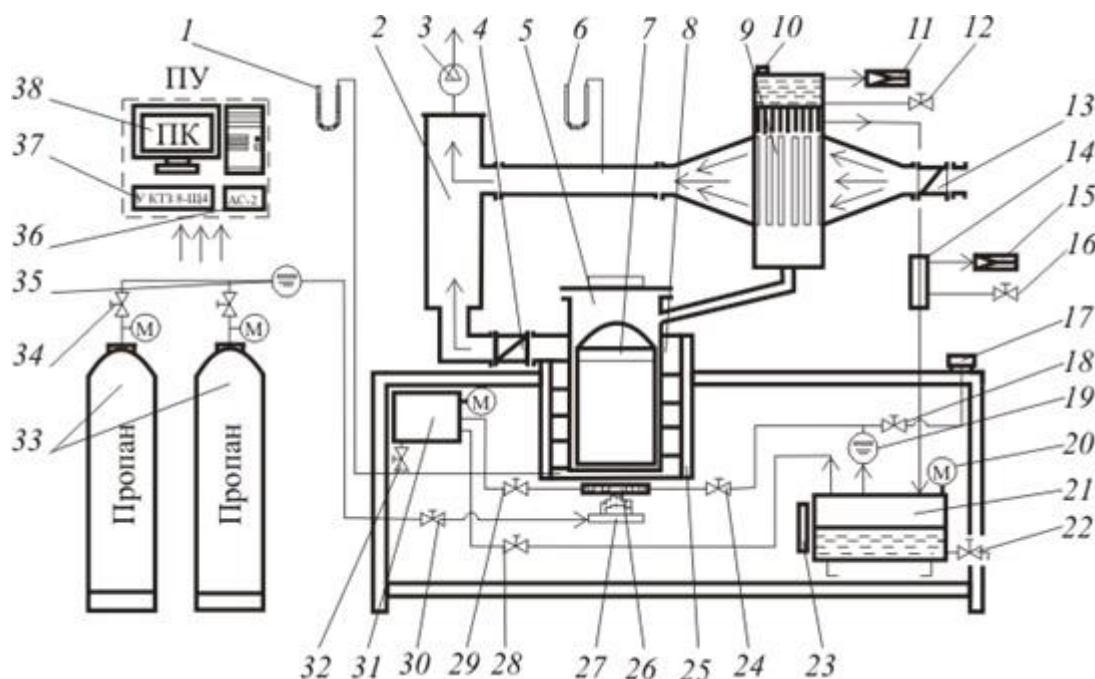


Рис. 1. Принципова схема експериментальної установки для термічної деструкції (БЦП)

Установка складається з:

1. *Піролізного реактора* (5): це центральний елемент установки, де відбувається піроліз. Він оснащений:

Знімною корзиною (7): для завантаження сировини.

Обігрівальним контуром (8): для підтримки необхідної температури.

Системою багатоконтурної циркуляції (9): забезпечує багатоступінчастий теплообмін.

2. *Системи охолодження*: для охолодження парогазової суміші (ПГС), що утворюється в реакторі:

Вихідний конденсатор (14): охолоджує ПГС.

Три контури охолодження: з кранами (12, 16) та шибером (13) для регулювання потоку охолоджувальної води та повітря.

3. *Системи збору та обробки продуктів піролізу*:

Розподільна ємність: розділяє ПГС на піролізний газ та рідку легку фракцію.

Накопичувальний бак (21): збирає піролізний газ.

Ресивер (31): збирає конденсат.

4. *Системи контролю та безпеки*:

Манометри (1, 6, 20): вимірюють тиск.

Витратоміри (11, 15): вимірюють витрату охолоджувальної води.

Газовий лічильник (19): вимірює об'єм піролізного газу.

Індикаторний пальник (17): відображає наявність піролізного газу.

Запобіжний клапан: забезпечує скидання надлишку піролізного газу в збірний бак.

Система кранів (22, 24, 28, 29, 30, 32, 34): для управління потоками газів та рідин.

Пальник допалювання (26): спалює надлишок піролізного газу.

Головний пальник (27): спалює піролізний газ.

5. *Системи автоматизації*:

АЦП (37): перетворює аналоговий сигнал на цифровий.

Декодер сигналу (36): обробляє сигнал від АЦП.  
Персональний комп'ютер (38): збирає та обробляє дані з установки.

Експериментальна установка для біохімічного процесу (БЦП) складається з кількох ключових компонентів:

Піролізний реактор (5): знімна корзина дозволяє зручно завантажувати відходи для піролізу.

Багатоконтурна циркуляційна система (9): складається з трьох контурів, забезпечуючи ефективний теплообмін.

Вихідний конденсатор (14): охолоджує парогазову суміш (ПГС), що утворюється в реакторі.

Розподільна ємність: розділяє ПГС на піролізний газ та рідку легку фракцію.

Пульт управління: забезпечує контроль та управління роботою установки.

Установка оснащена системами безпеки:

Іскрогасник: забезпечує безпечне спалювання піролізного газу на газовому пальнику.

Запобіжний клапан: підтримує стабільний тиск в реакторі та дозволяє скинути надлишок піролізного газу в збірний бак.

Система кранів: забезпечує спалювання надлишку піролізного газу з баку на пальнику піролізного газу.

Габарити установки: 510x1285x1960 мм, що робить її досить компактною.

Піролізний реактор має циліндричну форму (діаметр 194 мм, висота 480 мм) і виготовлений з сталі марки 12X18H10T, що дозволяє йому працювати при температурах до 600 °С.

Усередині реактора розташована корзина (діаметр 184 мм, висота 400 мм), куди завантажуються відходи для піролізу. Реактор герметично закривається кришкою, що фіксується гвинтом.

Нагрівання реактора відбувається за допомогою продуктів згоряння пропанового газу, які проходять через газохід, що обвиває реактор зигзагоподібно.



Рис. 2. Фото та 3D модель установки

Це забезпечує нагрівання корпусу до температури 450-600 °С.

Для зменшення втрат тепла та забезпечення безпечної температури поверхні установки (55 °С) використовується насипний керамзит (10 мм) та мінеральна вата (50 мм), які обгортають димохід.

В процесі виготовлення установки герметичність реактора контролювалася надлишком тиску повітря до  $P = 1,5 \text{ кг/см}^2$  з витримкою 30 хвилин, зниження тиску не спостерігалось.

Інтенсифікація теплообміну є одним з основних методів підвищення ефективності теплообмінного і теплотехнічного устаткування. В даний час відомі і використовуються в техніці більше двадцяти п'яти методів інтенсифікації теплообміну, серед яких найбільш поширеними є змінний градієнт тиску, шороховатість поверхні, закрутка потоку, зовнішня турбулентність і масштабні коливання потоку. Особливий клас представляють поверхневі інтенсифікатори теплообміну в формі ребер, виступів і заглиблень, що формують вихрові структури різного типу [1].

Щоб оцінити ефективність нагрівання реактора за допомогою продуктів згорання, що проходять через димохід, необхідно проаналізувати теплові потоки навколо реактора та ребер, які забезпечують його нагрівання під час спалювання пропану на головному пальнику та піролізного газу на допоміжному пальнику.

За величиною ефективності ребра зручно судити про вплив довжини ребра, теплопровідності, коефіцієнта тепловіддачі на інтенсивність використання тепла. Підвищити ефективність ребра можна, наприклад, за рахунок збільшення теплопровідності, зменшення коефіцієнта тепловіддачі, зменшення довжини ребра і збільшення його товщини.

Для інтенсифікації процесу деструкції органічної частини ТПВ у реакторі було застосовано оребрення поверхні днища та стінок реактору. Оскільки оребрення здійснюється на тій поверхні теплообміну, яка має менший коефіцієнт тепловіддачі (або великий термічний опір). Застосування оребреної

поверхні в реакторі дозволить збільшити вихід високоенергетичних продуктів.

Розглянемо оребрену поверхню даного реактору. Оребрення представляє собою підставку (круг діаметром 500 мм сталі марки ХН60ВТ ГОСТ 5632-72), яка складається з 4 листів оребрення та 2 циліндрів оребрення, що виконані зі сталі (лист  $71 \times 50$ ) марки 12Х18Н10Т. Перший циліндр оребрення висотою 50 мм, діаметром 70 мм, має 4 отвори радіусом 8 мм для розплавленої сировини. Другий циліндр висотою 250 мм та діаметром 222 мм оребрення має 32 отвори діаметром 5 мм.

Лист оребрення висотою 250 мм, шириною 138 мм, товщиною 4 мм має 8 отворів діаметром 10 мм.

У розрізі оребрена поверхня представляє собою плоску стінку з прямими ребрами прямокутного перерізу, які зовні омиваються розплавом полімеру. Кількість ребер та матеріал для їх виготовлення було обрано згідно з урахуванням внутрішніх фізико-хімічних процесів в реакторі та конструкційними особливостями установки.

Розрахунок теплової ефективності оребреної поверхні включає в себе визначення безрозмірного коефіцієнта теплової ефективності ( $\eta$ ) шляхом співвідношення теплового потоку днища реактору з оребренням та без нього:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2}$$

де  $Q_1$  – тепловий потік днища реактору без оребрення, Вт;  $Q_2$  – тепловий потік днища реактору з оребреною поверхнею, Вт.

Тепловий потік днища реактору без оребрення  $Q_1$ , визначається за формулою:

$$Q_1 = q_1 * F_1 * K$$

де  $q_1$  – густина теплового потоку днища реактору без оребрення, Вт/м<sup>2</sup>;  $F_1$  – площа днища реактору без оребрення, м<sup>2</sup>;  $K$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>\*К).

Густину теплового потоку у випадку лінійної залежності коефіцієнта теплопровідності від температури можна розрахувати за наступною формулою:

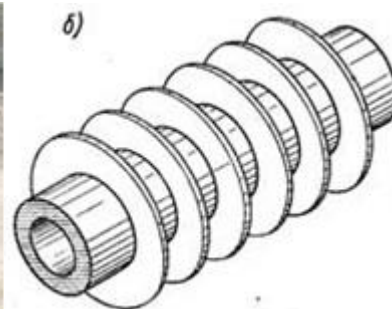
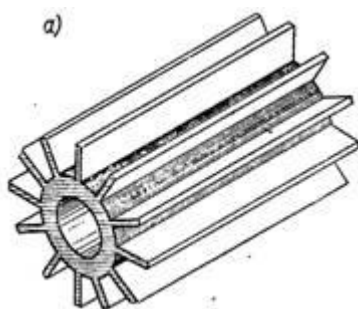


Рис. 3. Конструкції ребер: а – прямі ребра довільної конфігурації в середині реактора; б – кільцеві ребра довільної конфігурації ззовні реактора



$$q_1 = \frac{\lambda}{\delta \cdot \Delta T}$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності днища реактору, Вт/(м\*К);  $\delta$  – товщина днища, м;  $\Delta T$  – різниця температур між зовнішньою стороною днища реактору, що підігрівається зрідженим газом з пального та димовими газами, та внутрішньою його стороною, що омивається розплавленим полімером, °С.

Оскільки реактор має форму циліндра то днище, відповідно, має форму кола. А отже площа реактору без оребрення складається з площі днища реактору та площі циліндра, яку займає розплав полімеру:

$$F_1 = \pi R^2 h + 2 \pi R$$

де  $R$  – радіус днища реактору, м;  $h$  – висота об'єму, що займає розплав полімеру.

Для максимальної тепловіддачі висота, яку займає розплав полімеру, дорівнює висоті ребра.

$$F_1 = 3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 0,25 + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,25 = 1,7663 \text{ (м}^2\text{)}$$

Коефіцієнт теплопередачі або коефіцієнт передачі  $K$  [Вт/м\*К] розраховується для обчислення теплових втрат або теплопередачі. У даному випадку відбувається теплопередача від днища реактору до розплаву полімеру.

Враховуючи конструкційну форму реактору для визначення даного коефіцієнта використаємо формулу лінійного коефіцієнта теплопередачі для циліндричної стінки:

$$K = \frac{1}{R},$$

де  $R$  – загальний опір теплопередачі циліндричної поверхні, м\*К/Вт. Дана величина розраховується за наступною формулою:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

де  $\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі димових газів до стінки реактору, Вт/(м²\*К);

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки реактору до розплаву полімеру, Вт/(м²\*К).

Тепловий потік реактору з оребренням  $Q_2$  розраховується за формулою:

$$Q_2 = q_2 \cdot F_2 \cdot K$$

де  $q_2$  – густина теплового потоку днища реактору з оребренням, Вт/м².

Оскільки матеріал та градієнт температур залишається незмінним, то дана величина буде дорівнювати густині теплового потоку реактору без оребрення:

$$q_2 = q_1$$

$F_2$  – площа днища реактору з оребренням, м², розраховується за формулою:

$$F_2 = F_1 + \sum F_n$$

де  $F_1$  – площа днища реактору без оребрення, м²;  $\sum F_n$  – сума площ ребер реактору, м²:

$$\sum F_n = F^1 + F^2 + F^3 + F^4$$

де  $F^1$ ,  $F^2$  – площа першого та другого циліндрів оребрення, м²:

$$F^1 = F^2 = 2 \cdot \pi R \cdot h$$

де  $R$  – радіус днища реактору, м;  $h$  – висота ребра, м;

$$F^1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,25 \cdot 0,05 = 0,0785 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$F^2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 0,3925 \text{ (м}^2\text{)}$$

$F^3$ ,  $F^4$  – площа листів оребрення, м². Оскільки ребра прямокутного перерізу то їх площу розраховуємо за формулою площі прямокутника, але враховуємо, що ребра мають 2 площі:

$$F^3 = F^4 = 2 \cdot l \cdot h \cdot n$$

де  $l$  – довжина ребра, м;  $n$  – кількість ребер;

$$F^3 = 2 \cdot 0,138 \cdot 0,25 \cdot 8 = 0,552 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$F^4 = 2 \cdot 0,071 \cdot 0,05 \cdot 4 = 0,0284 \text{ (м}^2\text{)}$$

$$\sum F_n = 0,0785 + 0,3925 + 0,552 + 0,0284 = 1,0514 \text{ (м}^2\text{)}$$

Отже, площа днища реактору з оребренням дорівнює:

$$F_2 = 1,7663 + 1,0514 = 2,817 \text{ (м}^2\text{)}$$

Коефіцієнт теплопередачі або коефіцієнт передачі  $K$  [Вт/м\*К] залишається не змінним в обох випадках. Оскільки конструкційна форма реактору залишається незмінною.

Таким чином формула для розрахунку безрозмірного коефіцієнта теплової ефективності ( $\eta$ ) приймає вигляд:

$$\eta = \frac{q_1 \cdot F_1 \cdot K}{q_2 \cdot F_2 \cdot K}$$

Після скорочення формула приймає наступний вигляд:

$$\eta = \frac{F_1}{F_2}, \quad \eta = \frac{1,7663}{2,817} = 0,62.$$

Для комп'ютерного моделювання теплових потоків, використовуючи конструкторську документацію та програмне забезпечення ANSYS, була створена робоча розрахункова сітка для реактора з газоходом (рис. 3). Сітка складається з 550 тис. тетраедричних елементів. Початкова температура продуктів згоряння становить 800 °С, а максимальна витрата – 12 м³/год. Ця модель дозволить оцінити термічні напружки та деформації в реакторі.

Для обчислення моделі задаємо початкові та граничні умови:

$$\text{Об'єм реактора складає: } V_p = 14 \text{ л} = 0,014 \text{ м}^3.$$



Рис. 4. Розрахункова сітка реактора з орбеним газоходом

Вага насипних відходів складає  $\rho_v = 570 \text{ кг/м}^3$  (що відповідає полімерним відходам у спресованому стані).

Звідси маса відходів, які завантажуються в реактор

$$m_v = \rho_v \cdot V_p \cdot 0,014 = 7,98 \text{ кг}$$

Питома енергія, необхідна для розкладу середнього складу відходів у реакторі, становить:  $e_{\text{розкл.}} = 4,6057 \text{ МДж/кг}$

Енергія, необхідна для розкладання відходів масою

$$m_v : E_{\text{розкл.}} = e_{\text{розкл.}} \cdot m_v = 4,6057 \cdot 7,98 = 36,7535 \text{ МДж}$$

За максимальної теплової потужності головного пальника 25 кВт експериментально було встановлено, що час повного розкладу відходів у реакторі становить:  $t_{\text{розкл.}} = 90 \text{ хв.} = 5400 \text{ с}$

Відповідно тепловий потік крізь стінку реактора складає:

$$Q_p = \frac{E_{\text{розкл.}}}{t_{\text{розкл.}}} = \frac{36,7535 \cdot 10^6}{5400} = 6,8062 \text{ кВт}$$

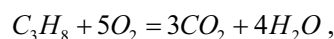
Згідно геометричних розмірів реактора площа поверхні теплообміну його складає  $S_p = \pi \cdot D_p \cdot H_p = 3,14 \cdot 0,194 \cdot 0,48 = 0,2926 \text{ м}^2$ . Теплообмін через дно реактора не враховується, що дозволяє компенсувати нерівномірність теплообміну вздовж реактора, яка виникає через неоднорідний стан речовини всередині нього.

Таким чином, питома тепла напруженість поверхні теплообміну реактора становить:

$$q_p = \frac{Q_p}{S_p} = \frac{6,8062}{0,2926} = 23,2611 \text{ кВт/м}^2$$

За такої теплової напруженості поверхні теплообміну час розкладу відходів у реакторі становитиме 30 хв.

Далі визначаємо витрати продуктів згоряння в газоході, якщо в якості палива для головного пальника використовується пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), що має формулу:



тоді:

$$V_{\text{н.з.}}^o = V_{\text{N}_2}^o + V_{\text{RO}_2}^o + V_{\text{H}_2\text{O}}^o;$$

Витрати повітря необхідного для повного згоряння палива:

$$V^o = 0,0476 \cdot \left(m + \frac{n}{4}\right) \cdot C_m H_n = 0,0476 \cdot \left(3 + \frac{8}{4}\right) \cdot 100 = 23,8 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Витрати азоту:

$$V_{\text{N}_2}^o = 0,79 \cdot V^o = 0,79 \cdot 23,8 = 18,8 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Витрати трьохатомних газів:

$$V_{\text{RO}_2}^o = 0,01 \cdot m \cdot C_m H_n = 0,01 \cdot 3 \cdot 100 = 3 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Витрати водяної пари:

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{O}}^o &= 0,01 \cdot \left(\frac{n}{2} \cdot C_m H_n + 0,0161 \cdot V^o\right) = \\ &= 0,01 \cdot \left(\frac{8}{2} \cdot 100 + 0,0161 \cdot 23,8\right) = 4 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \end{aligned}$$

Тоді витрати продуктів згоряння в газоході:

$$V_{\text{н.з.}}^o = 18,8 + 3 + 4 = 25,8 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Для визначення усередненої щільності продуктів згоряння в газоході, приймаємо початкову та кінцеву температури продуктів згоряння палива:

$$t_n = 900^\circ \text{C}$$

$$t_k \approx 300^\circ \text{C}$$

Знаходимо середню температуру згоряння за довжиною газоходу:

$$\bar{t}_{cp} = \frac{t_n + t_k}{2} = \frac{900 + 300}{2} = 600^\circ \text{C}$$

Середня щільність продуктів деструкції за довжиною газоходу:

$$\bar{\rho}_{\text{н.з.}} = 1,26 \cdot \frac{273}{273 + \bar{t}_{cp}} = 1,26 \cdot \frac{273 + 600}{273} = 0,3940 \text{ кг/м}^3$$

Максимальна витрата горючого газу:

$$B_{\text{газ}} = 1,2 \text{ м}^3 / \text{год} = 0,3333 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$$

Тоді масова витрата продуктів згоряння складає:

$$G_{\text{н.з.}} = V_{\text{н.з.}}^o \cdot B_{\text{газ}} \cdot \bar{\rho}_{\text{н.з.}} = 25,8 \cdot 0,3333 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3940 = 3,39 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Значення граничних умов при моделюванні представлені в табл. 1.

На основі теоретичних розрахунків теплопереносу від гарячих газів до стінки реактора, що базуються на рівнянні збереження енергії, при комп'ютерному моделюванні використовувалась модель ламінарного потоку в газоході. Результати розрахунків включають швидкості та температуру газових потоків по всій довжині газоходу, ці дані наведені

в табл. 2 та представлені на зображеннях руху газів у газоході (рис. 4-7).

Таблиця 1

## Значення граничних умов

| Найменування                                              | Показник                               |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Вхід газоходу:<br>Масові витрати, кг/с<br>Температура, °С | $(0,6 \dots 3,4) \cdot 10^{-3}$<br>900 |
| Вихід газоходу:<br>Тиск за газоходом, Па                  | -60                                    |
| Стінка реактора:<br>Тепловий потік, кВт                   | 6,8                                    |

На рисунках 5-7 представлені дані про температуру газів, швидкості їх руху та втрати тиску в газоході. З рисунка 6 видно, що температура газів поступово знижується з віддаленням від пальника. Продукти згоряння, рухаючись зигзагоподібно, нагрівають корпус реактора до температури 450-600 °С. Рисунок 5 демонструє, що швидкість руху газів зростає до 0,86 м/с при зменшенні перерізу газоходу, не перевищуючи допустимі межі. Для оцінки інтенсивності обігріву реактора димовими газами також було проведено комп'ютерне моделювання руху продуктів згоряння в газоході з показниками втрати тиску.

З рисунка 6 видно, що втрати тиску зростають, але залишаються в межах допустимих норм, особливо в верхній частині газоходу, де підвищення щільності газу викликане звуженням газоходу.

**Висновки.** Розроблено експериментальну установку ЕУ БЦП – 14 для вивчення процесу циркуляційного піролізу. У статті детально описані основні конструктивні елементи стенду. Проведено теоретичні розрахунки та моделювання характеристик теплових потоків як всередині, так і навколо реактора. Результати розрахунків та комп'ютерного моделювання лінії потоку продуктів згоряння в газоході, включаючи показники температури, швидкості газів та витрат тиску, дозволяють:

- Оцінити теплові втрати системи.
- Визначити оптимальні режими роботи реактора.
- Вдосконалити конструкцію газоходу для підвищення ефективності процесу.

Отримані дані також сприяють розробці рекомендацій щодо покращення теплообміну та рівномірного розподілу температурних зон, що забезпечує більш стабільний та контрольований перебіг процесу циркуляційного піролізу.

Завдяки проведеним розрахункам та моделюванню стало можливим визначити вплив конструктивних змін на кінцеві параметри процесу, зокрема

Таблиця 2

## Результати аналізу газового потоку з показниками температури, тиску та швидкості

| Найменування                             | Показники           |                     |                     |                      |                     |                     |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| $V_{\text{газ}}, \text{ м}^3/\text{час}$ | 0,2                 | 0,4                 | 0,6                 | 0,8                  | 1,0                 | 1,2                 |
| $G_{\text{п.з.}}, \text{ кг/с}$          | $0,6 \cdot 10^{-3}$ | $1,1 \cdot 10^{-3}$ | $1,7 \cdot 10^{-3}$ | $2,27 \cdot 10^{-3}$ | $2,8 \cdot 10^{-3}$ | $3,4 \cdot 10^{-3}$ |
| $T_{\text{розкл.}}, \text{ мин}$         | 510                 | 278                 | 180                 | 135                  | 109                 | 90                  |
| $Q_p, \text{ кВт/м}^2$                   | 4,11                | 7,53                | 11,63               | 15,51                | 19,21               | 23,26               |
| $P, \text{ Па}$                          | 1,03                | 1,51                | 2,12                | 2,92                 | 4,07                | 5,78                |



Рис. 5. Напрямки потоку продуктів згоряння в газоході з відображенням температури газів

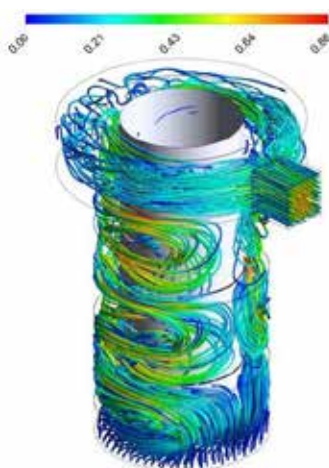


Рис. 6. Напрямки потоку продуктів згоряння в газоході з відображенням швидкості газів



Рис. 7. Напрямки потоку продуктів згоряння в газоході, а також показники втрати тиску



на зменшення втрат тепла та підвищення продуктивності реактора. Отримані результати також є основою для оптимізації подальших експериментальних досліджень, що спрямовані на вдосконалення роботи системи нагріву, зниження енергетичних витрат та покращення якісних характеристик отриманих продуктів піролізу.

Таким чином, проведений аналіз підтверджує доцільність використання чисельного моделювання для прогнозування теплових режимів роботи реактора та оптимізації його конструкційних параметрів. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності процесу утилізації відходів та розвитку екологічно безпечних технологій переробки полімерних матеріалів.

Виходячи з наведеного розрахунку можна стверджувати, що оребрена поверхня реактора збільшує теплову ефективність експериментальної установки на 62%. Створена експериментальна установка надає можливість проведення експериментальних

випробувань для дослідження параметрів процесу БЦП, оптимізації робочих режимів обладнання та виявлення технологічних залежностей.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Поряд з обчислювальними методами, лабораторне експериментування піролізу з циркуляцією може бути використане для допомоги в проектуванні та оптимізації робочих умов і надання даних, необхідних для валідації моделі. Однак під час тривалої роботи при високій температурі та багатьох повтореннях експерименти з піролізом часто є складними, дорогими та вимагають ретельного безпечного налаштування.

Це ще складніше під час проведення експериментів параметричного аналізу з різними робочими умовами. У результаті створення надійних обчислювальних моделей стає вирішальним для промислового проектування та впровадження циркуляційного піролізу.

### Література

1. Маркіна Л. М., Рижков С.С., Рудюк М.В. Установка для непрерывной термической утилизации органических отходов с одержанием жидкого топлива. Патент 50431 України на корисну модель, кл. F23G 5/027. заявл. 03.12.09; опубл. 10.06.2010. Бюл. № 11.
2. Маркіна Л. М., Рижков С.С., Рудюк М.В. Установка непрерывной термической утилизации полимерных отходов. Патент 93427 України на корисну модель, кл. F23G 5/027. заявл. 25.05.2009; опубл. 10.02.2011. Бюл. № 3.
1. Highly efficient conversion of plastic waste into fuel via thermal cracking: Thermo-structural analysis of the pyrolysis reactor and characterization of the final product. Jamal Oufkir, Rachid Cherouaki, Soufiane Zerraf, Said Belaaouad. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2024.02.027>.
2. Integrated method for planning waste management based on the material flow analysis and life cycle assessment. V Bendih, L Markina, N Matsai, I Kurychova, S Boichenko, S Priadko., Oleh Vlasenko Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 121 (10).
3. С. Р. Мельник, Ю. Р. Мельник, З. Г., Проектування та розрахунок технологічних процесів органічного синтезу. Навчальний посібник/Піх. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2005. 448 с.
4. Oufkir, J., Cherouaki, R., Zerraf, S., & Belaaouad, S. (2024). Highly efficient conversion of plastic waste into fuel via thermal cracking: Thermostructural analysis of the pyrolysis reactor and characterization of the final product. *Materials Today*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2024.02.027>
5. Garg, S., Nayyar, A., Buradi, A. et al. A novel investigation using thermal modeling and optimization of waste pyrolysis reactor using finite element analysis and response surface methodology. *Sci Rep* 13, 10931 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37793-8>
6. Czajczyńska Dina, Anguilano Lorna, Ghazal Heba, Krzyżyńska Renata, et al. (2017). Potential of Pyrolysis Processes in the Waste Management Sector. *Thermal Science and Engineering Progress*. 3. 10.1016/j.tsep.2017.06.003.
7. Yassir Makkawi, Yehya El Sayed, Mubarak Salih, Paul Nancarrow, et al. Fast pyrolysis of date palm (*Phoenix dactylifera*) waste in a bubbling fluidized bed reactor, *Renewable Energy*, Volume 143, 2019, Pages 719-730, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.028>.
8. Hosanna Uwitonze, Ayeon Kim, Heehyang Kim, Boris Brigljević, Hoang Vu Ly, Seung-Soo Kim, Mukesh Upadhyay, Hankwon Lim, CFD simulation of hydrodynamics and heat transfer characteristics in gas–solid circulating fluidized bed riser under fast pyrolysis flow condition, *Applied Thermal Engineering*, Volume 212, 2022, 118555, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118555>.
9. Ryzhkov, S., Rudyuk, N., & Markina, L. Research of Thermal Conductivity of the Condensed Mass of the Whole Waste Tires and Determination of Their Optimum Arrangement in the Pyrolysis Reactor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(5), 12-19.
10. Critical factors and risks affecting municipal solid waste management strategies and waste-to-energy generation. L. Markina, S. Vambol, V. Vambol, A. Kowalczyk-Juško, O. Vlasenko, *Advances in Energy from Waste*, 371-402
11. Type of industries, waste options, and their potential. Vambol, L. Markina, V. Vambol, A. Mazur, P. Ziarati, P.A. Martin-Cervantes, *Advances in Energy from Waste*, 175-221.
12. RIA GHOSH, TUMPA HAZRA, INDRANIL MUKHERJEE, USHCATS, Svitlana, OLEH VLASENKO. Evaluating the environmental effects of open dumps and waste farming: A case study: Effects of Open Dumping. *Ecological Questions*. Online. 22 July 2024. Vol. 35, no. 4, pp. 1-27. Accessed 23 February 2025. DOI 10.12775/EQ.2024.046.
13. Оцінка факторів впливу видобутку вугілля на довкілля шляхом кореляційно-регресійного аналізу. Н.О. Д'яченко, О.В. Власенко, А.В. Ковальчук. 2023, Гірничі геологія та геоекологія, 47-66.

## БІОТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТЕХНОГЕННОЇ ЕКОСИСТЕМИ ХВОСТОСХОВИЩА ЯВОРІВСЬКОГО ДГХП «СІРКА»

Нагурський О.А., Вихівська К.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів

Oleg.A. Nahursky@lpnu.ua

У статті досліджено біотичний потенціал техногенної екосистеми, що сформувалася на території колишнього Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка». Розглянуто вплив багаторічної діяльності підприємства з видобутку та переробки сірки на стан навколишнього середовища, зокрема на ґрунти, водний режим та біорізноманіття. Проаналізовано сукцесійні зміни, що відбуваються в рослинних і тваринних угрупованнях на посттехногенній території, та адаптаційний потенціал видів, які її заселяють.

Особливу увагу приділено дослідженню трофічної структури техногенної екосистеми та порівняльній характеристиці природних екосистем, що збереглися на території транскордонного біосферного резервату «Розточчя», та екосистем, що зазнали антропогенного впливу. Виявлено значні відмінності між ними, що проявляються у зниженні біорізноманіття, спрощенні трофічних зв'язків та уповільненні процесів відновлення в техногенних екосистемах.

У статті наголошується на важливості оцінки біотичного потенціалу для розробки ефективних стратегій рекультиваци та відновлення екологічної рівноваги на порушених територіях. Запропоновано шляхи застосування природоорієнтованих методів, таких як фіторе mediaція та заліснення, для відновлення ґрунтового покриву, водного балансу та біорізноманіття. Підкреслено значення транскордонного співробітництва у збереженні та відновленні унікальних природних комплексів, до яких належить біосферний резерват «Розточчя».

Результати дослідження свідчать про значний негативний вплив промислової діяльності на екологічний стан території. Проте, наявність природних процесів сукцесії свідчить про потенціал екосистем до самовідновлення. Ефективна рекультиваци із застосуванням сучасних екологічних методів може сприяти відновленню екосистемного балансу та мінімізації довгострокових наслідків антропогенного впливу. *Ключові слова:* біотичний потенціал, техногенні екосистеми, рекультиваци, біорізноманіття, Яворівське ДГХП «Сірка».

**Biotic potential of the anthropogenic ecosystem of the tailings dump of yavoriv sulphur processing plant. Nahurskyi O., Vykhyvska K.**

The article investigates the biotic potential of the anthropogenic ecosystem formed on the territory of the former Yavoriv State Mining and Chemical Enterprise "Sulphur". The impact of the long-term activity of the enterprise for the extraction and processing of sulfur on the state of the environment, in particular on soils, water regime and biodiversity, is considered. The article analyzes the succession changes that occur in plant and animal communities in the post-technological area and the adaptive potential of the species that inhabit it.

Particular attention is paid to the study of the trophic structure of the anthropogenic ecosystem and the comparative characterization of natural ecosystems preserved in the Roztochya Transboundary Biosphere Reserve and ecosystems that have been affected by anthropogenic impact. Significant differences between them have been identified, which are manifested in a decrease in biodiversity, simplification of trophic relationships, and slower recovery processes in anthropogenic ecosystems.

The article emphasizes the importance of assessing the biotic potential for developing effective strategies for reclamation and restoration of ecological balance in disturbed areas. Ways of applying nature-based methods, such as phytoremediation and afforestation, to restore soil cover, water balance, and biodiversity are proposed. The importance of transboundary cooperation in the conservation and restoration of unique natural complexes, including the Roztochya Biosphere Reserve, is emphasized.

The results of the study indicate a significant negative impact of industrial activity on the ecological state of the territory. However, the presence of natural succession processes indicates the potential of ecosystems for self-healing. Effective reclamation using modern ecological methods can help restore ecosystem balance and minimize the long-term effects of anthropogenic impact. *Key words:* biotic potential, anthropogenic ecosystems, reclamation, biodiversity, Yavoriv State Mining and Chemical Enterprise "Sulphur".

**Постановка проблеми.** Біотичний потенціал екосистеми визначає її здатність підтримувати стабільне біорізноманіття, регулювати природні процеси та відновлюватися після впливу зовнішніх факторів. У природних умовах цей потенціал забезпечується розгалуженими трофічними зв'язками та високою адаптивністю живих організмів. Втім, у техногенних екосистемах, що утворилися на місці промислових об'єктів, біотичний потенціал є суттєво знижений через деградацію ґрунтів,

зміну водного режиму та забруднення хімічними речовинами.

Яворівський ДГХП «Сірка» є одним із яскравих прикладів техногенно порушених територій, де процеси природної сукцесії відбуваються повільно через несприятливі екологічні умови. Дане підприємство здійснювало свою виробничу діяльність у межах транскордонного біосферного резервату «Розточчя», розташованого на кордоні Польщі та України. Українська частина резервату, включена до

Всесвітньої мережі біосферних резерватів (2011 р.) та трансформована у транскордонний біосферний заповідник (2019 р.), характеризується унікальним поєднанням природних зон і високим рівнем біорізноманіття [1]. Діяльність Яворівського ДГХП «Сірка», що здійснювалась з 1964 р. до 2006 р., мала значний вплив на природні екосистеми, спричинивши забруднення водних ресурсів, деградацію ґрунтів, втрату біорізноманіття та зміну екосистемних функцій [2-5].

Важливим аспектом відновлення екосистем є оцінка біотичного потенціалу території. Біотичний потенціал визначає здатність екосистеми підтримувати стабільне біорізноманіття, відновлюватися після порушень та адаптуватися до нових умов. У природних екосистемах цей потенціал забезпечує баланс популяцій та їхню стійкість до змін середовища, тоді як у техногенно порушених ландшафтах його відновлення вимагає активного екологічного менеджменту та застосування природоорієнтованих підходів до рекультивації.

Основними показниками біотичного потенціалу є рівень біорізноманіття, відновлення рослинного покриву, чисельність і різноманітність тварин, стабільність трофічних ланцюгів, а також здатність екосистеми до саморегуляції. Дослідження видового складу рослин і тварин на посттехногенних територіях дозволяє оцінити їхню здатність до виживання в екстремальних умовах та механізми природної сукцесії. Наприклад, використання стійких до забруднення видів рослин сприяє очищенню ґрунтів і стабілізації екосистем [6-7].

Екосистемна характеристика території Яворівського ДГХП «Сірка» свідчить про суттєве порушення біотичних компонентів та необхідність заходів щодо їх відновлення. Особливу увагу слід приділити відновленню ґрунтового покриву, водного балансу, формуванню стійких біоценозів та забезпеченню умов для природної сукцесії. Важливими заходами є рекультивація, біологічне відновлення, реінтродукція втрачених видів і створення сприятливих умов для розвитку природних екосистем [8-13].

Аналіз біотичного потенціалу дозволяє оцінити ефективність рекультиваційних заходів, прогнозувати екологічні зміни та розробляти стратегії відновлення природного середовища. Врахування біотичного потенціалу у процесах рекультивації сприятиме мінімізації техногенного впливу, підвищенню стійкості екосистем і збереженню біорізноманіття у межах транскордонного біосферного резервату «Розточчя».

**Матеріали та методи.** У дослідженні використано просторові дані, картографічні матеріали, зокрема, карта функціонального зонування біосферного резервату «Розточчя», (рис. 1) та екологічні характеристики території. Інформація була зібрана на основі аналізу літературних джерел, результатів польових досліджень та даних дистанційного зондування. Польові дослідження включали маршрутні

обстеження та візуальні спостереження. Даний метод полягає у безпосередньому спостереженні та реєстрації видів, що зустрічаються на маршруті дослідження. Він є особливо ефективним для вивчення великих та добре помітних організмів, таких як дерева, чагарники, великі ссавці, птахи тощо. Це прямий метод вивчення взаємодії між організмами у природному середовищі. Структуру дослідження подано за наступними блоками:

- Опис природних екосистем (лісових, лучно-степових, болотних).
- Аналіз техногенних екосистем (хвостосховище, кар'єри, відвали, кислотні озера).
- Порівняльна характеристика природних і техногенних ділянок з врахуванням ґрунтових, водних та біологічних параметрів.

**Результати.** Техногенні об'єкти Яворівського ДГХП «Сірка» розташовані у регіоні Розточчя – природному і культурному прикордонному районі, що межує з Львовом (Україна) та Замостям (Польща). Загальна площа української частини транскордонного біосферного резервату складає 74 887 га, а вся територія заповідника – 371 902 га. Функціональне зонування резервату включає:

- Природне ядро (3325 га);
- Буферну зону (11 800 га);
- Транзитну зону (59 762 га).

Територія біосферного заповідника включає типові для Розточчя ліси (47,1%), луки (8,4%), водно-болотні угіддя (1%), водні екосистеми (3,5%) [14].

Лісові масиви є одним із ключових елементів території. Серед домінуючих деревних порід – дуб звичайний (*Quercus robur*), бук лісовий (*Fagus sylvatica*), сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) та граб звичайний (*Carpinus betulus*). Фауна представлена великим числом видів, зокрема козулею європейською (*Capreolus capreolus*), кабаном диким (*Sus scrofa*), білкою звичайною (*Sciurus vulgaris*), а також різноманітними видами птахів (сова сіра *Strix aluco*, дятел строкатий *Dendrocopos major*). Промислове видобування сірки призвело до фрагментації лісових масивів, що має негативний вплив на місцеве біорізноманіття.

Лучно-степові екосистеми відкритих ділянок, що збереглися в околицях техногенних територій, характеризуються типово для лучно-степових зон. Флора представлена ковилою волосистою (*Stipa capillata*), шавлею лучною (*Salvia pratensis*) та тимофіївкою лучною (*Phleum pratense*). Фауна включає дрібних ссавців (мишки, полівки) та степових птахів (жайворонок польовий *Alauda arvensis*, перепілка звичайна *Coturnix coturnix*). Проте, поступове заростання чагарниками та зменшення площ типових степових фрагментів під впливом антропогенних факторів створюють загрозу для даних екосистем.

Болотні екосистеми регулюють водний режим території та сприяють збереженню високого рівня біорізноманіття. Вони є осередками для рідкісних

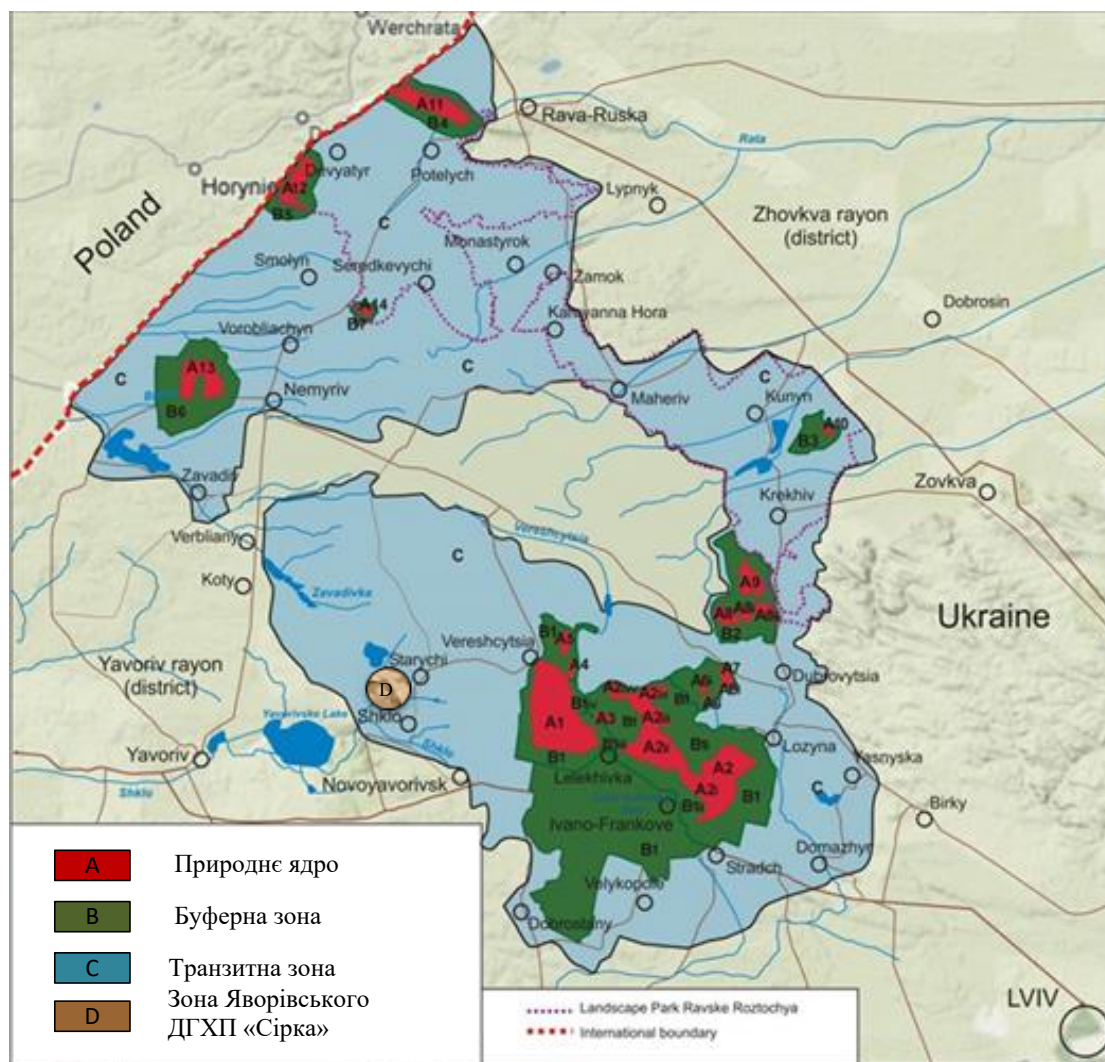


Рис. 1. Карта функціонального зонування біосферного резервату «Розточчя»

видів рослин і тварин, пристосованих до умов підвищеної вологості.

Унікальність регіону «Розточчя» полягає у поєднанні лісів, луків, боліт та водойм. Резерват розташований на стику різних природних зон, що забезпечує високий рівень видового різноманіття. Територія належить до екорегіону змішаних лісів Центральної Європи, з південним впливом Карпатського лісового екорегіону. Поряд із цим, територія виконує роль природного бар'єру для поширення окремих видів, наприклад, бука європейського, поширення якого обмежено північно-східною межею [15-19].

У цій роботі досліджували техногенні екосистеми, що сформувалися на території хвостосховища Яворівського ДГХП «Сірка» (рис. 1), яке використовується для складування відходів видобутку та переробки сірки. На його території сформувалися особливі екосистеми, які характеризуються своїми специфічними ознаками. Територія хвостосховища має плоску або слабкохвилясту топографію з нерівностями, сформованими внаслідок відкладання

шламів та відходів виробництва. Після припинення виробництва сірки сформовані техногенні ґрунти з високим рівнем засоленості та хімічного забруднення (сульфати, важкі метали, токсичні сполуки), бідні на органічні речовини (рис. 2). На частині території розвиваються рудеральні екосистеми, де поширені стійкі до забруднення види, зокрема осот (*Cirsium*), щавель кінський (*Rumex confertus*), кропива дводомна (*Urtica dioica*). На початкових стадіях сукцесії переважають галофітні види (солянка, кермек). Місцево проводяться заходи з висаджування деревно-чагарникових насаджень (сосна звичайна, береза) для стабілізації ґрунтів. Різноманіття рослинного покриву є низьким через екстремальні умови середовища.

Тваринний світ представлений переважно безхребетними видами, адаптованими до засоленних умов (комахи, павукоподібні). Серед хребетних переважно перебувають птахи, зокрема водоплавні та болотні види (Крижень (*Anas platyrhynchos*), Чирянка мала (*Anas crecca*), Сіра чапля (*Ardea*





Рис. 2. Фрагмент техногенної екосистеми, що утворилася на території хвостосховища

*cinerea*)), тоді як ссавці зустрічаються рідко через обмежену кормову базу.

Важливим показником екологічного стану екосистеми є її трофічна структура. Вона відображає структуру живлення організмів, механізми кругообігу речовин та потоки енергії. Трофічна структура визначає стабільність екосистеми, її продуктивність і здатність до самовідновлення. У природних екосистемах, таких як лісові, лучно-степові та болотні біоценози біосферного резервату «Розточчя», трофічні ланцюги мають розгалужену багаторівневу структуру, що сприяє їхній екологічній стійкості.

На першому трофічному рівні знаходяться продуценти – рослини, які за допомогою фотосинтезу акумулюють сонячну енергію. До них належать дерева (дуб, бук, сосна), трав'янисті рослини (ковила, шавлія, тимофіївка), водні макрофіти (очерет, осока). Ці види формують основу живлення для консументів першого порядку – трав'яїдних тварин, серед яких козуля, білка, гризуни, водні безхребетні та деякі птахи.

Консументи другого порядку – це хижаки та комахоїдні організми, які регулюють чисельність популяцій трав'яїдних видів. У природних екосистемах до них належать сова сіра, яструб, лисиця, ласка, а також водоплавні птахи (крижень, чапля). Завершують трофічний ланцюг редуценти – бактерії, гриби та детритофаги, які забезпечують розкладання органічних залишків і повернення поживних речовин у ґрунт або воду.

У техногенних екосистемах, що виникли на території хвостосховища і кар'єрів, трофічні ланцюги є значно спрощеними. Через екстремальні умови середовища тут проживають лише стійкі до

забруднення види рослин (осот, кропива, солянка), невелика кількість комах і дрібних гризунів, тоді як чисельність хижаків та редуцентів є обмеженою. Це робить техногенні екосистеми менш стабільними, з низькою продуктивністю і повільними сукцесійними процесами.

Порівняльні характеристики природних та техногенних екосистем наведені у таблиці 1.

**Обговорення.** Одним із ключових факторів, що визначають структуру та функціонування екосистем є ґрунтові умови. Вони впливають на видовий склад рослинності, продуктивність біоценозів, стійкість до змін середовища та здатність до самовідновлення. У природних екосистемах, зокрема лісових, лучно-степових і болотних біоценозах біосферного резервату «Розточчя», ґрунти характеризуються високим рівнем родючості, добре розвинутим гумусовим шаром і стабільними фізико-хімічними властивостями. На хвостосховищі Яворівського ДГХП «Сірка», ґрунтові умови є вкрай несприятливими для розвитку біоти. Вони характеризуються високою засоленістю, кислотністю, низьким вмістом гумусу, порушеною структурою та наявністю токсичних речовин (важкі метали, сульфати, залишки промислових відходів). У таких умовах процеси ґрунтоутворення відбуваються дуже повільно, що значно обмежує розвиток рослинності та біотичних угруповань [20].

Аналіз трофічної структури показав, що у природних екосистемах біосферного резервату «Розточчя» є високий біотичний потенціал завдяки розгалуженим трофічним зв'язкам, великій кількості видів та їхній здатності до адаптації. Лісові екосистеми

Таблиця 1

## Основні відмінності між природними та техногенними екосистемами

| Показник екосистеми     | Природні екосистеми                                         | Техногенні екосистеми                                                  |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Ландшафт та ґрунти      | характеризуються родючими ґрунтами з високим вмістом гумусу | знеблені, засолені та еродовані ґрунти                                 |
| Біорізноманіття         | високий видовий склад флори та фауни                        | домінують стійкі до забруднення види з менш різноманітними біоценозами |
| Водні екосистеми        | є чистими                                                   | характеризуються підвищеною кислотністю та мінералізацією              |
| Сукцесія та відновлення | мають високу здатність до самовідновлення                   | потребують тривалих рекультиваційних заходів.                          |

з різноманітним рослинним покривом (дуб, бук, сосна, граб) та багатою фауною (козуля, білка, сова, лисиця) демонструють високу саморегуляцію і стійкість до природних змін. Лучно-степові та болотні екосистеми, хоча і більш вразливі до антропогенних впливів, також володіють значним біотичним потенціалом через здатність рослин і тварин швидко пристосовуватися до змін умов середовища.

Натомість у техногенних екосистемах біотичний потенціал є низьким. Забруднені та засолені ґрунти хвостосховищ, нестача поживних речовин і води, високий рівень токсичних речовин суттєво обмежують можливості розвитку флори та фауни. Тут домінують стійкі до несприятливих умов рослини (осот, кропива, солянка) і невелика кількість адаптованих тварин, що значно знижує рівень біорізноманіття. Процеси природної сукцесії проходять повільно, і без втручання людини (рекультивация, фіторе mediaція) відновлення екосистеми може тривати століттями.

Результати дослідження підтверджують, що територія Яворівського ДГХП «Сірка» зазнала істотних змін внаслідок інтенсивної промислової діяльності. Аналіз структури природних та техногенних екосистем показав значні відмінності між ними, що проявляється в деградації ґрунтів, зміні гідрологічного режиму та зниженні рівня біорізноманіття. Особливо важливими є зміни в хімічному складі ґрунтів і води, що визначає умови існування рослинних і тваринних угруповань.

Незважаючи на значні екологічні порушення, спостерігається природне заростання техногенних територій, що вказує на потенціал екосистем до самовідновлення. Виявлено, що на початкових стадіях сукцесії домінують рудеральні та галофітні види, що свідчить про адаптацію до екстремальних умов. Водночас відсутність достатньої кількості органічної речовини та висока мінералізація ґрун-

тів значно уповільнюють процеси екологічної реабілітації.

Дані дослідження також підкреслюють важливість транскордонного підходу до управління природоохоронними територіями, адже регіон «Розточчя» виконує функцію екологічного коридору для багатьох видів. Збереження його екосистем потребує комплексного підходу, що включає моніторинг екологічного стану, рекультиваційні заходи та міжнародну співпрацю.

Таким чином, результати дослідження є важливими для розробки подальших стратегій екологічного відновлення регіону та мінімізації антропогенного впливу. Використання природоорієнтованих методів рекультивации може стати основою для довготривалого відновлення екосистемного балансу та підтримання сталого розвитку біосферного резервату.

**Висновки.** Дослідження впливу промислової діяльності Яворівського ДГХП «Сірка» на екосистеми біосферного резервату «Розточчя» показало, що тривала експлуатація сірчаних родовищ спричинила значні екологічні зміни. Основними наслідками стали деградація ґрунтів, забруднення водних ресурсів, фрагментація лісових масивів та скорочення біорізноманіття. Порівняльний аналіз природних та техногенних екосистем вказує на різке зниження рівня екологічної стійкості в зонах промислового впливу. Водночас дослідження показали наявність природних процесів сукцесії, що свідчить про можливість екологічної реабілітації територій. Ефективна рекультивация із застосуванням природоорієнтованих методів, таких як фіторе mediaція та заліснення, може сприяти відновленню екосистемного балансу. Транскордонний статус біосферного резервату відкриває перспективи міжнародної співпраці для збереження та відновлення унікального природного комплексу.

## Література

1. Біосферний резерват «Розточчя» / ред.-упоряд. С. Стойко, А.-Т. Башта, Ю. Зінько, М. Гарасім'юк. Львів: ЗУКЦ, 2015. 224 с.
2. Про припинення Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка»: Наказ Міністерства промислової політики України від 27.06.2006 № 230. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0230581-06#Text> (дата звернення: 11.02.2025).

3. Про розв'язання соціально-економічних та екологічних проблем у Яворівському та Жидачівському районах Львівської області : Постанова Кабінету Міністрів України від 21.06.1995 № 442. URL: [https://zakononline.com.ua/documents/show/176837\\_\\_176902?utm\\_source=chatgpt.com](https://zakononline.com.ua/documents/show/176837__176902?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 07.02.2025).
4. Про затвердження проекту відновлення екологічної рівноваги та рекультивації порушених гірничими роботами земель Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка» : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2003 р. № 87-р. URL: [https://www.kmu.gov.ua/npras/152879?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.kmu.gov.ua/npras/152879?utm_source=chatgpt.com). (дата звернення: 17.01.2025).
5. Генік Я.В., Заячук В.Я. Сукцесії рослинності на посттехногенних територіях зони діяльності яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «СІРКА». *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.16. С. 93–99.
6. Білан Н. М., Чернявська Т. Є. Відновлення техногенно-порушених територій: сучасний стан та перспективи. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2019.
7. LaRue, E. A., Hardiman, B. S., Elliott, J. M., & Fei, S. (). Structural diversity as a predictor of ecosystem function. *Environmental Research Letters*. 2019. № 14(11), 114011. DOI 10.1088/1748-9326/ab49bb
8. Hou, H., & Shi, Y. (2021). Ecosystem-as-structure and ecosystem-as-coevolution: A constructive examination. *Technovation*. 2021. № 100, 102193.
9. Романчук Л.Д., Ціпан Ю.Р., Грицюк В.В., Миронець М.А. Зміни екосистемних послуг ґрунту під впливом антропогенних факторів. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 127. С. 391–399. doi.org/10.32851/2226-0099.2022.127.50.
10. Безлатня Л.О., Матківський М.П., Лозінська Т.П. Біорізноманіття як основа екосистемних послуг: оцінка, збереження та відновлення. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 135. Ч. 1. С. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.2>.
11. Beaury, E. M., Finn, J. T., Corbin, J. D., Barr, V., & Bradley, B. A. (2020). Biotic resistance to invasion is ubiquitous across ecosystems of the United States. *Ecology Letters*. 2020. № 23(3). С. 476–482.
12. Xiong, W., Jousset, A., Li, R., Delgado-Baquerizo, M., Bahrām, M., Logares, R., & Geisen, S. A global overview of the trophic structure within microbiomes across ecosystems. *Environment International*. 2021. № 151, 106438.
13. Loch, J. M., Walters, L. J., & Cook, G. S. Recovering trophic structure through habitat restoration: A review. *Food Webs*. 2020. № 25, e00162.
14. Андрійчук В. М. Розточчя: природні комплекси та біорізноманіття. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2018.
15. Головач О. Л. Вплив техногенної діяльності на ландшафти Яворівщини. *Геоекологічний журнал*. 2020.
16. Природний заповідник «Розточчя»: охорона та відновлення біорізноманіття / Під ред. М. Ковальчука. Київ: Наукова думка, 2021.
17. Бродович Т. С. Геохімічні особливості ґрунтів Яворівського промислового району. Львів: Видавництво ЛНУ, 2019.
18. Шевчук В. Г. Вплив кислотних водойм на гідробіонтів у зоні техногенного впливу. *Екологічний журнал*. 2022.
19. Дослідження екологічного стану техногенних територій Львівщини / Львів: Наукова думка, 2023.
20. Nahurskyi O., Vykhivska K., Krylova H., Vasiichuk V., Kachan S., Nahursky A., Bogatov O., Pavlenko O., Orobchuk O. Study of ecosystem Edaphic components in the tailings storage of a decommissioned sulfur mining enterprise. *Ecol. Eng. Environ. Technol.* 2025. 4. URL: <http://www.ecoeet.com/Study-of-ecosystem-Edaphic-components-in-the-tailings-storage-of-a-decommissioned,200623,0,2.html> (дата звернення: 12.02.2025).

УДК 504: 621.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.43>

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ВИБОРУ ГЕНЕРАТОРА

Пронь О.В.

Державний університет «Київський авіаційний інститут»

пр. Любомира Гузара, 1, 03058, м. Київ

oleksandr.pron@npp.nau.edu.ua

В роботі розглянуто важливість комплексного підходу до раціонального вибору генератора. Метою роботи є розробка алгоритму вибору генератора на основі методики експертних оцінок.

Розроблений алгоритм вибору генератора здійснюється на основі вагових критеріїв. Методом експертних оцінок були визначені та обрані дані критерії, шляхом обговорення та узгодження групою експертів. До них ввійшли: релейні: автоматичний запуск; сертифікація та стандартизація; сервісне обслуговування; система стабілізації напруги (AVR); відповідність екологічним стандартам; кількісні: потужність; рівень шуму; витрати палива; час безперервної роботи; вартість; експлуатаційні витрати; об'єм паливного бака; якісні: надійність та довговічність; зручність інтерфейсу; зворотній зв'язок з виробником; інструкція та документація.

В роботі пропонуються універсальні шаблони та алгоритми, які допомагають визначити оптимальний варіант генератора для різних умов експлуатації, спираючись на кількісні, якісні та релейні критерії.

Результати дослідження демонструють можливість значного зниження екологічного навантаження при збереженні економічної та технічної ефективності, що підкреслює важливість інтеграції екологічних критеріїв у процес прийняття рішень щодо вибору генераторів. Встановлено, що інтеграція екологічних критеріїв у процес прийняття рішень щодо вибору генераторів сприяє зниженню екологічного навантаження на навколишнє середовище, зокрема за рахунок зменшення шкідливих викидів.

В роботі визначені подальші дослідження, які будуть спрямовані на інтеграцію інших факторів, таких як варіативність вартості палива, прогнозування змін у законодавстві щодо викидів та аналіз життєвого циклу генераторів. Це дозволить сформулювати оптимізаційну математичну модель, яка персонально формулюватиме вимоги для вибору електрогенератора та відповідатиме заданим умовам. *Ключові слова:* раціональний вибір генераторів, метод експертних оцінок, комплексний підхід, шкідливі викиди електрогенераторів.

### A comprehensive approach to rational generator selection. Pron O.

The work considers the importance of a comprehensive approach to rational generator selection. The aim of the work is to develop a generator selection algorithm based on the expert assessment method.

The developed generator selection algorithm is based on important criteria. These criteria were determined and selected by the expert assessment method, through discussion and agreement by a group of experts. These criteria included: relay: automatic start; certification and standardization; service; voltage stabilization system (AVR); compliance with environmental standards; quantitative: power; noise level; fuel consumption; continuous operation time; cost; operating costs; fuel tank volume; qualitative: reliability and durability; interface convenience; feedback from the manufacturer; instructions and documentation.

The work offers universal templates and algorithms that help determine the optimal generator option for various operating conditions, based on quantitative, qualitative, and relay criteria.

The results of the study demonstrate the possibility of significantly reducing the environmental load while maintaining economic and technical efficiency, which emphasizes the importance of integrating environmental criteria into the decision-making process regarding the selection of generators. It has been established that the integration of environmental criteria into the decision-making process regarding the selection of generators contributes to the reduction of the environmental burden on the environment, in particular by reducing harmful emissions.

The work identifies further research that will be aimed at integrating other factors, such as fuel cost variability, forecasting changes in emissions legislation and generator life cycle analysis. This will allow formulating an optimization mathematical model that will personally formulate the requirements for selecting an electric generator and meet the given conditions. *Key words:* rational selection of generators, expert assessment method, integrated approach, harmful emissions of electric generators.

**Постановка проблеми.** Війна в нашій державі, яку розпочала Росія призводить до економічних, енергетичних, соціальних та багатьох інших витрат та втрат. Ворог не зупиняється та систематично руйнує інфраструктуру нашої держави, а особливо руйнує нашу енергетику. З жовтня 2022 року завдає масованих ракетних та безпілотних ударів. На 2023 рік втрати України становили 90% вітрової,  $\frac{3}{4}$  теплової та майже 50% атомної (через окупацію Запорізької АЕС),  $\frac{1}{3}$  сонячної генерації та інші [1].

Існування без енергетичної інфраструктури не завжди про комфорт населення, хоча і це в наш час надзвичайно важливо. Вкрай важливішим є забезпечення безперебійної подачі електроенергії в медичній сфері, малі підприємства та великі виробничі об'єкти, офісні будівлі, освітні установи, а також житлові комплекси. Важливо також розуміти, що раптовий збій у подачі електроенергії та, відповідно, її вимкнення, планові ремонтні роботи або аварію на лінії можуть призвести до пошкодження обладнання з чутливою електронною системою [1].



Тому керівництвом нашої держави була прийнята постанова про спрощення завезення в Україну енергетичного обладнання, зокрема генераторів і трансформаторів [2].

Але не раціональний вибір самого генератора створюватиме проблему якості повітря селітебної території. Загалом цю проблему формують транспорт та транспортна інфраструктура, електрогенератори (дизельні, бензинові, газові), промисловість та інші. Транспорт та генератори є важливими джерелами викидів шкідливих речовин в атмосферу. Вони викидають різні види забруднювачів, включаючи вуглекислий газ, оксиди азоту, сірковий діоксид та важкі метали [3]. Тому потрібний комплексний підхід до раціонального вибору генератора під конкретні завдання.

**Актуальність дослідження.** Актуальність теми дослідження «Комплексний підхід до раціонального вибору електрогенератору» зумовлена сучасними викликами, з якими стикається Україна через війну, розв'язану Росією. Постійні ракетні та безпілотні атаки на енергетичну інфраструктуру країни змушують споживачів електроенергії масово використовувати електрогенератори, що, в свою чергу, впливає на екологічну ситуацію в містах та селищах.

В умовах зростаючого попиту на електроенергію та необхідності зменшення негативного впливу на навколишнє середовище розробка ефективних методів вибору генераторів стає надзвичайно актуальною.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження спрямоване на розробку комплексного підходу до вибору електрогенераторів, який враховує енергетичні, економічні та екологічні аспекти. Враховуючи сучасні реалії, коли в Україні через війну, розв'язану Росією енергетична система зазнає значних руйнувань, а потреба в автономних джерелах електроенергії зростає, результати дослідження сприятимуть раціоналізації процесу вибору генераторів для різних категорій споживачів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми шкідливих викидів в атмосферу присвячено безліч робіт. Бекетов В.Є в своїй роботі досліджував рівень забрудненості [4]. Колектив авторів [5] досліджували вплив діяльності сільськогосподарських підприємств на навколишнє природне середовище.

Державна екологічна інспекція України ставить розв'язання проблем правової охорони атмосферного повітря одним із пріоритетних своїх завдань [6].

Розвитком і вдосконаленням систем моніторингу стану атмосферного повітря займаються багато авторських колективів [7-8].

Сьогодні активно онлайн-сервіс SaveEcoBot інформує про інструменти захисту довкілля, а також дозволяє моніторити інформацію про забруднення України. За допомогою SaveEcoBot можна легко

знайти та впорядкувати: інформацію про якість повітря; про радіаційний фон; про пожежі; метеорологічні дані; інформацію про кількість і типи воєнних злочинів; та багато іншого. На рис. 1. представлено середній індекс якості повітря в Києві за період з 27 січня 2022 року по 26 січня 2025 року. З якого видно, що сервіс проаналізував динаміку середнього індексу якості повітря (AQI) для дрібнодисперсного пилу фракції PM<sub>2.5</sub> у місті Київ. Цей аналіз базується на даних, які розраховувалися за формулою NowCast (US EPA), та враховували різні метеорологічні показники (такі як швидкість вітру та відносна вологість). Дані дослідження характеризують основні тенденції змін якості повітря, впливу сезонних факторів, метеорологічних умов та впливу електрогенераторів в надзвичайні періоди масового відключення електроенергії.

Що стосується саме оцінки якості атмосферного повітря в Україні під час воєнних дій, то результати таких досліджень висвітлені в наступних працях [10-12].

Долженков О.В. присвячує свої наукові праці [13] вивченням наслідків впливу ракетних ударів на стан атмосферного повітря в Україні. Та зауважує, що у 2012 році ВООЗ склала рейтинг за кількістю смертей від забруднення повітря і Україна зайняла шосте місце в топі з 10 країн за показником 120 осіб на кожні 100 000 людей. І констатує, що невтішні результати були значно покращені за довоєнний період завдяки скороченню обсягів надходження шкідливих речовин у повітря.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Але проведений аналіз науково-практичної літератури [4, 5, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18] свідчить, що недостатньо вирішені питання щодо комплексного підходу до раціонального вибору електрогенератору, який буде мінімізувати вплив викидів шкідливих речовин на селітебну територію та максимізувати прибутки.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Методологічне значення полягає у розробці алгоритмів та методів вибору генераторів на основі поєднання економічних розрахунків, екологічних обмежень та енергетичних параметрів. Запропоновані методи можуть бути використані не лише в наукових дослідженнях, а й у практичній діяльності підприємств, державних установ та приватних споживачів, які потребують ефективних рішень для автономного енергозабезпечення.

**Викладення основного матеріалу.** Отже, для раціонального вибору електрогенератора проводилася комплексна робота, яка дозволила розробити алгоритм вибору генератора на основі методики експертних оцінок. Зазначимо, що вихідними даними для заповнення матриці є відомості по електрогенераторах на основі технічних характеристик, а також з врахуванням всіх додаткових вимог.

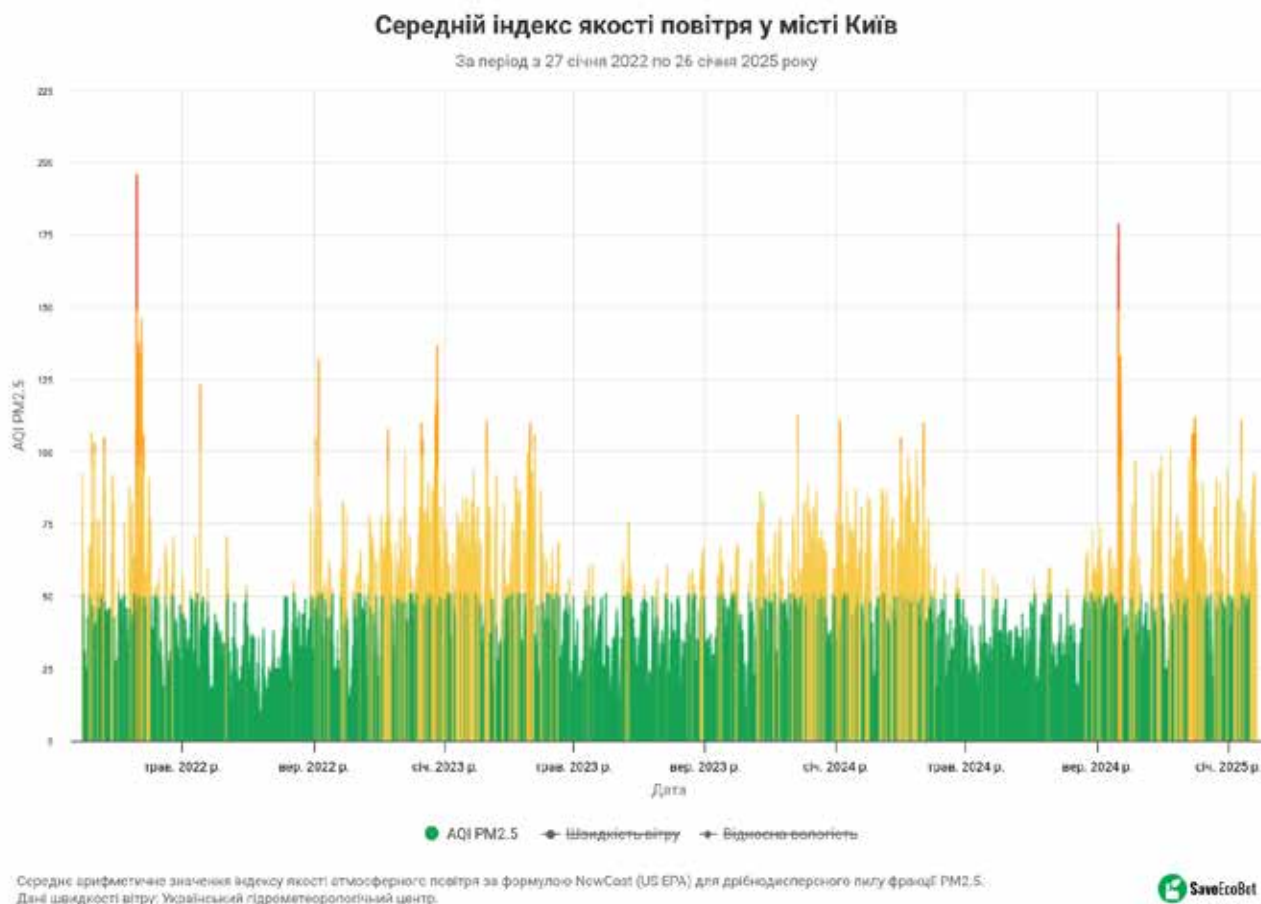


Рис. 1. Середній індекс якості повітря в Києві [10]

Джерело: розроблено автором за допомогою сервісу [14]

Автором було розроблено алгоритм вибору генератора на основі методики експертних оцінок, який представлений на рис. 2.

Отже, давайте більш детально розглянемо алгоритм вибору генератора, вважаючи що вибір здійснюється на основі кількісних, якісних та релейних показників:

1. Вибір показників (критеріїв) для оцінки вибору генератора.
2. Група показників (релейні(так, або ні), кількісні та якісні).
3. Вибір генераторів серед претендентів.
4. Формування загальної таблиці показників для всіх генераторів.
5. Перевірка відповідності показників за всіма основними обмеженнями (тут буде 2 сценарію: так або ні).
6. Ранжування показників, та розрахунок інтегральних оцінок (рейтенгу) для вибору генератора, що залишилися: а) визначення вагових коефіцієнтів; б) розрахунок кількісних показників; в) розрахунок якісних показників.
7. Вибір найкращого генератора.

За допомогою групи експертів були визначені та обрані шляхом обговорення та узгодження наступні критерії:

- до релейних: автоматичний запуск; сертифікація та стандартизація; сервісне обслуговування; система стабілізації напруги (AVR); відповідність екологічним стандартам;
- до кількісних критеріїв: потужність; рівень шуму; витрати палива; час безперервної роботи; вартість; експлуатаційні витрати; об'єм паливного бака;
- до якісних: надійність та довговічність; зручність інтерфейсу; зворотній зв'язок з виробником; інструкція та документація.

Автор в своїй роботі [15] вказує, що метод експертних оцінок базується на використанні досвіду, інтуїції та знань експертів – спеціалістів у певній фаховій галузі. В нашому випадку експерти – це високопрофесійні фахівці, з великим практичним досвідом у галузі енергетики.

Отже в таблиці 1 представлені основні критерії, які можна застосовувати при виборі електрогенератора. Але звичайно, що підбір критеріїв можна конкретно проводити під індивідуальне завдання,

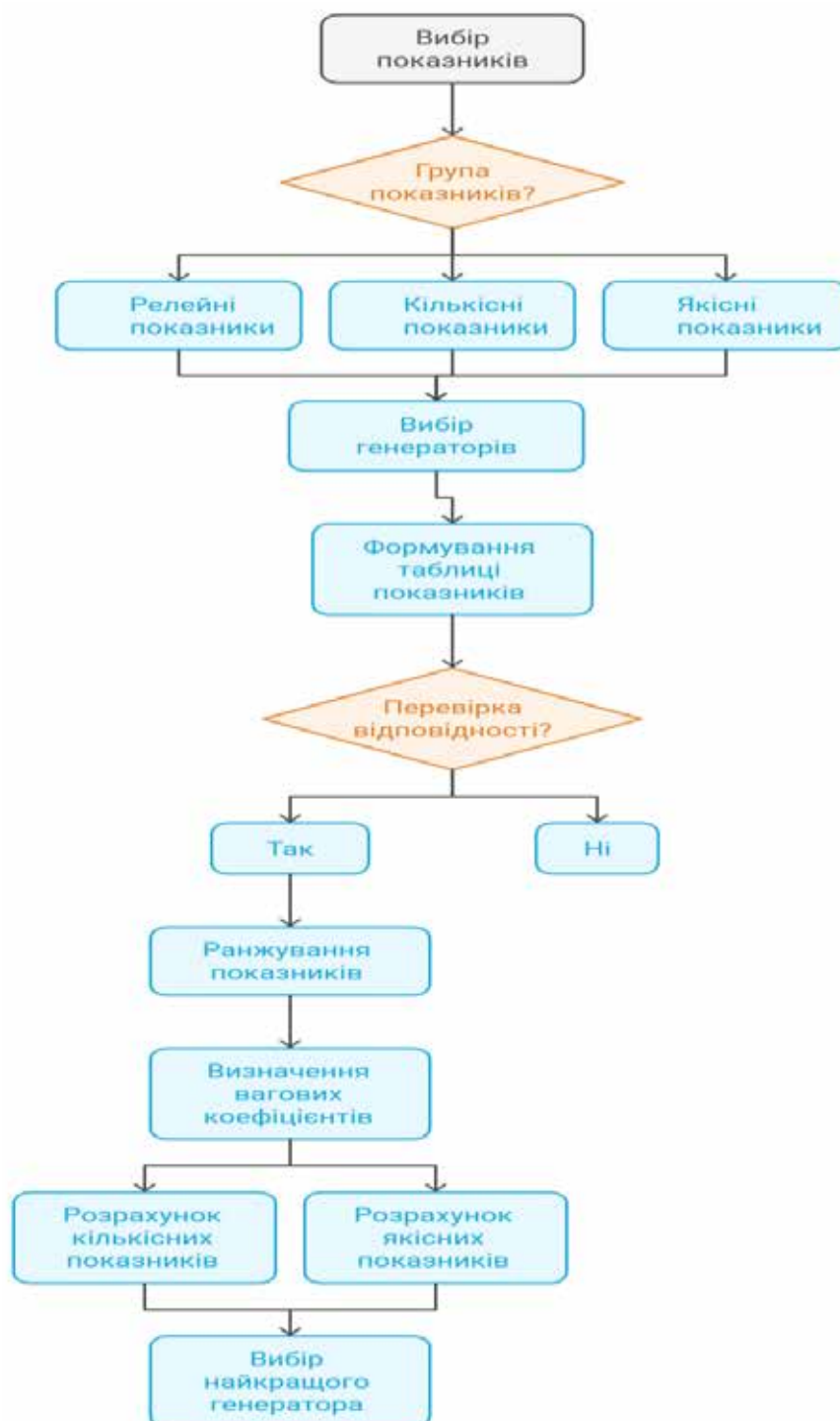


Рис. 2. Алгоритм вибору генератора

яке ставиться при виборі генератора. Тобто для яких потреб він потрібний, на якому паливі буде працювати, виробник і так далі.

На першому етапі перевіряють релейні показники та виключаються зі списку ті варіанти де є показник «ні».

Автори в своїй роботі [15] пропонують ранжування критеріїв відносно рівня їхньої важливості. Та стверджують що «на практиці має місце як повний,

так і частковий порядок ранжування локальних критеріїв, за якого можлива наявність критеріїв, які мають однаковий рівень важливості. Порядок ранжування є основою для розрахунку їхніх вагових коефіцієнтів» [16]. В нашому випадку в таблицях 1, 3, 5 представлений ранг критеріїв, які були вибрані в традиційному порядку тобто ранг 1 – найвищий, ранг 11 – найнижчий.

Наступним етапом проводиться розрахунок вагових коефіцієнтів для кількісних і якісних критеріїв

Таблиця 1

## Основні критерії для вибору генератора

| Номер<br>п/п        | Критерій                             | Генератори        |           |           | Ранг |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|------|
|                     |                                      | 1 варіант         | 2 варіант | 3 варіант |      |
|                     |                                      | Релейні показники |           |           |      |
| 1.                  | Автоматичний запуск                  |                   |           |           | -    |
| 2.                  | Сертифікація та стандарти            |                   |           |           | -    |
| 3.                  | Сервісне обслуговування              |                   |           |           | -    |
| 4.                  | Система стабілізації напруги (AVR)   |                   |           |           | -    |
| 5.                  | Відповідність екологічним стандартам |                   |           |           | -    |
| Кількісні показники |                                      |                   |           |           |      |
| 6.                  | Потужність                           | 50                | 48        | 64        | 1    |
| 7.                  | Рівень шуму                          |                   |           |           | 3    |
| 8.                  | Витрати палива                       |                   |           |           | 4    |
| 9.                  | Час безперервної роботи              |                   |           |           | 5    |
| 10.                 | Вартість                             |                   |           |           | 2    |
| 11.                 | Експлуатаційні витрати               |                   |           |           | 7    |
| 12.                 | Об'єм паливного бака                 |                   |           |           | 6    |
| Якісні показники    |                                      |                   |           |           |      |
| 13.                 | Надійність та довговічність          |                   |           |           | 8    |
| 14.                 | Зручність інтерфейсу                 |                   |           |           | 10   |
| 15.                 | Зворотній зв'язок з виробником       |                   |           |           | 9    |
| 16.                 | Інструкція та документація           |                   |           |           | 11   |

при повному порядку ранжуванні, тобто коли відсутні однакові критерії за своїм рангом. Методика розрахунку загально прийнята та висвітлена в працях [15-16]. Основні формули даної методики представлені в таблиці 2.

Розрахунок кількісних оцінок проводять з урахуванням екстремуму досліджуваного критерію. Інакше кажучи необхідно встановити бажаний «max» чи «min» для кожного критерію. Наприклад, чим вищий критерій «час безперервної роботи», тим більш привабливим є генератор. Тому для критерію «час безперервної роботи» при виборі – екстремальним значенням є «max». Далі серед всіх варіантів обирають найкраще за певним екстремумом значення (таблиця 3).

У процесі вибору електрогенератора замовники послуги стикаються з необхідністю враховувати численні фактори, вони можуть виходити за межі стандартних технічних характеристик. Автор пропонує універсальні шаблони та алгоритми, які допомагають визначити оптимальний варіант генератора для різних умов експлуатації, спираючись на кількісні, якісні та релейні критерії.

Запропоновані шаблони (табл. 3 та 5) не передбачають рекомендацій конкретних брендів чи моделей. Це пов'язано з бажанням автора уникнути суб'єктивності та можливих проявів рекламного характеру. Натомість робота орієнтована на забезпечення нейтрального, науково обгрунтованого підходу до оцінки та вибору генераторів.

Розрахунок значення *якісного критерію* ( $Z_j$ ) проводиться на основі функції бажаності (табл. 4).

Значення інтегральної оцінки  $I$  встановлюють на основі значень якісних та кількісних оцінок з урахуванням вагових коефіцієнтів.

Після проведених розрахунків робимо висновок щодо вибору оптимального генератора на основі експертних оцінок.

Потрібно зважати, що при обробці даних може скластися декілька результатів: коли один з варіантів набирає максимальну інтегральну оцінку або кілька варіантів набирають однакову інтегральну оцінку чи розрив відносно невеликий [16].

У разі лідирування кількох варіантів фахівцю необхідно, використовуючи метод експертної оцінки, вибрати бюджетну модель, впровадження якої на його думку, буде найефективнішим для конкретного завдання.

**Головні висновки.** У статті підкреслено важливість комплексного підходу до вибору електрогенераторів в умовах зростаючого попиту на автономні джерела енергії в Україні, зумовленого руйнуванням енергетичної інфраструктури. Розроблений алгоритм вибору генератора, який на основі методики експертних оцінок враховує кількісні, якісні та релейні критерії. Та розроблений алгоритм дозволяє здійснити оцінку різних варіантів генераторів за технічними, економічними та екологічними показниками.

Таблиця 2

## Основні формули даної методики

| № п/п | Показник                                                               | Формула                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Ваговий коефіцієнт $i$ -го критерію, $i \in \overline{1, N}$           | $W_i = \frac{2(N - j + 1)}{N(N + 1)}$ <p>де <math>W_i</math> – ваговий коефіцієнт <math>i</math>-го критерію, <math>i \in \overline{1, N}</math>; <math>j</math> – значення рангу <math>i</math>-го критерію, <math>i \in \overline{1, N}</math>; <math>N</math> – кількість критеріїв що враховуються при визначенні інтегральної оцінки (релейні показники не враховують).</p> |
| 2     | Кількісний критерій ( $Z_i$ )                                          | <p>– при екстремумі „max”:</p> $Z_i = \frac{K_{mi}}{K_{em}}$ <p>– при екстремумі „min”:</p> $Z_i = \frac{K_{em}}{K_{mi}}$ <p>де <math>K_{em}</math> – еталонне значення для даного критерію; <math>K_{mi}</math> – фактичне значення для <math>i</math>-го перевізника</p>                                                                                                       |
| 3     | Кількісний критерій з урахуванням вагового коефіцієнта, ( $D_i$ )      | $D_i = Z_i \times W_i$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 4     | Якісний критерій ( $Z_j$ )                                             | проводяться на основі функції бажаності (табл. 3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 5     | Якісний критерій з урахуванням вагового коефіцієнта $D_j$              | $D_j = Z_j \times W_j$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 6     | Сумарна якісна оцінка з урахуванням вагового коефіцієнту, $S_{D_j}$    | $S_{D_j} = \sum_{j=1}^n D_j$ <p>де: <math>D_j</math> – значення, яке залежить від індексу <math>j</math>; <math>j</math> – індекс (наприклад, від 1 до <math>n</math>); <math>n</math> – загальна кількість елементів</p>                                                                                                                                                        |
| 7     | Сумарна кількісна оцінка з урахуванням вагового коефіцієнта, $S_{D_i}$ | $S_{D_i} = \sum_{i=1}^n D_i$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 8     | Інтегральна оцінка, $I$                                                | $I = S_{D_j} + S_{D_i}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

Таблиця 3

## Шаблон для внесення розрахункових кількісних критеріїв

| Номер<br>п/п        | Критерій                                                    | Ваговий<br>коефіцієнт | Екстремум | Еталонне<br>значення | Генератори                 |                                   |                            |                                   | Ранг |
|---------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------|
|                     |                                                             |                       |           |                      | 2 варіант                  |                                   | 3 варіант                  |                                   |      |
|                     |                                                             |                       |           |                      | зна-<br>чення<br>без $Z_i$ | зна-<br>чення з<br>$Z_i$ ( $Di$ ) | зна-<br>чення<br>без $Z_i$ | зна-<br>чення з<br>$Z_i$ ( $Di$ ) |      |
| Кількісні показники |                                                             |                       |           |                      |                            |                                   |                            |                                   |      |
| 17.                 | Потужність                                                  |                       | max       |                      |                            |                                   |                            |                                   | 1    |
| 18.                 | Рівень шуму                                                 |                       | min       |                      |                            |                                   |                            |                                   | 7    |
| 19.                 | Витрати палива                                              |                       | min       |                      |                            |                                   |                            |                                   | 3    |
| 20.                 | Час безперервної роботи                                     |                       | max       |                      |                            |                                   |                            |                                   | 5    |
| 21.                 | Вартість                                                    |                       | min       |                      |                            |                                   |                            |                                   | 2    |
| 22.                 | Експлуатаційні витрати                                      |                       | min       |                      |                            |                                   |                            |                                   | 4    |
| 23.                 | Об'єм паливного бака                                        |                       | max       |                      |                            |                                   |                            |                                   | 6    |
| 24.                 | Сумарна кількісна оцінка з урахуванням вагового коефіцієнту | -                     | -         | -                    | -                          | (сума п.1-7)                      | -                          | (сума п.1-7)                      | --   |

Таблиця 4

## «Шкала бажаності» Харрінгтона [16-17]

| Якісні характеристики шкали                                                                                                                                                                                                                                                | Шкала       | Середнє значення |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|
| Відображає крайній рівень відмінної якості, покращення якого немає сенсу.                                                                                                                                                                                                  | 1,00        | –                |
| Прийнятний на рівні «відмінно». Відображає незвично хорошу якість чи виконання.                                                                                                                                                                                            | 1,00 – 0,80 | 0,9              |
| Прийнятний на рівні «добре». Відображає рівень, що перевищує найкращий рівень, якому відповідає значення $d=0.63$ .                                                                                                                                                        | 0,80 – 0,63 | 0,715.           |
| Прийнятний на рівні «задовільно». Якість прийнятна до гранично допустимого рівня, але потребує вдосконалення.                                                                                                                                                              | 0,63 – 0,40 | 0,515            |
| Граничний рівень «погано». Якщо існують стандартні вимоги до характеристик, окремі з продуктів будуть лежати за межами цих характеристик. (Якщо характеристика в точності відповідає встановленому мінімуму чи максимуму, то значення «d» має дорівнювати $0,36788=1/e$ ). | 0,40 – 0,30 | 0,35             |
| Неприйнятний рівень «дуже погано».                                                                                                                                                                                                                                         | 0,30 – 0,00 | 0,15             |
| Повністю неприйнятний рівень.                                                                                                                                                                                                                                              | 0,00        | –                |

Таблиця 5

## Шаблон для внесення розрахункових якісних критеріїв

| Номер<br>п/п | Критерій                                                 | Ваговий<br>коефіцієнт | генератор             |                                                  |                       |                                                  | Ранг |
|--------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|------|
|              |                                                          |                       | 2 варіант             |                                                  | 3 варіант             |                                                  |      |
|              |                                                          |                       | значення<br>без $Z_j$ | значення з $Z_j$<br>( $D_j$ )                    | значення<br>без $Z_j$ | значення з $Z_j$<br>( $D_j$ )                    |      |
| 1.           | Надійність та довговічність                              |                       |                       |                                                  |                       |                                                  | 8    |
| 2.           | Зручність інтерфейсу                                     |                       |                       |                                                  |                       |                                                  | 10   |
| 3.           | Зворотній зв'язок з виробником                           |                       |                       |                                                  |                       |                                                  | 9    |
| 4.           | Інструкція та документація                               |                       |                       |                                                  |                       |                                                  | 11   |
| 5.           | Сумарна якісна оцінка з урахуванням вагового коефіцієнта |                       | -                     | (сума п.1-4)                                     | -                     | (сума п.1-4)                                     | --   |
| 6.           | Інтегральна оцінка                                       |                       | -                     | (сума якісних і кількісних оцінок за табл. 2, 3) | -                     | (сума якісних і кількісних оцінок за табл. 2, 3) |      |

Також встановлено, що інтеграція екологічних критеріїв у процес прийняття рішень щодо вибору генераторів сприяє зниженню екологічного навантаження на навколишнє середовище, зокрема за рахунок зменшення шкідливих викидів.

Практична значущість розробленого підходу полягає у забезпеченні раціонального вибору генераторів, який відповідає конкретним потребам споживачів та мінімізує негативний вплив на довкілля.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію інших факторів, таких як варіативність вартості палива, прогнозування змін у законодавстві щодо викидів та аналіз життєвого циклу генераторів. Це дозволить сформулювати оптимізаційну математичну модель, яка точніше буде формулюватиме вимоги для вибору електрогенератора та відповідатиме реальним умовам.

## Література

- Халмурадов Б. Д., Пронь О. В. Генератори електроенергії: переваги та призначення для забезпечення незалежності та стабільності електропостачання в Україні. *Global science: prospects and innovations*. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference. Liverpool, United Kingdom: Cognum Publishing House, 2023. С. 42–47.
- Уряд спростив ввезення в Україну енергетичного обладнання, зокрема генераторів і трансформаторів. *Головне управління Держспроможислужби в Чернівецькій області*: веб-сайт. URL: <https://consumer-cv.gov.ua/blog/2023/11/22/uryad-sprostyv-vvezennya-v-ukrayinu-energetychnogo-obladnannya-zokrema-generatoriv-i-transformatoriv/> (дата звернення: 20.01.2025).

3. Герасименко І. М., Пронь С. В., Пронь О. В. Екологічний вплив транспорту та електрогенераторів: виклики сучасності. *Екологічна безпека держави: тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*, м. Київ, 18 квітня 2024 р. Київ: НАУ, 2024. С. 46–48.
4. Бекетов В. Є., Євтухова Г. П., Ломакіна О. С. Аналіз та оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Харків. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2016. № 3-4 (26). С. 97–103.
5. Бурляй А. П., Бурляй О. А., Непочатенко О. Л. Вплив діяльності сільськогосподарських підприємств на навколишнє природне середовище. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер. Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2018. Вип. 20. С. 64–69.
6. Нормативно-правове забезпечення охорони атмосферного повітря. веб-сайт. URL: <https://dei.gov.ua/post/2321> (дата звернення: 20.01.2025).
7. Найбільша в Україні автоматична система моніторингу якості повітря працює в Києві. *Звіт КМДА про роботу за 2021–2022 рік*. веб-сайт. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-kyiv/3698933-najbilsa-v-ukraini-avtomatichna-sistema-monitoringu-akosti-povitra-pracue-u-kyevi.html> (дата звернення: 20.01.2025).
8. Програма державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря зони «Київська» на 2021–2025 роки. *Київська обласна державна адміністрація*: веб-сайт. URL: <https://koda.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/Proiekt-rishennya-pro-zatverdzhennya-Programii-derzhmonitoringu-atmosferi-12-2021-3.docx> (дата звернення: 20.01.2025).
9. SaveEcoBot. *Екологічні стандарти та умови використання*: веб-сайт. URL: <https://www.saveecobot.com/static/terms> (дата звернення: 20.01.2025).
10. Якість атмосферного повітря в Україні до і під час повномасштабного вторгнення. веб-сайт. URL: [https://www.savednipro.org/wp-content/uploads/2023/10/zvit\\_doslidzhennya\\_101723.pdf](https://www.savednipro.org/wp-content/uploads/2023/10/zvit_doslidzhennya_101723.pdf) (дата звернення: 20.01.2025).
11. Спостереження за забрудненням атмосферного повітря в м. Києві. веб-сайт. URL: <http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/diialnist/khimichnezabrudnennia/sposterezhenia-za-zabrudnenniam-atmosfernoho-povitria-v-mkyievi/> (дата звернення: 20.01.2025).
12. Radiation and Smog Alarm. Настанови та принципи оповіщення населення про якість повітря, радіаційну та хімічну небезпеку / під заг. ред. М. Л. Сорока. Прага – Івано-Франківськ: Arnika, 2022. 58 с.
13. Долженкова О. В. Наслідки впливу ракетних ударів на стан атмосферного повітря в Україні. *Екологічні науки*: 2024. № 1(52). С. 1–2. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.2>.
14. Napkin.ai. веб-сайт. URL: <https://www.napkin.ai/> (дата звернення: 20.01.2025).
15. Кунда Н. Комплексний підхід до вибору перевізника. *Publishing House «UKRLOGOS Group»*. 2021. С. 44–56. DOI: <https://doi.org/10.36074/csrteenat.ed-2.04>.
16. Dmytrochenkova E. Алгоритм визначення вагових коефіцієнтів локальних критеріїв при проведенні порівняльного аналізу варіантів когенераційних установок. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2018. № 24. С. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2018.24.17-21>.
17. Шутяк Ю. В. Використання функції бажаності для оцінки економічної безпеки підприємства. *Наукові студії*. 2024. Вип. 7. С. 147–154.
18. Harrington E. C., Jr. The Desirability Function. *Industrial Quality Control*. 1965. April. Pp. 494–498.



UDC 628.33

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.44>

## MODERN METHODS OF PREPARATION OF DEEPLY DESALINATED WATER FOR THE NEEDS OF THERMAL POWER PLANTS. ECOLOGICAL ASPECTS

Fedenko Yu.M., Didenko D.V., Burmak A.P.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Peremogy Ave., 37, 03056, Kyiv

fedenkoyura@ukr.net, didenko.darina@lil.kpi.ua, abyrmak@gmail.com

The need for water treatment at thermal power plants remains one of the most important aspects in the energy sector. Water is the main source of energy for energy companies. Therefore, very high demands are placed on its chemical composition. The quality of the water supplied to the system has a major impact on its operation. Hard water is a serious problem for steam and gas boiler houses, as well as for steam turbines at thermal power plants that provide heat and hot water. Water hardness creates problems that significantly affect the performance of boilers and boilers, and negatively affect their productivity. Scale builds up on the walls of the equipment, causing excessive levels of magnesium and calcium cations. To improve the performance characteristics and operating time, it is important to use water of high purity, which is the main problem of using steam generation systems.

The main modern methods of water treatment for the needs of thermal power plants are considered: evaporation, reverse osmosis, and electrodialysis.

Evaporation is based on the use of cooling towers. In general use in buildings, cooling towers are connected to water-cooled central chillers that provide cooling for the building. In water-cooled plants, water from the condenser absorbs heat from the chillers and then transfers it to the cooling towers, where it is exposed to the outside air.

The advantages of reverse osmosis are versatility, the ability to purify water from ionic and organic contaminants, high molecular weight compounds, suspensions, bacteria and other impurities simultaneously. The flow of filtrate is directly proportional to the surface area of the membrane and inversely proportional to its thickness.

Electrodialysis (ED) is an established technology for treating industrial wastewater, brackish water, municipal wastewater and is used in the pharmaceutical and food industries, chemical processes, table salt production, electronics, biotechnology, heavy metal removal, and acid and alkali production due to its ability to remove ionic and non-ionic components under the influence of an electric current. This was due to the development of IEMs with improved electrochemical and physicochemical characteristics. *Key words:* thermal power plant, hard water, evaporation, reverse osmosis, electrodialysis.

**Сучасні методи підготовки глибокознесоленої води для потреб ТЕС. Екологічні аспекти. Феденко Ю.М., Діденко Д.В., Бурмак А.П.**

Необхідність водопідготовки води на ТЕС залишається одним з найважливіших аспектів в енергетиці. Вода для підприємств енергетики – це основне джерело їх роботи. Тому до її хімічного складу висуваються дуже високі вимоги. Якість води, яка подається в систему, дуже сильно впливає на її роботу. Жорстка вода – є серйозною проблемою для парових та газових котелень, а також для парових турбін ТЕС, які забезпечують теплом та гарячою водою. Жорсткість води створює проблеми, що суттєво впливають на продуктивність котелень та котлів, а негативно впливають на їх продуктивність. На стінках обладнання утворюється накип який викликає надлишковий вміст катіонів магнію та кальцію. Для покращення характеристик продуктивності та часу експлуатації актуально використовувати воду підвищеної чистоти, що і є основною проблемою використання систем пароутворення.

Розглянуто основні сучасні методи водопідготовки для потреб ТЕЦ: евапорацію, зворотний осмос, електродіаліз.

Евапорація полягає у застосуванні градирень. У загальному застосуванні в будівлях градирні підключаються до центральних охолоджувачів з водяним охолодженням, які забезпечують охолодження будівлі. На заводах з водяним охолодженням вода з конденсатора поглинає тепло від холодильних установок, а потім передає його в градирні, де ця вода піддається впливу зовнішнього повітря.

Переваги зворотного осмосу – універсальність, можливість очищення води одночасно від іонних і органічних забруднень, високомолекулярних сполук, суспензій, бактерій та інших домішок. Потік фільтрату прямо пропорційний площі поверхні мембрани та обернено пропорційний її товщині.

Електродіаліз (ED) є усталеною технологією обробки промислових стічних вод, солонувату воду, муніципальні стічні води та використовуються в фармацевтичній та харчовій промисловості, хімічних процесах, виробництві кухонної солі, електроніці, біотехнологіях, видаленні важких металів, а також виробництві кислот і лугів завдяки своїй здатності видаляти іонні та неіонні компоненти під дією електричного струму. Це було зумовлено розробкою ІЕМ з покращеними електрохімічними та фізико-хімічними характеристиками. *Ключові слова:* теплоелектростанція, жорстка вода, випаровування, зворотний осмос, електродіаліз.

**Introduction.** The need for water treatment at thermal power plants (TPPs) remains one of the most important aspects in the energy sector. Water is the main source of energy for energy companies. Therefore, very

high demands are placed on its chemical composition. The quality of the water supplied to the system has a major impact on its operation. Hard water is a serious problem for steam and gas boiler houses, as well as for

steam turbines at thermal power plants that provide heat and hot water [1].

Water hardness creates problems that significantly affect the performance of boilers and boilers, and negatively affect their productivity. Scale builds up on the walls of the equipment, causing excessive levels of magnesium and calcium cations. To improve performance and operating time, it is important to use high-purity water, which is the main problem with steam generation systems.

To study the problem in detail, it is necessary to understand where scale comes from and how it affects equipment.

The first negative impact becomes apparent after the first few hours of using untreated water. A thin film-like layer, like limescale, forms on the walls and significantly impairs heat transfer. First of all, this is a negative consequence for electric heat exchangers because due to poor heat removal from the heat exchanger, the automatic overheating protection system can be triggered, and the heat exchanger will be shut down [2,3].

The second problem is the difficulty of descaling the equipment. There are two methods of equipment cleaning. The first is mechanical. The second is chemical [4].

Both methods have both positive and negative consequences for the equipment.

On the positive side, the equipment and its surface are restored to their original condition and the productivity and efficiency of the equipment is restored for a while. The negative consequence is that even the mildest mechanical or chemical cleaning of the equipment significantly damages its surface. Micro-cracks are formed that become centers of scale growth, and the surface of metal equipment is also significantly deteriorated, which leads to corrosion. These negative consequences are why it is necessary to use softened water [5,6].

To ensure trouble-free, efficient and long-term operation of equipment, companies need to use water treatment systems.

#### **Review of modern methods of deeply desalinated water treatment for the needs of TPPs**

*Evaporation.* In common building applications, cooling towers are connected to water-cooled central chillers that provide cooling for the building. In water-cooled plants, water from the condenser absorbs heat from the chillers and then transfers it to the cooling towers, where it is exposed to the outside air. Some of the water from the condenser evaporates; the rest is returned to the chiller to repeat the cooling process. Since evaporation is a heat absorption process, the water returning from the condenser is colder than the water supplied from the condenser to the cooling tower [7-10].

The water that evaporates in the condenser must be replaced with cooling tower makeup water, which usually comes from the cooling tower basin using a float valve similar in concept to the float valves in older toilet models. Cooling tower makeup water is usually supplied from the municipal drinking water supply and increases the building's water consumption [11-12].

The continuous evaporation of the condenser water from the condenser water side in the cooling cycle also has another effect: since only pure water evaporates, it leaves behind any mineral content that it carried when it entered the condenser water system. Makeup water contains naturally occurring amounts of mineral impurities (silica, calcium, magnesium, chloride), so the water remaining in the condenser will have increasing amounts of impurities as more water evaporates. These impurities will eventually precipitate (as water can only hold so much), resulting in a solid precipitate [13-16].

*Reverse osmosis.* The advantages of reverse osmosis are versatility, the ability to purify water from ionic and organic contaminants, high molecular weight compounds, suspensions, bacteria and other impurities simultaneously. The flow of filtrate is directly proportional to the surface area of the membrane and inversely proportional to its thickness. Consequently, when designing a reverse osmosis plant, it is necessary to choose a membrane with the maximum possible area and minimum possible thickness per unit volume of the plant [17].

The reliability of the plants is supposed to be increased by redundancy of equipment by substitution, providing for its multifunctional use, optimization of the number of filter modules in a separate section, as well as by increasing the reliability of filter elements and equipping with a high-speed search system for a failed module or element. Reverse osmosis processes use acetate cellulose and other polymeric membranes, including charged ones. This creates variability of the technology for any pH of the environment, as well as the ionic composition of water [18].

The main advantages of reverse osmosis desalination compared to distillation include operation of plants at normal temperature; lower energy consumption (approximately 2 times); no "thermal pollution" of the environment; no (or little) corrosion; relatively easy achievement of the desired water quality; low capital costs for small capacity plants, no restrictions on the location of plants; no need for further treatment of the resulting water.

In addition to independent use, the reverse osmosis process is well combined with traditional methods of separation (ion exchange, rectification, adsorption, extraction, electrodialysis), which opens wide opportunities for creating fundamentally new, simple and low-energy technological processes and industries with a closed water cycle [19].

Reverse osmosis is one of the most used membrane separation methods. It is widely used for desalination (demineralization) of all types of water in plants of various capacities.

Nanofiltration is a membrane process similar to reverse osmosis. The difference is selectivity for multi- and single-charged ions, as well as for organic substances. Thus, while reverse osmosis membranes have high selectivity for all ions, nanofiltration membranes

are highly selective for calcium, magnesium, sulfate ions and other multicharged ions, but relatively permeable to single-charged ions such as sodium, potassium, chloride, nitrate, etc.

The phenomenon of osmosis can be observed if pure water and a solution are placed in a closed vessel on opposite sides of a semipermeable membrane that allows only water molecules to pass through. Under such conditions, water molecules will penetrate the solution, reducing its concentration. Due to the closed nature of the vessel, the pressure in the solution zone will increase, and in the pure water zone it will decrease.

This will continue until the resulting pressure difference compensates for the energy benefits of diluting the solution. The system will come to a state of equilibrium. The difference in pressure (height of the liquid columns) in the two zones is called the osmotic pressure of the solution [19-20].

**Electrodialysis.** Electrodialysis (ED) is an established technology for treating industrial wastewater, brackish water, and municipal wastewater and is used in the pharmaceutical and food industries, chemical processes, table salt production, electronics, biotechnology, heavy metal removal, and acid and alkali production due to its ability to remove ionic and non-ionic components under the influence of an electric current. This was due to the development of IEMs with improved electrochemical and physicochemical characteristics [21].

The main advantages of ED are higher water recovery rates compared to RO, ease of operation, long membrane life, operation at high temperatures, and, unlike RO, it does not require significant pre- or post-treatment.

In addition, it can selectively separate monovalent ions (e.g.,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) from multivalent ions (e.g.,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) to produce irrigation water, using monovalent permeation-selective IEM. Researchers have reviewed the basic principles of ED in their articles [9, 10], and this has led to significant advances (e.g., electrodeionization EDI). Furthermore, due to the flexibility of the ED process, which can follow the oscillatory behavior of photovoltaic (PV) power generation, it has established a photovoltaic (PV)-ED coupling system. Despite this, many ED developments are still on the laboratory scale. In addition, the global installed capacity of desalination is only 4 %.

The voltage applied between the cathode and anode electrodes passing through the IEM is used inside the ED cell to separate charged particles (i.e., ions) from uncharged substances and aqueous solution. Thus, ED is established as an electrical process. Inside the ED stack, there are several anion exchange membranes (AEMs) and cation exchange membranes (CEMs) placed between the cathode and anode electrodes [22].

A spacer is used inside the ED stack to separate the IEMs and create compartments for concentration and dilution. The electrodes are semi-separated by parallel membranes. The membranes work as a barrier to nutrient migration, preventing or allowing ions to pass according to their electrical charge. The electrolyte solution circulates through the electrode compartments, which are called electrode washing compartments [23].

Electro-dialyzers use chemically resistant electrodes made of platinum titanium, ORTA (ruthenium oxide titanium anodes), and less often alloy steel or graphite [24].

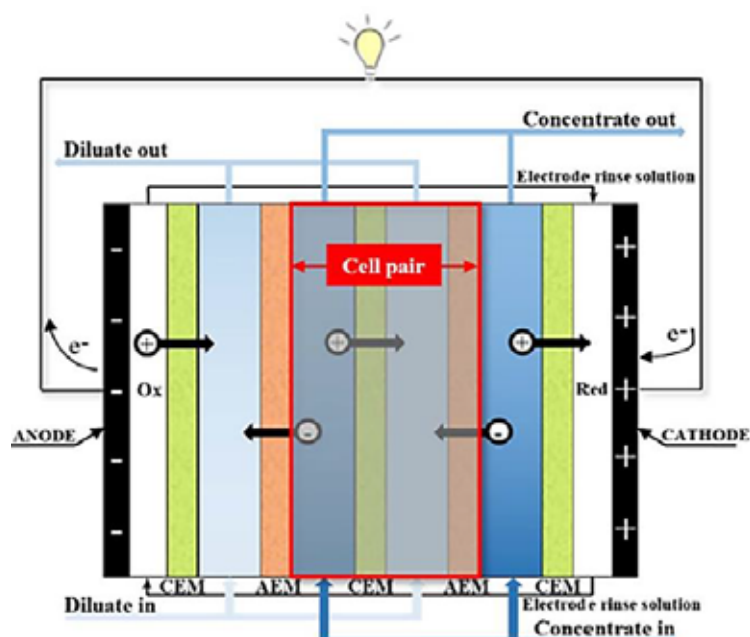


Fig. 1. Scheme of the electrodialysis process

## References

1. Taysir A.D. The management of desalinated water. *Desalination*. 2001. Vol. 135. P. 7–23.
2. Rami A.R., Abdallah S., Ratiranjan J. Hybrid deep learning and remote sensing for the delineation of artificial groundwater recharge zones. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 2024. Vol. 27. P. 178–191.
3. Poblete R., Bakit J. Water recovery from industrial sludge drying by humidification–dehumidification (HDH) processes: A comparison of condensation systems. *Journal of Water Process Engineering*. 2024. Vol. 67. P. 106–117.
4. Tian S., Zhou Z., Li X. Applications of solar-driven interfacial evaporation-coupled photocatalysis in water treatment: A mini review. *Desalination*. 2024. Vol. 592. P. 118–159.
5. Raza S., Ghasali E., Orooji Y. Two dimensional (2D) materials and biomaterials for water desalination; structure, properties, and recent advances. *Environmental Research*. 2023. Vol. 219. P. 114–124.
6. Chen X., Zhang P. Salt-resistant MXene-charge gradient hydrogel evaporator with boosted water transport for efficient photothermal desalination. *Desalination*. 2024. Vol. 5. P. 118–155.
7. Xie C., Xiao W., Zhang M. Isotopic kinetic fractionation of evaporation from small water bodies. *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 603. P. 126974. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126974.
8. Gilson L.N., Cooper C.E., Withers P.C. Two independent approaches to assessing the constancy of evaporative water loss for birds under varying evaporative conditions. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2021. Vol. 261. P. 111041. DOI: 10.1016/j.cbpa.2021.111041.
9. Yuan B., Meng L. Enhancement of pollutant degradation and solar-driven water evaporation by architecting hierarchical 1D/2D TiO<sub>2</sub> @ MoS<sub>2</sub> core-shell networks. *Applied Surface Science*. 2021. Vol. 570. P. 151143. DOI: 10.1016/j.apsusc.2021.151143.
10. Li Y., Hong W., Li H. Solar absorber with tunable porosity to control the water supply velocity to accelerate water evaporation. *Desalination*. 2021. Vol. 511. P. 115113. DOI: 10.1016/j.desal.2021.115113.
11. Wang J.Y., Guo X.X., Chen J. A versatile platform of poly (acrylic acid) cryogel for highly efficient photothermal water evaporation. *Material Advances*. 2021. Vol. 2. P. 3088–3098. DOI: 10.1039/d1ma00119a.
12. Abaker Omer A.A., Liu W. Water evaporation reduction by the agrivoltaic systems development. *Solar Energy*. 2022. Vol. 247. P. 13–23. DOI: 10.1016/j.solener.2022.10.022.
13. Zang L., Finnerty C., Yang Z. An electrospun transporter-assisted evaporator with antifouling water channels for solar-driven desalination and water purification. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2022. Vol. 138. P. 104493. DOI: 10.1016/j.jtice.2022.104493.
14. Shukla A., Bhagat B., Sharma P. Structural features and solar absorption characteristics of sucrose derived spherical carbons: A case study towards solar-thermal water evaporation. *Cleaner Engineering and Technology*. 2022. Vol. 11. P. 100585. DOI: 10.1016/j.clet.2022.100585.
15. Rauter M.T., Aasen A. A comparative study of experiments and theories on steady-state evaporation of water. *Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis*. 2022. Vol. 8. P. 100091. DOI: 10.1016/j.ctta.2022.100091.
16. Tesfuhuney W.A., Mengistu A.G., Rensburg L.D. Estimating soil water evaporation as influenced by “dry-and green-mulch” cover beneath maize canopy. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2022. Vol. 128. P. 103270. DOI: 10.1016/j.pce.2022.103270.
17. Cui M.Q., Dong X.Y., Wang J.X. Calcium carbonate scaling and seeding induced precipitation in FO treating textile reverse osmosis concentrate. *Journal of Water Process Engineering*. 2022. Vol. 50. P. 103256. DOI: 10.1016/j.jwpe.2022.103256.
18. Tavares T., Tavares J. Assessment of processes to increase the lifetime and potential reuse and recycling of reverse osmosis membranes towards a circular economy. Case of study of Cape Verde and Macaronesia area. *Desalination and Water Treatment*. 2022. Vol. 259. P. 308–314. DOI: 10.5004/dwt.2022.28577.
19. Sun J., Chen S. Simultaneous Fe(OH)<sub>3</sub> formation and silicon adsorption removal from reverse osmosis brine wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*. 2022. Vol. 188. P. 964–971. DOI: 10.1016/j.cherd.2022.10.042.
20. Shadravan A. Feasibility of thin film nanocomposite membranes for clean energy using pressure retarded osmosis and reverse electrodialysis. *Energy Nexus*. 2022. Vol. 7. P. 100141. DOI: 10.1016/j.nexus.2022.100141.
21. Gu M., Wang Y., Wan D. Electrodialysis ion-exchange membrane bioreactor (EDIMB) to remove nitrate from water: Optimization of operating conditions and kinetics analysis. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 839. P. 156046. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156046.
22. Finklea H., Lin L.S., Khajouei G. Electrodialysis of softened produced water from shale gas development. *Journal of Water Process Engineering*. 2022. Vol. 45. P. 102486. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102486.
23. Siddiqui M.U., Generous M.M. Explicit prediction models for brackish water electrodialysis desalination plants: Energy consumption and membrane area. *Energy Conversion and Management*. 2022. Vol. 261. P. 115656. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.115656.
24. Giacalone F., Catrini P. Exergy analysis of electrodialysis for water desalination: Influence of irreversibility sources. *Energy Conversion and Management*. 2022. Vol. 258. P. 115314. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.115314.

## ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО НАСІННЄВОГО ВІДНОВЛЕННЯ *CATALPA BIGNONIOIDES* WALT. У ЖИТОМИРСЬКОМУ ПОЛІССІ

Андрєєва О.Ю.<sup>1</sup>, Іванюк Т.М.<sup>1</sup>, Буднік І.П.<sup>2</sup>, Швець М.В.<sup>1</sup>, Климчук О.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Поліський національний університет  
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

<sup>2</sup>Малинський фаховий коледж  
вул. М. Маклая, 1, 11643, с. Гамарня  
[andreieva.olenal1@gmail.com](mailto:andreieva.olenal1@gmail.com)

У статті представлені результати досліджень, проведених на базі Ботанічного саду Поліського національного університету імені Героїв-десантників. Для дослідження використовували насіння *Catalpa bignonioides* Walt. місцевої репродукції, зібране на колекційних ділянках інтродуцентів Ботанічного саду, а також у скверах та парках міста Житомир. Метою роботи було оцінити показники схожості, росту й розвитку в умовах Житомирського Полісся сіянців *Catalpa bignonioides* Walt., вирощених із генетично покращеного насіння, попередньо обробленого хімічними мутагенами. За нашими спостереженнями плоди катальпи дозрівають у вересні-жовтні. Масовий виліт насіння відбувається наприкінці зими. У варіантах застосування нормального насіння масово сходи з'являлись на 18–20 день. Грунтова схожість насіння при глибині посіву 0,5 см становила – 46 %, 1 см – 58 % і 2 см – 38 % відповідно. Оптимальною у досліді виявилась глибина посіву 1–2 см. Встановлено, що оброблення насіння катальпи бігніонієвидної колхіцином прискорює появу масових сходів і підвищує ґрунтову схожість у трьох варіантах глибини посіву. У випадку висівання генетично покращеного насіння масово сходи з'являються на 14–17 дні. Грунтова схожість такого насіння вища і становить при глибині посіву 0,5 см – 82 %, 1 см – 76 %, 2 см – 74 %, тобто оптимальною є глибина посіву насіння 0,5 см. Оброблення насіння катальпи бігніонієвидної колхіцином підвищує його ґрунтову схожість на 9–10 %. Сіянци, вирощувані з генетично покращеного насіння, перевершують за біометричними показниками сіянці, вирощені з нормального насіння. Вони мають дещо більші біометричні показники. Так висота надземної частини сіянців, вирощених із генетично покращеного насіння, становила 80,0 см, а на контролі лише 60,1 см. Довжина кореневої системи в цих варіантах встановлена на рівні 9,2 та 8,3 см відповідно. Показники діаметра на рівні кореневої шийки також різняться. **Ключові слова:** *Catalpa bignonioides* Walt., генетично покращене насіння, ґрунтова схожість, глибина посіву, сіянці, біометричні показники.

**Genetic & breeding approaches to seed recovery of *Catalpa bignonioides* Walt. in Zhytomyr Polissia. Andreieva O., Ivaniuk T., Budnik I., Shvets V., Klymchuk O.**

The article presents the results of research conducted in the Botanical Garden of the Heroes of the Paratroopers of the Polissia National University. *Catalpa bignonioides* Walt seeds of local reproduction from collection of the Botanical Garden as well as in squares and parks of the city of Zhytomyr were used for the study. The aim of the work was to evaluate the seed germination, and growth and development of seedlings obtained from genetically improved seeds, pre-treated with chemical mutagens in Zhytomyr Polissia. According to our observations, the fruits of *Catalpa bignonioides* ripen in September-October. Mass flight of seeds was observed at the end of winter. The seedlings from normal seeds appear in 18-20 days. Normal seed germination was at a sowing depth of 0.5 cm – 46%, 1 cm – 58%, 2 cm – 38%. The optimal sowing depth in this experiment was 1–2 cm. It was found that colchicine treatment of catalpa seeds accelerated seedlings' development by three days. Seed germination increases in three variants of sowing depth. In the variants of sowing genetically improved seeds, seedlings appear in masse on the 14th to 17th day. The seed germination is higher and it is at a sowing depth of 0.5 cm – 82%, 1 cm – 76%, 2 cm – 74%, and the optimal seed sowing depth is 0.5 cm. Treatment of catalpa seeds with colchicine increases germination by 9-10%. Seedlings grown from genetically improved seeds outperform seedlings grown from normal seeds in terms of their biometric indicators. Thus, the height of the above-ground part of seedlings grown from genetically improved seeds is 80.0 cm, and in the control, it is only 60.1. The length of the root system is 9.2 and 8.3 cm, respectively. Root collar diameter is also higher. **Key words:** *Catalpa bignonioides* Walt., genetically improved seeds, germination, sowing depth, seedlings, biometric indicators.

**Постановка проблеми.** В ботанічних садах, дендропарках, дендраріях та старовинних парках зібрані великі колекції екзотичних видів декоративних рослин, що сприяє примноженню асортименту культурної флори за рахунок культивування екземплярів, стійких до умов навколишнього середовища певного

регіону. Багато декоративних рослин-інтродуцентів використовують в озелененні населених пунктів та прибудинкових територій. Їхня цінність для озеленення визначається різноманітністю декоративних якостей, які здатні викликати у людей особливі естетичні почуття [1]. Види роду *Catalpa* Scop. родини

Бігنونієві (*Bignoniaceae*) визначаються високими декоративними властивостями, особливо під час цвітіння [2]. Вони є перспективними для широкого використання в умовах культури Житомирського Полісся.

Встановлено, що насіннєве розмноження інтродуцентів генетико-селекційними методами підвищує стійкість наступного покоління до несприятливих чинників навколишнього середовища і має значення для акліматизації та виведення нових сортів. Щороку селекціонери розширюють світове сортове різноманіття, створюючи тисячі нових декоративних рослин. Проте з часом стає все складніше вивести культивари з унікальними характеристиками, які не дублюють вже існуючі сорти. Саме тому кожна нова ознака в декоративних культурах має високу цінність і відразу включається в програми гібридизації [3]. У зв'язку з цим, важливими напрямками експериментального мутагенезу є розроблення нових методичних підходів для збільшення частоти та різноманітності мутацій, а також дослідження можливостей отримання специфічних мутацій із високою ефективністю [4].

Хімічні мутагени вивчали представники української генетичної школи на чолі з академіком С.М. Гершензоном. Нині відомо близько півтисячі хімічних мутантів. Найбільшою серед них є група алкілюючих сполук. Колхіцин ( $C_{22}H_{25}NO_6$ ) – речовина із групи алкалоїдів. Добувають його із рослини пізньоцвіт осінній (*Colchicum autumnale*). Слабкий його розчин блокує процес утворення веретена поділу. Тому під час мітози хромосоми не розходяться до полюсів, клітина не ділиться, а утворюється ядро із подвоєною кількістю хромосом. Для отримання поліплоїдів використовують 0,1–0,25%-й водний розчин колхіцину, яким обробляють насіння чи верхівки молодих пагонів [5–7].

**Актуальність дослідження.** Види роду *Catalpa* часто використовують у ландшафтному дизайні. Вона приваблює увагу своїми великими серцеподібними листками, ароматними квітами, схожими на орхідеї, та довгими стручкоподібними плодами. Її крона густа й розлога, а цвітіння рясне та ефектне. Добре адаптується до міських умов, стійка до забруднення повітря, спекотних погодних умов, хоча комфортніше почувається у вологому ґрунті. Для листя характерний специфічний запах, який відлякує комах. У містах катальпу часто висаджують уздовж доріг та в парках. Види роду *Catalpa* Scop. є порівняно новою культурою у вітчизняному декоративному садівництві. Враховуючи значний сортовий потенціал, в Україні цю культуру використовують усе частіше. Виведення нових сортів, адаптованих до місцевих еколого-кліматичних умов, зокрема до промислових регіонів, сприятиме розширенню їх генофонду та підвищенню практичного значення [8–10].

У ботанічному саду Поліського національного університету є два види представників роду *Catalpa*:

*Catalpa speciosa* Ward. та *C. bignonioides* Walt. На їх основі здійснюють інтродукційні дослідження, гібридизаційну роботу та вивчають можливість використання індукованого мутагенезу для формування селекційного фонду перспективних форм.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

У науково-дослідних роботах, присвячених дослідженню інтродуцентів на території України, зазначається, що саме деревні рослини відіграють важливу роль у мінімізації негативного впливу промислових і деяких природних чинників на здоров'я людини. Декоративні рослини є екологічними стабілізаторами стану мегаполісів, де вони виконують низку важливих функцій: містобудівну, санітарно-гігієнічну, естетичну [11, 12]. Інтродукція рослин вирішує не тільки фундаментальні проблеми, що пов'язані зі збереженням біорізноманіття флори, як вже зазначалося, виявленням закономірностей адаптації рослин в умовах інтродукційного ареалу, але й практичні задачі щодо раціонального використання рослинних ресурсів [13].

Вагому роль у збагачення деревної флори нашої країни відіграли аматори щодо садівництва та ботаніки. Так, на початку XIX ст. відомий громадський та науковий діяч України І.М. Каразін у Харківській області створив парк з великим набором нових цінних деревних порід. У ньому нараховувалось близько 400 видів дерев та кущів. Саме у цей сад вперше в Україні було інтродуковано катальпу прекрасну (*Catalpa speciosa* Ward.) [14].

Інтродукція нових видів, гібридів і культиварів підвищує естетичні характеристики об'єктів озеленення, розширює їх функціональні можливості. В деяких роботах наводяться нові аспекти систематики рослин, у тому числі й інтродукованих на території України, що побудовані на основі їх молекулярно-генетичного аналізу [11].

Серед ефективних методів створення вихідного матеріалу для генетичних досліджень належне місце посідає індукований мутагенез. Метод індукованого мутагенезу має безсумнівні переваги перед деякими новими, але складними і трудомісткими методами генетичної маніпуляції для вдосконалення сортів рослин [15]. Найбільший ефект може бути одержано за раціонального поєднання відповідних методів селекції. Можливості селекції рослин деяких культур різко обмежені через звуження генетичної основи під час використання недостатньої колекції цінних вихідних форм [16].

Мутації є основним джерелом спадкової мінливості – одного з факторів еволюції організмів. Завдяки мутаціям з'являються нові алелі. Один із генетичних підходів базується на хімічному мутагенезі. З його допомогою можливо в короткий термін змінити спадкову природу рослини, домогтися «сплеску» цінних господарських ознак. Хімічний мутагенез базується на глибокому проникненні специфічних агентів в організм і їх впливу на структуру генів – одиниць

спадкової організації. Насіння, пилок, живці, бульби обробляють хімічними мутагенами, що викликають корисні і раніше невідомі спадкові зміни, які виявляються переважно чином у другому поколінні. Рослини з такими ознаками можуть бути використаними як вихідний матеріал у селекційній роботі. До цінних ознак належать, зокрема, підвищення врожайності, поліпшення якості насіння та інших продуктів, стійкість рослин до збудників хвороб і шкідників. Слово «мутація» походить від поняття зміна і означає різке ухилення або новоутворення ознак і властивостей організму під впливом зміни структури гена [3, 17–19].

**Новизна.** Встановлено, що найвищими показниками схожості, росту і розвитку характеризуються сіянці, вирощені з генетично покращеного насіння, попередньо обробленого розчином 0,1% колхіцину. Обґрунтовано доцільність вирощування садивного матеріалу з генетично покращеного насіння та впровадження його у зелене будівництво урбоценозів Житомирського Полісся.

**Методологія досліджень.** Дослідження проведені на базі Ботанічного саду Поліського національного університету імені Героїв-десантників. Для дослідження використовували насіння *Catalpa bignonioides* Walt. місцевої репродукції, зібране на колекційних ділянках інтродуцентів Ботанічного саду, а також у скверах та парках міста Житомир. За нашими спостереженнями плоди *Catalpa bignonioides* дозрівають у вересні-жовтні. Масовий виліт насіння відбувається наприкінці зими – на початку весни [20, 21]. Насіння зберігали у скляній тарі при температурі 6–8°C. Було встановлено, що ґрунтова схожість генетично покращеного насіння досліджуваного виду становить 92%.

Для отримання повноцінних сходів використовували різну глибину заготання насіння. Дослід здійснювали в умовах тепличного вирощування із застосуванням двох генетико-селекційних підходів. Перший підхід полягав у використанні генетично покращеного та нормального насіння. Генетично покращене насіння – це насіння, зібране з кращих дерев за господарсько цінними ознаками. До нормального насіння належить заготовлене з нормальних дерев із задовільними господарськими ознаками та станом.

Згідно з другим підходом для отримання вихідних форм, придатних для подальшої селекційної роботи, частину використовуваного насіння було оброблено колхіцином ( $C_{22}H_{25}NO_6$ ), котрий відомий своєю здатністю впливати на поділ ядра та викликати поліплоїдію. Поліплоїдогенний ефект спричиняють водні розчини колхіцину, які проникають у цитоплазму клітин, що діляться. Ефективність застосування колхіцину оцінювали в концентрації 0,1% [22, 23].

**Викладення основного матеріалу.** Ґрунтову схожість генетично покращеного насіння оцінювали шляхом пророщування його у другій декаді квітня 2023 року у теплиці в умовах підвищених вологості й температури в трьох варіантах із різною глибиною заготання. Для оцінювання чутливості до колхіцину насіння обробляли водним розчином у концентрації 0,1%. Вважається, що мутагенний вплив найбільш виражений на ознаках рослин, які формуються в момент обробки, тобто на певному етапі органогенезу. У цьому дослідженні оцінювали вплив розчину колхіцину на схожість насіння (табл. 1, 2).

Аналіз даних свідчить (табл. 1), що у варіантах використання нормального насіння масово сходи з'являються на 18–20 день. Ґрунтова схожість насіння

Таблиця 1

Ґрунтова схожість нормального насіння *C. bignonioides* Walt.

| Глибина посіву, см | Без обробки колхіцином                |                      | Із застосуванням колхіцину            |                      |
|--------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
|                    | Кількість діб до появи масових сходів | Ґрунтова схожість, % | Кількість діб до появи масових сходів | Ґрунтова схожість, % |
| 0,5 см             | 19                                    | 46                   | 16                                    | 52                   |
| 1 см               | 18                                    | 58                   | 16                                    | 65                   |
| 2 см               | 20                                    | 38                   | 18                                    | 42                   |

Таблиця 2

Ґрунтова схожість генетично покращеного насіння *C. bignonioides* Walt.

| Глибина посіву, см | Без обробки колхіцином                |                      | Із застосуванням колхіцину            |                      |
|--------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
|                    | Кількість діб до появи масових сходів | Ґрунтова схожість, % | Кількість діб до появи масових сходів | Ґрунтова схожість, % |
| 0,5 см             | 14                                    | 82                   | 12                                    | 92                   |
| 1 см               | 16                                    | 76                   | 14                                    | 86                   |
| 2 см               | 17                                    | 74                   | 15                                    | 83                   |

Таблиця 3

Середні біометричні показники однорічних сіянців *C. bignonioides* Walt.

| Категорія насіння   | Довжина, см |                  |                  | Діаметр на рівні кореневої шийки, мм |
|---------------------|-------------|------------------|------------------|--------------------------------------|
|                     | Загальна    | Надземних частин | Кореневих систем |                                      |
| Генетично покращене | 89,2        | 80,0             | 9,2              | 1,8                                  |
| Нормальне           | 68,4        | 60,1             | 8,3              | 1,3                                  |

становила при глибині посіву 0,5 см – 46%, 1 см – 58%, 2 см – 38% відповідно. А при обробці 0,1% розчином колхіцину насіння сходило на декілька днів раніше і з вищими показниками ґрунтової схожості. Оптимальною глибиною посіву у даному досліді є 1–2 см.

Встановлено, що оброблення насіння катальпи бігтонієвидної колхіцином прискорює появу масових сходів на три дні і підвищує ґрунтову схожість у трьох варіантах глибини посіву.

Виявлено, що у випадку висівання генетично покращеного насіння (табл. 2) масово сходять з'являються на 14–17 дні. Ґрунтова схожість насіння у цьому досліді вища і становить при глибині посіву 0,5 см – 82%, 1 см – 76%, 2 см – 74% відповідно. У випадку застосування колхіцину насіння сходять раніше, а ґрунтова схожість має вищі показники. Оптимальною глибиною посіву насіння – 0,5 см. Обробка насіння катальпи бігтонієвидної колхіцином підвищує його ґрунтову схожість на 9–10%, а прискорює появу масових сходів лише на 2 дні.

Сіянці *C. bignonioides* ростуть доволі швидко, в однорічному віці досягають 30–40 см заввишки та 10–15 мм у діаметрі кореневої шийки [9].

Згідно з нашими спостереженнями, однорічні сіянці *C. bignonioides* вирощені з нормального насіння мали середню висоту 60 см, а вирощені з генетично покращеного насіння, попередньо обробленого колхіцином, сягали висоти до 80 см. Діаметр кореневої шийки у сіянців з нормального насіння становив 1,3 см, а сіянців вирощених з генетично покращеного насіння 1,8 см (табл. 3).

У третій декаді травня сіянці були пересаджені у контейнери, наповнені ґрунтовою сумішшю, яку готували із застосуванням змішувача шляхом подрібнення та приготування субстрату потрібної вологості. Субстратом була готова очищена від насіння бур'янів та збудників хвороб торфосуміш із базовим набором добрив та мікроелементів. За контроль було взято варіант вирощування сіянців, вирощених з нормального насіння.

Сіянці, вирощувані з генетично покращеного насіння, перевершують за своїми біометричними показниками сіянці, вирощені з нормального насіння. Вони мають дещо кращі біометричні показники

відповідно. Показники діаметра на рівні кореневої шийки теж різняться. Якість садивного матеріалу зумовлена, переважно, агротехнікою вирощування садивного матеріалу та його спадковістю. Лімітуючі фактори – опади і температура, залежать від погодних умов. На зимівлю контейнери заглиблювали у ґрунт.

Навесні 2024 року у однорічних сіянців були відмічені ознаки приморозання. Встановлено, що у ранньому віці сіянці *C. bignonioides* страждають як від ранньоосінніх, так і від пізньовесняних приморозків. Як результат – пошкодження верхньої частини пагонів, верхівкових вегетативних бруньок та однорічних нездерев'янілих пагонів. Із цією проблемою можна успішно боротися, обрізаючи ранньою весною ушкоджені пагони.

**Основні висновки.** У регіоні досліджень встановлено, що найвищими показниками схожості, росту і розвитку характеризуються сіянці, створені з генетично покращеного насіння, попередньо обробленого розчином 0,1% колхіцину.

У варіантах використання нормального насіння масово сходять з'являються на 18–20 день. Ґрунтова схожість насіння становить: при глибині посіву 0,5 см – 46%, при глибині 1 см – 58%, при глибині 2 см – 38%. Оптимальною глибиною посіву у даному досліді є 1–2 см. Обробка такого насіння колхіцином прискорює появу масових сходів на три дні і підвищує ґрунтову схожість у трьох варіантах глибини посіву.

Виявлено, що у випадку висівання генетично покращеного насіння масово сходять з'являються на 14–17 дні. Ґрунтова схожість насіння у даному досліді вища і становить: при глибині посіву 0,5 см – 82%, при глибині 1 см – 76%, при глибині 2 см – 74%. Оптимальна глибина посіву насіння становить 0,5 см. Обробка генетично покращеного насіння катальпи бігтонієвидної колхіцином підвищує його ґрунтову схожість на 9–10%.

Сіянці, вирощувані з генетично покращеного насіння, перевершують за своїми біометричними показниками сіянці, вирощені з нормального насіння. Висота надземної їх частини становить 80,0 см, а на контролі лише 60,1 см. Довжина кореневої системи 9,2 та 8,3 см відповідно. Показники діаметра на рівні кореневої шийки теж різняться.



### Література

1. Калініченко О. А. Декоративна дендрологія. Навчальний посібник. К.: Вища школа, 2003. 199 с.
2. Кульбіцький В. Л., Шлапак В. П. Біологічні особливості видів роду *Catalpa Scop.* та використання їх в зеленому будівництві Правобережного Лісостепу України. Міжнародна науково-практична конференція «Досягнення та проблеми інтродукції рослин в степовій зоні України». Херсон: ТОВ «Айлант», 2006. С. 30–31.
3. Гудим О. В., Васько В. О. Ефективність використання експериментального мутагенезу в селекції рослин. Вісник Харківського національного аграрного університету Серія "Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво і зберігання". 2015. № 1. С. 87–97.
4. Моргун В. В. Спонтанна та індукована мутаційна мінливість та її використання в селекції рослин. Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть. Т. 2. К.: Логос, 2001. С. 144–174.
5. Васько В. О. Вплив хімічного та фізичного мутагенів на господарсько цінні ознаки М1 соняшнику. Вісник ХНАУ Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво і зберігання». 2015. № 2. С. 55–66.
6. Васильківський С. П. Особливості використання хімічного мутагенезу при створенні вихідного матеріалу для селекції пшениці : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : спец. 06.01.05 «Селекція і насінництво». Одеса, 1999. 36 с.
7. Козаченко М. Р. Ефективність способів індукування і використання мутацій в селекції ярого ячменю : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук : спец. 06.01.05 «Селекція і насінництво». Дніпропетровськ, 2001. 35 с.
8. Голуб В.О., Голуб С.М. Оцінка біологічних особливостей видів роду *Catalpa Scop.*, інтродукованих у Волинській області // матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Вивчення і збереження 85 біорізноманіття біоценозів України» (Біла Церква, 20–23 квітня 2021 р.). Біла Церква: БНАУ, 2021. С. 17–19.
9. Кульбіцький В. Л. Оцінка успішності інтродукції катальпи в умовах культури Правобережного Лісостепу України. Науковий вісник НЛТУ України. 2006. Вип. 16.3. Львів: УкрДЛТУ, 2006. С. 21–25.
10. Кирієнко С. В., Слюта А. М. Використання видів роду *Catalpa Scop.* в озелененні міста Чернігова. Рослини та урбанізація: Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 1 лютого 2023 р.). Дніпро, 2023. С. 128–130.
11. Спрягайло О. В. Перспективи збагачення таксономічного різноманіття культивованої дендрофлори Середнього Подніпров'я. Вісник Черкаського університету. 2014. № 36 (329). С. 108–115.
12. Кононюк А. В., Вакулик І. І. Роль зелених насаджень в архітектурному образі міста. Управління економічними процесами на макро- і мікрорівні: проблеми та перспективи вирішення: матеріали III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених, 24–25 квітня 2018 р. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 166–167.
13. Кузнецов С. І. Особливості інтродукції деревних рослин та оптимізації урбогенних насаджень в Україні. Ботанічні сади : проблеми інтродукції та збереження рослинного різноманіття : матеріали Всеукраїнської наукової конференції, 10–11 жовтня 2013 р. Житомир : ЖНАЕУ, 2013. С. 46–49.
14. Кохно М. А. Історія інтродукції деревних рослин в Україні (короткий нарис). Київ : Фітосоціоцентр, 2007. 67 с.
15. Harten A. M., Broertjes V. C. Mutation breeding: a Stepping-stone between Gregor Mendel and genetic manipulation (a treatise for vegetative propagated crops). Gen. Manipulat. Plant Breed. Proc. 1st. Symp., Berlin (West), Sept. 8–13, 1985. Berlin, New York, 1986. P. 8–15.
16. Marshall D. R. The advantages and hazards of genetic homogeneity. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1977. No 287. P. 1–20.
17. Knotte, D.R. What determines the success of mutation breeding. Plant Mutat. Breed. For Crop Improv: Proc. Int. Symp. Vol. 1. Vienna. 1991. P. 11–18.
18. Muller H. J. Artificial transmutation of the gene. Science. 1927. № 66. С. 84–87.
19. Singleton W. R. Mutations induced by treating maize seeds with thermal neutrons. Induced mutant plants. Vienna, 1969. 479 с.
20. Кульбіцький В. Л. Насіннєве розмноження *Catalpa speciosa* Ward. Ex Engelm., *C. bignonioides* Walt., *C. ovata* Don. в умовах культури у Правобережному Лісостепу України // Науковий вісник НЛТУ України. 2005. Вип. 15.1. Львів: УкрДЛТУ, 2005. С. 49–53.
21. Кухарська О.М. Особливості насіннєвого розмноження *Catalpa speciosa* Ward., *C. bignonioides* Walt., *C. hybrida* Spaeth в умовах культури міста Києва. Наук. вісн. Національного університету біоресурсів та природокористування. 2010. № 152. Ч.2. С. 392–397.
22. Ермантраут Е. Р., Гопцій Т. І., Каленська С. М. та ін. Методика селекційного експерименту (в рослинництві): навчальний посібник. Харк. Нац. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва. Х. 2014. 229 с.
23. Бессонова В. П. Методологія і організація наукових досліджень у садово-парковому господарстві: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури. 2019. 264 с.

## ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС – ІННОВАЦІЙНИЙ НАПРЯМ В АГРОНОМІЇ ТА ПЛАНТОНОМІЇ

Вигера С.М., Ключевич М.М., Можарівська І.А.  
Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир  
[innamozharivska@gmail.com](mailto:innamozharivska@gmail.com)

Представлено основи організації і ведення агровиробництва з використанням прецизійних фітотехнологій і аспектів системи точного землеробства. Зазначено, що на сучасному етапі, виходячи із природоохоронних принципів для виробництва якісної та безпечної продукції, особливого обґрунтування заслуговує натуральне, біодинамічне, точне та інформаційне забезпечення, що мають кращі перспективи. Проаналізовано сучасні принципи функціонування та способи використання: цифрового інноваційного забезпечення в біоценології; принципи розвитку фітології та її фітопродуцентології; висвітлена природоохоронна ефективність технічного сервісу; розглянута теорія і практика ведення сталих фітоценозів в Україні. Коротко описано апаратно-програмне забезпечення виконання прецизійних фітотехнологій і методів їх реалізації, проаналізовані принципи впровадження прецизійних фітотехнологій, представлені природоохоронні аспекти застосування прецизійних фітотехнологій і ефективності їх використання. В основу поданої нової моделі поставлено завдання: створити спрощений пристрій для моніторингу біорізноманіття екосистем, з підвищеною точністю розпізнавання, ефективністю конструкції чутливого елементу та здешевленні приладу. Поставлена задача в дослідженнях досягнена через застосування приймальної системи, що включає системи технічного зору (цифрові кольорові фотоапарати, відеокамери та комп'ютер) та екрану з світло відбиваючого матеріалу, за допомогою якого підсилюється зображення видів біорізноманіття екосистем або ж площини самого фітоценозу тощо. Через безперервне відображення за допомогою відеокамери або фотоапарата біорізноманіття екосистем, що відбувається в даному просторі, здійснюється моніторинг біорізноманіття, його динаміки та в цілому стану екосистем. Тому, що для моніторингу біорізноманіття агроекосистем необхідно проводити наземні та надземні в просторі та часі спостереження за розвитком біорізноманіття екосистем. Досліджена і запропонована приймальна система за допомогою фотоапаратів або відеокамер дозволяє з високою точністю та швидкістю робити кольорне зображення біорізноманіття екосистем за допомогою комп'ютера, а на цій основі приймати відповідне рішення. *Ключові слова:* фітоценоз, інновації, агрономічна освіта, метод технічного зору, агрономія, плантономія, класична фітопродуцентологія.

### Technical service is an innovative area in agronomy and plant science. Vigera S., Kliuchevych M., Mozharivska I.

The article presents the basics of organisation and management of agricultural production using precision phytotechnologies and aspects of the precision farming system. It is noted that at the present stage, based on environmental principles for the production of high-quality and safe products, natural, biodynamic, precise and information support deserves special justification, which has better prospects. The article analyses the modern principles of functioning and ways of using: digital innovation support in biocenology; principles of development of phytology and its phytoproductology; environmental efficiency of technical service; theory and practice of sustainable phytocenoses in Ukraine. The article briefly describes the hardware and software of precision phytotechnologies and methods of their implementation, analyses the principles of implementation of precision phytotechnologies, presents environmental aspects of the application of precision phytotechnologies and the efficiency of their use. The new model is based on the following task: to create a simplified device for monitoring ecosystem biodiversity, with increased recognition accuracy, efficient design of the sensing element and reduced cost of the device. The research objective was achieved through the use of a receiving system that includes technical vision systems (digital colour cameras, video cameras and a computer) and a screen made of light-reflecting material, which enhances the image of ecosystem biodiversity species or the plane of the phytocoenosis itself, etc. Through the continuous display of ecosystem biodiversity occurring in a given space with a video camera or camera, biodiversity, its dynamics and the overall state of ecosystems are monitored. The reason is that to monitor the biodiversity of agroecosystems, it is necessary to conduct ground and above-ground observations of the development of ecosystem biodiversity in space and time. The studied and proposed receiving system using cameras or video cameras allows to make a colour image of ecosystem biodiversity with high accuracy and speed using a computer, and on this basis to make an appropriate decision. *Key words:* phytocoenosis, innovations, agronomic education, technical vision method, agronomy, plantonomy, classical phytoproductology.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі вкрай актуальним є зміна світогляду щодо формування та функціонування сталих екосистем фітоценозів в Україні. Адже рослинний світ є основним продуцентом в життєвих процесах органічного світу та людини розумної, забезпечуючи органічною речовиною та збалансованим повітрям на основі виділення кисню [1, 2].

**Актуальність дослідження.** Такий підхід є особливо актуальним наразі, коли на світовому рівні

спостерігаються такі глобальні проблеми: глобальний голод, глобальне потепління, глобальні війни, глобальне знищення природи.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Наші обґрунтування засвідчують, що з метою вирішення цих глобальних проблем, вкрай необхідним є аргументована розробка: інноваційної методології формування сталих фітоценозів за принципом класичної фітопродуцентології; ефективних технологій, що

ґрунтуються на використанні економічного, експертного, цифрового та технічного сервісу; урахуванні природоохоронного принципу в життєвих процесах людини розумної та в контексті розвитку органічного світу [3, 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За результатами досліджень В. Анікевича, Д. Г. Войтюка, С. М. Вигери, Н. І. Адамчука, Ф. М. Захаріна, С. О. Пономаренка, М. М. Ключевича встановлено, що моніторинг біорізноманіття агроєкосистем доцільно проводити як наземні так і надземні спостереження в просторі та часі за розвитком біорізноманіття екосистем.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Передумовами вирішення загальних природоохоронних проблем сьогодення є впровадження інноваційних технологій на основі технічного сервісу, згідно яких культури вирощують не лише в межах поля, а також в принципово відмінних екосистемах, що забезпечує: суттєво менший вплив на довкілля, підвищення ефективності аграрного виробництва в рослинництві, зниження витрат на технічні засоби та їх обслуговування, покращення економіки вирощування та логістики щодо отриманого урожаю тощо.

**Новизна.** Обґрунтовано сучасний напрям ведення культурних фітоценозів в межах поля, що забезпечують фахівці з агрономії та доведено, що вони не повністю відповідають інноваційному світогляду, згідно якого культурні рослини вирощують також в умовах теплиць, гідропоніки, аеропоніки, вертикальних ферм, житлових приміщень, в космосі тощо, де принципово відмінне від поля живильне для рослин середовище.

Такі новітні способи вирощування культур здатні більш ефективно забезпечити фахівці з плантономії, де основна увага акцентується не на поле, а на вирощувану рослину в межах інших екосистем, в яких застосовують також принципово інший технічний сервіс, за рахунок використання новітніх технічних засобів, зокрема і методу технічного зору, що дозволяє практично безперервно спостерігати за динамікою розвитку рослин.

**Загальнонаукове значення.** Сучасний науково-технічний процес засвідчує, що без використання ефективного технічного сервісу не можливий гармонійний розвиток людського суспільства в поєднанні із природним середовищем, яке, зокрема, є і джерелом харчових ресурсів.

Саме тому впродовж останніх років наші обґрунтування та дослідження направлені на вирішенні таких вкрай складних проблем.

**Виклад основного матеріалу.** Згідно нашого світогляду всі фітоценози розподілені на такі основні складові:

1) природні (натуральні) фітоценози;

2) хомонатуральні (культурно-натуральні та урболандшафтні) фітоценози;

3) культурні фітоценози (агрофітоценози).

*Природні (натуральні) фітоценози.* До них логічно віднести території рослинного світу, що формуються та функціонують в природному середовищі сотні, тисячі та мільйони років без активного втручання людського чинника. В умовах України такі фітоценози є на території Карпатського, Кримського, Поліського регіону, зокрема: природні заповідники, болотиста місцевість тощо. У таких формаціях обмежений обробіток ґрунту, санітарні вирубки, зрізування та викопування деревних рослин, обробіток їх синтетичними технологічними матеріалами тощо. Там можна проводити, з певними обмеженнями, збиранництво різних плодів, ягід, квіток, листків тощо.

*Хомонатуральні фітоценози.* До них логічно віднести території рослинного світу, що формуються і функціонують за певною участю людей, але за принципом розвитку натуральних фітоценозів.

Такі фітоценози людина формує як поза населених пунктів (культурно-натуральні), так і в їх межах (урболандшафтні). Викладене свідчить, що з метою сталого формування та функціонування урболандшафтних фітоценозів, необхідно розробити концепцію їх створення, яка ґрунтується на підвищеній стійкості рослин до біотичних та абіотичних чинників, підбираючи специфічні місцеві та інтродуковані види рослин. Як правило – це створює передумови обмеження використання синтетичних технологічних матеріалів, особливо пестицидів, мінеральних добрив та інших токсикантів.

*Культурні фітоценози (агрофітоценози).* До них віднесені території рослинного світу, що формують, як правило, фахівці агрономічного профілю з відповідною спеціалізацією, зокрема вирощуючи польові культури (зернові, зернобобові, садові, кущові, овочеві, декоративні та інші види рослин). Зауважимо, що навколо полів вкрай необхідним є формування також нового типу фітосмуг на основі інноваційного напрямку – *фітовінкулатологія* на основі використання специфічних різновидностей рослин.

Наразі фахівців такого профілю, а саме агрономів (агро – поле) готують згідно спеціальності агрономія. У своїй абсолютній більшості фахівцям цього профілю притаманно забезпечення вирощування культурних рослин в межах поля (агрофітоценозу), що є вкрай недостатнім. Це викликане тим, що нині рослини культивують також в умовах антропоприродних (хомонатуральних) фітоценозів, теплиць, гідропоніки, аеропоніки, вертикальних ферм, житлових приміщень, в космосі тощо, де принципово відмінне від поля живильне для рослин середовище.

Виходячи із цього в умовах підготовки фахівців щодо ефективного формування різновидностей фітоценозів, особливо в якості харчових ресурсів, логічно взяти за основу не так *поле*, яке має неодно-

значне значення і на міжнародному рівні, а рослину з її правильним розміщенням для формування та функціонування в певній екосистемі з відповідним живильним середовищем, залежно від її біологічних особливостей та подальшого напрямку використання.

Одночасно простий аналіз вище наведених науково-освітніх напрямків про рослинний світ: ботаніки та фітології, засвідчує, що всі різновидності рослинного світу входять до царства «рослини», які на основі латинської мови, як і інші всі царства (*Virus* – *Virus*, *Arxēi* – *Archaea*, *Bakteriī* – *Bacteria*, *Gribi* – *Fungi*, *Roslini* – *Plantae*, *Tvarini* – *Animalia*), повинні мати українську наукову назву *планта*. В такому випадку фахівцями щодо вирощування рослин в екосистемах не польового значення повинні бути *плантономи*. Таке дискусійне та інноваційне питання потребує подальшого аргументованого обґрунтування та обговорення на різних рівнях науково-освітнього процесу, зокрема на державному рівні, шляхом проведення міжнародних та всеукраїнських форумів, конференцій тощо.

Викладене розмаїття розвитку фітоценозів в умовах сталого розвитку натуральних, хомонатуральних і культурних екосистем, зокрема і в межах сільських, міських, промислових та виробничих територій, в умовах відпочинку та успішного розвитку зеленого туризму тощо засвідчує про нагальну необхідність обґрунтування та розробки інноваційних технологій, зокрема за рахунок використання цифрового та технічного сервісу.

Такий підхід є особливо актуальним щодо розробки моніторингових систем з метою спостереження не лише за відповідними фітоценозами, а, в ряді випадків, навіть за окремими рослинами.

Саме тому нами запропонований, крім відомих традиційних методів, інноваційний: *метод технічного зору* [5, 6, 7]. Такий метод моніторингу стану фітоценозів, окремих видів рослин в межах фітоценозів та навколо їх, а також наявності там економічно збиткових (шкідливих) та прибуткових (корисних) різновидностей органічного світу має надзвичайно великі перспективи.

На метод технічного зору нами отриманий відповідний патент [7]. В основі такого моніторингу є спеціальний пристрій.

В основі корисної моделі є те, що для моніторингу екосистем з біотою використовують приймальну систему, що складається з системи технічного зору (кольорова цифрова відеокамера та комп'ютер), до якої під'єднаний за допомогою дротового зв'язку спалах та екран (підкладка з світло відбиваючого матеріалу), на фоні якого відбувається моніторинг біорізноманіття в певній екосистемі. Таким способом проходить сканування змін, що відбуваються в певному просторі, що в послідовному за допомогою комп'ютера здійснюється аналіз реальної ситуації.

У ряді випадків замість відеокамер можливим є використання певних фотоапаратів, смартфонів, мобільних телефонів тощо.

Наведений спосіб моніторингу є особливо актуальним з метою отримання даних щодо стану фітоценозів і різновидностей біоти там.

За допомогою запропонованого пристрою, його приймальна система дозволяє з високою та реальною точністю і швидкодією робити кольорове зображення стану екосистем з рослинами та іншою біотою. На основі використання певних алгоритмів і математичних моделей є можливість зробити ідентифікацію кольорового зображення.

Таким чином, в основі приладу щодо методу технічного зору є те, що він складається з приймальної системи, яка містить кольорову цифрову відеокамеру, комп'ютер і підкладку з світло відбиваючого матеріалу, який містить приймальну систему – технічний зір, до якої підключений спалах та екран, на фоні якого здійснюється моніторинг.

Залежно від наявності різновидностей технічного сервісу приладу технічного зору можуть працювати не лише наземним способом, а також і повітряним за рахунок використання пілотних і безпілотних апаратів (дронів), що є особливо актуальним нині за ведення бойових дій.

Це є особливо актуальним в аграрному секторі, коли спостерігається успішний розвиток технічного сервісу, особливо нового типу тракторів, комбайнів, інших наземних технічних засобів, використання нового типу безпілотних літальних апаратів з додатковим обладнанням і програмуванням: апаратно-програмне забезпечення виконання прецизійних фітотехнологій (методи навігації рухомих польових об'єктів, навігація і управління рухом безпіотної польової машини тощо); технології реєстрації стану ґрунтового покриття (вологість, щільність, кислотність, агрохімічний стан, структура ґрунту); моніторинг врожайності культурних фітоценозів; реалізація прецизійних фітотехнологій тощо.

Використання методу технічного зору дозволяє провести більш швидкі дослідження в екосистемах, що мають значні території. Такий метод є актуальним також і в плантономії, згідно якої рослинну продукцію отримують і в інших, крім полів, фітоценозах [8].

**Головні висновки.** Аргументована концепція інноваційного світогляду щодо формування та функціонування натуральних, хомонатуральних і культурних фітоценозів на основі різновидностей із царства «рослини» ґрунтується на основі обґрунтування та забезпечення технічного сервісу.

Основний акцент звертається на використання *методу технічного зору*, що є передумовою розробки ефективної моніторингової системи, а на цій основі і успішного забезпечення технічного сервісу з метою сталого розвитку особливо хомонатуральних і культурних фітоценозів.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Пропоновані результати дослідження будуть використовуватися в агрономії та плантономії у новітніх технологіях, автоматизації, персоналізації

обслуговування та підвищенні екологічності процесів із застосуванням технічного сервісу. Це сприятиме підвищенню ефективності агровиробництва та зниженню витрат на технічне обслуговування.

### Література

1. Вигера С. М. Природоохоронний контроль культурних фітоценозів: монографія. К.: ЦП “Компринт”, 2015. 398 с.
2. Прецизійні фітотехнології в агропромисловому комплексі України / Л. В. Анісевич, Д. Г. Войтюк, С. М. Вигера, Н. І. Адамчук, Ф. М. Захарін, С. О. Пономаренко, М. М. Ключевич : монографія. Київ : НУБіП України. 2019. 798 с.
3. Вигера С. М., Ключевич М. М., Ковальчук Р. Л. Обґрунтування новітньої методології забезпечення здоров'я фітоценозів. *Moderní aspekty vědy: XLVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.*, 2024. P. 166–175.
4. Вигера С.М., Ключевич М. М., Ковальчук Р. Л. Інновації в освітньому процесі щодо сталого розвитку фітоценозів Поліського краю. *Тези Міжнародної наукової інтернет-конференції ІСГП НААН «Теоретичні та практичні аспекти розвитку хмелярської науки», присвячена 100-річчю створення Волинської дослідної станції хмелярства, 10 липня 2024 року.* Житомир: ІСГП НААН, 2024. С. 42–44.
5. Вигера С.М. Метод технічного зору моніторингу ентоморізноманіття екосистем *Наукові доповіді НУБіП України*, 2009. № 2 (14). С. 6.
6. Анісевич Л. В., Вигера С. М. За допомогою технічного зору. Аналіз стану біорізноманіття фітоценозів за сучасного ведення землеробства. *Насінництво*, 2009. № 8. С. 25–28.
7. Анісевич Л. В., Броварець О. О., Вигера С. М. Пристрій для моніторингу біорізноманіття екосистем. Патент № 43313. Опубл. 10.08.2009 р. Бюлетень № 15. 5 с.
8. Ключевич М. М., Вигера С. М., Можарівська І. А., Ковальчук Р. Л. Теоретичні аспекти інноваційного світогляду щодо наук про царство рослин. *Moderní aspekty vědy: LIII. Díl mezinárodní kolektivní monografie. Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.*, 2025. P. 184–194. DOI <https://doi.org/10.52058/53-2025>

## СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ГЕНОТИПІВ ПШЕНИЦІ ДО ДІЇ ПОСУХИ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ОРГАНОГЕНЕЗУ

Юрченко Т.В., Демидов О.А., Пикало С.В., Волощук Г.Д., Харченко М.В.  
Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла  
Національної академії аграрних наук України  
с. Центральне, 08853, Київська обл.  
[pykserg@ukr.net](mailto:pykserg@ukr.net)

Пшениця – одна з основних продовольчих культур в Україні і світі. Створення нових сортів пшениці з комплексним поєднанням ознак на сьогодні є актуальним і в перспективі має стабілізувати ринок екологічно безпечного продовольчого зерна в Україні. Пріоритетним напрямом генетики, селекції та біотехнології є оцінювання та добір генотипів, стійких до несприятливих екологічних чинників довкілля. Посухостійкість – одна з основних складових адаптивності сортів зернових культур, зокрема пшениці. Для визначення стійкості до водного стресу існує ціла низка методів різного принципу дії. Переважна їх більшість на сьогодні неоптимальні, внаслідок чого актуальним залишається завдання створення нових і вдосконалення вже існуючих способів оцінювання посухостійкості генотипів пшениці. У представленій роботі наведено порівняльну характеристику різних методів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Розроблено спосіб оцінювання стійкості генотипів пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу, який базується на дії штучно змодельованого стресового чинника, спрямованого проти виживання стрес-чутливих форм. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель. Новим є те, що оцінювання посухостійкості окремих генотипів проводять за зміною довжини і маси пагонів та головних коренів рослин за наступною схемою: 1) пророщування насіння у дистильованій воді – 10 діб; 2) культивування проростків на штучному субстраті з сахарозою концентрацією 16 атм – 7 діб; 3) визначення довжини та маси кореневої системи і надземної частини рослин. Суть методу полягає в тому, що оцінювання проводять у лабораторних умовах і дає змогу значно прискорити та спростити відбір посухостійких генотипів. Переваги запропонованого методу над традиційними полягають у економії місця, можливості аналізувати велику кількість селекційного матеріалу, контролювати умови зовнішнього середовища та проводити оцінку впродовж року. Використання даного методу в селекції озимих зернових культур сприятиме створенню нових сортів, які мають цінні практичні властивості. Запропонований метод надасть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці. *Ключові слова:* пшениця, спосіб, стійкість, посуха, оцінювання, проростки.

**Method for evaluating drought tolerance of wheat genotypes at the early stages of organogenesis. Yurchenko T., Demydov O., Pykalo S., Voloshchuk H., Kharchenko M.**

Wheat is one of the main food crops in Ukraine and worldwide. The development of new wheat varieties with a complex combination of traits is currently a relevant task and is expected to stabilize the market for environmentally safe food grain in Ukraine. The priority areas in genetics, breeding, and biotechnology is the evaluation and selection of genotypes tolerant to adverse environmental factors. Drought tolerance is a key component of the adaptability of cereal crop varieties, particularly wheat. There are numerous methods of varying principles for determining tolerance to water stress. However, most of them are currently suboptimal, making the development of new and the improvement of existing methods for evaluating drought tolerance of wheat genotypes a pressing issue. This study presents a comparative characterization of different methods, each with its own advantages and disadvantages. A method for evaluating wheat genotypes tolerance to drought at the early stages of organogenesis has been developed which is based on the effect of an artificially simulated stress factor aimed at eliminating stress-sensitive forms. The proposed method is protected by a utility model patent. The novelty of the method lies in the fact that drought tolerance assessment of individual genotypes is conducted by measuring changes in the length and mass of shoots and main roots according to the following scheme: 1. Germination of seeds in distilled water for 10 days. 2. Cultivation of seedlings on an artificial substrate with sucrose at concentration of 16 atm for 7 days. 3. Measurement of the length and mass of the root system and the aerial part of the plants. The essence of the method is that it is conducted under laboratory conditions, significantly accelerating and simplifying the selection of drought-tolerant genotypes. The advantages of the proposed method over traditional ones include space efficiency, the ability to analyze a large amount of breeding material, environmental condition control, and year-round assessment. The application of this method in the breeding of winter cereal crops will contribute to the development of new varieties with valuable practical properties. The proposed method will allow for a fuller realization of the productivity potential embedded by breeders in the studied varieties, facilitating their more effective use in both crop production and breeding practices. *Key words:* wheat, method, tolerance, drought, evaluation, seedlings.

**Постановка проблеми.** Пшениця м'яка озима (*Triticum aestivum* L.) є однією з основних продовольчих культур в Україні і світі. Ця культура, будучи одним із найцінніших злаків планети, відіграє провідну роль у харчовому забезпеченні людства [1; 2]. Ареал пшениці дуже великий, оскільки культивують її на п'яти континентах у більшості країн світу

[3]. Генетичне вдосконалення пшениці має вирішальне значення, адже безпосередньо впливає на економічний розвиток, міжнародну торгівлю зерном і продовольчу безпеку країни [4]. У зв'язку з цим актуальність досліджень у вирішенні багатьох генетико-селекційних задач стосовно пшениці зростає і набуває якісно нового характеру.

Кліматичні зміни все частіше стають основним стримуючим фактором у реалізації генетичного потенціалу високоврожайних сортів пшениці [2]. Періодичні нищівні кліматичні катаклізми зводять нанівець урожаї та роблять непридатними для вирощування цілі аграрні регіони [5]. Загальне забруднення навколишнього середовища, різке загострення екологічної ситуації у світі в результаті антропогенного впливу, глобальне потепління й аридизація клімату зробили проблему стійкості однією з головних у біології та фізіології рослин [6].

**Актуальність дослідження.** Очікується безперервне зростання попиту на пшеницю, який буде в основному задоволений за рахунок збільшення її врожайності. Величина урожайності є найважливішим показником при вирощуванні сільськогосподарських культур. Посуха – один із найголовніших обмежуючих чинників довкілля, що знижують продуктивність рослин [6; 7]. Щоб мінімізувати втрати зернової продукції у посушливі роки, необхідно мати стійкі до дефіциту вологи сорти. Створення посухостійких сортів пшениці з комплексним поєднанням цінних господарських ознак на сьогодні є актуальним і в перспективі має стабілізувати ринок екологічно безпечного продовольчого зерна в Україні.

Селекція пшениці на посухостійкість є визначальною передумовою для підвищення її пластичності та продуктивності і дає змогу розширити посіви цієї культури у районах із несприятливими кліматичними умовами [8]. Хоча це завдання на сьогодні сформувалось як самостійний напрям селекції, що володіє широким арсеналом методів і прийомів, лишається багато неясного як у загальнотеоретичних положеннях, так і в окремих питаннях, пов'язаних з біологічними особливостями рослин. Селекція на посухостійкість спирається на результати досліджень щодо закономірностей і механізмів формування адаптивних реакцій, визначення морфо-анатомічних та фізіолого-біохімічних показників, що забезпечують стійкість рослин до стресу [9]. Дослідження, спрямовані на розв'язання даної проблеми, є актуальними і значущими, оскільки вони орієнтовані на розвиток розуміння реакцій рослин на посуху та широке впровадження нових методів для вирішення прикладних завдань селекції пшениці.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Представлені матеріали є частиною таких науково-дослідних робіт: «Скринінг сортів пшениці м'якої озимої на стійкість до абіотичних стресових чинників на початкових етапах органогенезу» (номер державної реєстрації № 0124U005081); «Особливості формування ознак і властивостей зернових культур, які визначають стійкість до абіотичних стресових чинників, в умовах Лісостепу України з використанням біотехнологічних та фізіолого-генетичних методів» (номер державної реєстрації № 0121U100435).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Успіх селекції у створенні посухостійких форм багато в чому залежить від правильної оцінки ступеня їхньої стійкості. Тому методологічне забезпечення всебічного дослідження біологічної та агрономічної посухостійкості рослин цієї культури є пріоритетним завданням багатьох селекційних установ України. Для скринінгу сортів пшениці на посухостійкість є багато методів, заснованих на різних принципах дії, і кожен із них має свої переваги і недоліки [10]. Для прискорення селекційного процесу й отримання достовірних результатів необхідно застосовувати різні методики дослідження зразків за конкретними ознаками стійкості до стресу. Достовірність оцінки тим чи іншим методом залежить від того, наскільки сильно корелює з істинною стійкістю рослин фізіологічна ознака, що лежить в основі даного діагностичного способу [11]. Вибір способу значною мірою залежить від ступеня його трудомісткості, тривалості оцінки і пропускну здатності. Тому створення нових і вдосконалення вже наявних методів оцінки селекційного матеріалу пшениці на посухостійкість в умовах наростання водного дефіциту або підвищення температури дасть можливість об'єктивно характеризувати рівень адаптивності перспективних генотипів і прогнозувати їхню поведінку у відповідних екологічних умовах. Класичні методи, що застосовуються для оцінки посухостійкості рослин, умовно розподіляють на дві групи: прямі та непрямі.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Розробка та вдосконалення методів оцінювання посухостійкості є важливою складовою селекційного процесу зернових культур [10]. Варто підкреслити, що методів оцінювання та добору рослин за посухостійкістю існує багато і залежно від цілей дослідження цієї ознаки і зони вирощування вони можуть бути різними.

Оскільки безпосередня оцінка рівня агрономічної стійкості рослин до посухи є тривалим та трудомістким завданням, у селекційній та інтродукційній практиці широко використовуються непрямі лабораторні методи оцінки біологічної стійкості за фізіологічними, анатомічними, морфологічними та біохімічними показниками [11]. Ці підходи полягають у використанні не самої стійкості до нестачі вологи, а будь-якої іншої біологічної властивості, що пов'язана з даною ознакою.

На сьогодні існує ціла низка непрямих методів оцінки посухостійкості рослин пшениці. Найбільш використовуваними з них є реєстрація товщини листя і визначення у них відносного вмісту води [12], визначення інтенсивності транспірації проростків і виносу з транспіраційною вологою мінеральних іонів [13], вимірювання електроопору у верхній частині проростків пшениці за допомогою голчастих електродів, реєстрація електропровідності листя за здатністю листків виділяти або утримувати різню

кількість електролітів [14]. До відомих належать також методи оцінки посухостійкості за оптичною густиною екстрактів листя, ростовою реакцією, ступенем відновлення мітотичної активності меристеми пагона після підсушування, величиною енергетичного заряду аденозинфосфатної системи [11].

Одним із методів оцінки посухостійкості пшениці є визначення відсотка пророслого насіння на розчинах речовин, що викликають зниження водного потенціалу в клітинах [15]. Встановлено, що висока частка пророслого насіння на субстраті з осмотиком характеризує його здатність проростати у ґрунті за дуже малих запасів вологи [11]. Тому використання цього підходу дає можливість на початкових фазах розвитку оцінити відносну посухостійкість рослин. У ролі осмотика, як правило, використовують високомолекулярний поліетиленгліколь, низькомолекулярний маніт або дисахарид сахарозу.

**Мета роботи** – розробити спосіб, який дозволить зручно, швидко і з необхідною вірогідністю оцінити та відібрати посухостійкі генотипи пшениці на ранніх етапах органогенезу, що в кінцевому рахунку дозволить прискорити селекційний процес і зменшити трудові витрати.

**Новизна.** Розроблено спосіб оцінювання стійкості сортозразків пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу, що обумовлений здатністю рослин різних сортів неоднаково рости на осмотичних розчинах. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель (№ 157893 від 12.12.2024, бюл. № 50) [16]. Суть методу полягає в тому, що він проводиться в лабораторних умовах і дає змогу значно прискорити та спростити відбір посухостійких зразків. Новим є те, що оцінку посухостійкості генотипів проводять за зміною довжини і маси пагонів та головних коренів рослин за наступною схемою: пророщування насіння на дистильованій воді – 10 діб; культивування проростків на штучному субстраті з сахарозою концентрацією 16 атм – 7 діб, після чого визначають довжину та масу кореневої системи і надземної частини рослин.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Запропонований спосіб оцінювання посухостійкості генотипів пшениці на початкових етапах органогенезу доповнить методологію та сприятиме створенню нових сортів із цінними практичними властивостями. Спосіб може бути використаний у селекційних центрах, науково-дослідних установах та на дослідних станціях.

**Виклад основного матеріалу.** Найбільш близьким по технічній суті є аналогічний спосіб, який полягає у пророщуванні насіння на розчинах сахарози з високим осмотичним тиском [11]. Він полягає у здатності насіння різних сортів пшениці по-різному проростати на розчинах з високим осмотичним тиском. Як контроль використовують дистильовану воду. Насіння, що має більшу сисну силу, ніж у зовнішнього розчину, характеризують як

посухостійке. Тобто високий відсоток пророслого насіння характеризує здатність сорту проростати у ґрунті при недостатніх запасах вологи.

Однак недоліком даного методу є те, що кореляція між схожістю насіння і ростовими параметрами рослин при подальшому тривалому їх вирощуванні в умовах водного дефіциту не завжди є суттєвою. Причиною цього є те, що процеси, які регулюють розтягнення клітин при проростанні і подальшому рості, є абсолютно різними. Поглинання води насінням і подальше його набухання є переважно фізико-хімічними процесами на відміну від біохімічних, які контролюють поділ клітин і їх розтягнення в період росту. До того ж схожість насіння за селективних умов залежать не лише від посухостійкості, але і значною мірою від стану зародка і насіннєвих оболонок. Тому відбір генотипів лише за схожістю насіння в умовах осмотичного стресу не завжди дає об'єктивний результат і, як наслідок, може бути неефективним.

Найбільш надійну оцінку посухостійкості рослин можна отримати, аналізуючи її життєві показники в умовах штучно змодельованого стресового чинника. Особливий інтерес представляють методи ранньої діагностики на проростках, оскільки вони дають можливість проводити оцінку впродовж року і аналізувати велику кількість селекційного матеріалу.

Поставлене завдання вирішується тим, що в запропонованому способі оцінювання генотипів проводять за зміною довжин пагонів та головних коренів рослин в умовах штучно змодельованого стресового чинника. Вивчення стійкості пшениці до водного дефіциту на ранніх етапах росту і розвитку рослин дасть можливість визначити рівень осмотичного стресу на кореневу систему, надземну частину та рослину в цілому.

Запропонований спосіб включає нижче перераховані процеси. Досліди проводять у двох варіантах (контрольний – дистильована вода, дослідний – розчин сахарози) та трьох повтореннях (по 15 насінин в кожному), використовуючи виповнене насіння однієї репродукції. Для обох варіантів використовують ростильні та пластикові пластини (розміром 23 см × 13 см) з сімома повздовжніми вирізами (розміром 19 см × 4 см). Пластини мають розмір відповідний до ростильні. Фільтрувальний папір (розміром 18,5 × 7,5 см) вставляють у вирізи на пластинці так, щоб утворилася борозна. При розміщенні пластини на ростильні фільтрувальний папір повинен торкатися дна. На пластині створюють п'ять борозенок, в кожену з них розкладають сухе насіння по 15 шт. У ростильні наливають дистильовану воду і розміщують на них пластини з насінням. Поверхню ще додатково звожують для кращого проростання насіння. Насіння обох варіантів таким способом пророщують 10 діб, до появи розгорнутого листка за температури повітря від +18 °C до +21 °C. Потім



через 10 діб з ростильні дослідного варіанту зливають дистильовану воду, після чого заливають 350 мл попередньо підготовленого розчину сахарози концентрацією 16 атм. В подальшому рослини продовжують відрощувати ще 7 діб. У контрольному варіанті рослини продовжують рости на дистильованій воді, а у дослідному – на розчині сахарози. Надалі визначають довжину та масу кореневої системи і надземної частини рослин. Отримані результати порівнюють відносно контролю. Чим менша різниця між показниками контрольного та дослідного варіантів, тим вища посухостійкість рослини.

**Головні висновки.** Таким чином, у результаті дослідження розроблено спосіб оцінювання стійкості генотипів пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу. Наведено порівняльну характеристику різних методів в оцінюванні зразків на стійкість до водного дефіциту. Аналіз літературних джерел засвідчив, що для вивчення посухостійкості

існує багато методик, заснованих на різних принципах дії, і кожен із них має свої переваги та недоліки. Переважна їх більшість не є нині оптимальними, внаслідок чого актуальним лишається завдання створення нових і вдосконалення вже наявних методів оцінювання пшениці. Переваги запропонованого методу над традиційними полягають у економії енергозатрат, можливості працювати з великими вибірками зразків та контролювати умови зовнішнього середовища.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Використання даного методу сприятиме розв'язанню проблеми стійкості пшениці до несприятливих кліматичних чинників. Розроблений спосіб надасть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці.

### Література

1. Мащенко Ю. В., Кулик Г. А., Трикіна Н. М., Малаховська В. О. Урожайність пшениці озимої у сівозмінах степу залежно від систем удобрення та біопрепарату. *Аграрні інновації*. 2023. № 18. С. 77–83.
2. Балабух В.О. Однолеток Л.П., Кривошеїн О. Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у періоди вегетаційного циклу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. № 3 (46). С. 72–85.
3. Mousavi S. R., Jahandideh Mahjenabadi V. A., Khoshru B., Rezaei M. Spatial prediction of winter wheat yield gap: agro-climatic model and machine learning approaches. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 14. 1309171.
4. Raveena, Bharti R., Chaudhary N. Drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.): a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2019. Vol. 8, N 9. P. 1780–1792.
5. Рибалка О.І. Геноміка, транскриптоміка, протеоміка і біоінформатика на службі сучасної селекції пшениці. *Збірник наукових праць СГІ – НЦНС*. 2013. Вип. 21 (61). С. 18–38.
6. Chaudhry S., Sidhu G.P.S. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*. 2022. Vol. 41, Iss. 1. P. 1–31.
7. Fàbregas N., Fernie A.R. The metabolic response to drought. *Journal of Experimental Botany*. 2019. Vol. 70, N 4. P. 1077–1085.
8. Filip E., Woronko K., Stępień E., Czarniecka N. An overview of factors affecting the functional quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, N 8. 7524.
9. Mahalingam R., Pandey P., Senthil-Kumar M. Progress and prospects of concurrent or combined stress studies in plants. *Annual Plant Reviews*. 2021. Vol. 4, Iss. 4. P. 813–868.
10. Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В., Гуменюк О.В., Харченко М.В., Рибка К.М. Розроблення способів оцінки та добору генотипів зернових культур на стійкість до абіотичних стресових чинників. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32). С. 175–184.
11. Пикало С., Демидов О., Юрченко Т., Хоменко С. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2020. Вип. 82. С. 63–79.
12. Makar O.O., Patsula O.I., Kavulych Y.Z., Batrashkina T.I. Excised leaf water status as a measure of drought resistance of Ukrainian spring wheat. *Studia Biologica*. 2019. Vol. 13, N 2. P. 41–54.
13. Моргун В.В., Стасик О.О., Кірізій Д.А., Прядкіна Г.О. Зв'язок реакції фотосинтетичних показників і зернової продуктивності на ґрунтову посуху в контрастних за стійкістю сортів озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48, № 5. С. 371–381.
14. Булавка Н.В., Юрченко Т.В., Кучеренко О.М., Пірич А.В. Сорти пшениці м'якої озимої, стійкі до впливу негативних чинників довкілля. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 3. С. 255–261.
15. Прокопів Н.І., Чугункова Т.В., Хоменко С.О. Оцінка посухостійкості сортів пшениці м'якої озимої різного еколого-географічного походження за умов осмотичного стресу. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019. № 3 (79). С. 1–8. doi: 10.31548/dopovid2019.03.004
16. Спосіб оцінювання сортозразків пшениці до дії посухи на початкових етапах органогенезу: пат. 157893 Україна: МПК A01H1/04. No 202402382; заявл. 06.05.2024; опубл. 11.12.2024, Бюл. № 50.

## ЕКОЛОГІЧНО ЕФЕКТИВНА ПЕРЕРОБКА ПОЛІМЕРІВ: ПРИКЛАД RECYCLE HUB У РУМУНІЇ

Василенко О.М.

Житомирський державний університет імені Івана Франка  
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир  
[vasylenko-o@zu.edu.ua](mailto:vasylenko-o@zu.edu.ua)

У статті висвітлюються актуальні питання утилізації полімерних матеріалів в умовах зростаючого їх використання у світі. Пластикове забруднення залишається одним із найгостріших екологічних викликів сучасності, що зумовлює потребу у впровадженні ефективних рішень. Дослідження зосереджено на аналізі інноваційних підходів до переробки полімерів на прикладі діяльності підприємства Recycle Hub у Румунії, яке є зразком ефективної інтеграції принципів циркулярної економіки.

Розглянуто глобальні екологічні виклики, спричинені щорічним виробництвом значних обсягів пластику, значна частина якого не підлягає переробці. Досвід Recycle Hub демонструє успішну інтеграцію інноваційних технологій у сфері рециклінгу, що дозволяє не лише зменшити обсяги пластикових відходів, але й суттєво скоротити викиди парникових газів. У статті детально описано методи переробки, що застосовуються на підприємстві: подрібнення, очищення, сортування полімерів та їх трансформація у гранулят для подальшого використання у виробничих процесах.

Особливу увагу приділено аналізу міжнародних стандартів і нормативно-правових актів, що регламентують процеси переробки пластикових відходів. Порівняно практики країн Європейського Союзу щодо зменшення використання одноразового пластику та стимулювання переробки, які можуть слугувати орієнтиром для впровадження відповідних підходів в Україні.

Новизна дослідження полягає у систематичному аналізі міжнародного досвіду переробки полімерів із урахуванням специфічних викликів, що стоять перед Україною. Відзначено, що в Україні відсутня ефективна система збору, сортування та утилізації гнучкої упаковки, що потребує впровадження інноваційних технологій рециклінгу. Досвід Recycle Hub може бути адаптований до українських реалій, сприяючи розвитку національної системи циркулярної економіки.

Методологічне значення роботи полягає у застосуванні комплексного підходу до оцінки ефективності рециклінгових технологій з урахуванням їхнього екологічного, економічного і соціального впливу. Аналіз впровадження інноваційних рішень у сфері переробки полімерів сприяє розвитку міждисциплінарних досліджень, що інтегрують екологічні науки, економіку та соціологію.

У висновках підкреслено необхідність впровадження передових технологій переробки полімерів для підвищення екологічної безпеки та економічної конкурентоспроможності України. Інтеграція міжнародного досвіду сприятиме розвитку інфраструктури переробки, створенню нових робочих місць і стимулюванню інновацій у промисловості. Досвід Recycle Hub демонструє, що інноваційні підходи можуть ефективно знижувати екологічне навантаження та сприяти сталому розвитку. *Ключові слова:* циркулярна економіка, інноваційні технології рециклінгу, екологічна ефективність утилізації, розширена відповідальність виробника, міжнародні екологічні стандарти.

### **Ecologically efficient processing of polymers: the example of Recycle Hub in Romania. Vasylenko O.**

The article highlights the current issues of recycling of polymeric materials in the context of their growing use in the world. Plastic pollution remains one of the most acute environmental challenges of our time, which necessitates the implementation of effective solutions. The research focuses on the analysis of innovative approaches to polymer recycling using the example of the Recycle Hub enterprise in Romania, which is an example of effective integration of the principles of the circular economy.

The global environmental challenges caused by the annual production of significant volumes of plastic, a significant part of which cannot be recycled, are considered. The Recycle Hub experience demonstrates the successful integration of innovative technologies in the field of recycling, which allows not only to reduce the volume of plastic waste, but also to significantly reduce greenhouse gas emissions. The article describes in detail the recycling methods used at the enterprise: crushing, cleaning, sorting polymers and their transformation into granulate for further use in production processes.

Particular attention is paid to the analysis of international standards and regulatory legal acts regulating the processes of recycling plastic waste. The practices of the European Union countries in reducing the use of single-use plastic and stimulating recycling are compared, which can serve as a guideline for the implementation of appropriate approaches in Ukraine.

The novelty of the study lies in the systematic analysis of international experience in polymer recycling, taking into account the specific challenges facing Ukraine. It is noted that Ukraine lacks an effective system for collecting, sorting and disposing of flexible packaging, which requires the implementation of innovative recycling technologies. The Recycle Hub experience can be adapted to Ukrainian realities, contributing to the development of the national circular economy system.

The methodological significance of the work lies in the application of an integrated approach to assessing the effectiveness of recycling technologies, taking into account their environmental, economic and social impact. The analysis of the implementation of innovative solutions in the field of polymer processing contributes to the development of interdisciplinary research that integrates environmental sciences, economics and sociology.

The conclusions emphasize the need to implement advanced polymer processing technologies to increase environmental safety and economic competitiveness of Ukraine. The integration of international experience will contribute to the development of recycling infrastructure, the creation of new jobs and the stimulation of innovation in industry. The Recycle Hub experience demonstrates that innovative approaches can effectively reduce the environmental burden and promote sustainable development. *Key words:* circular economy, innovative recycling technologies, environmental efficiency of disposal, extended producer responsibility, international environmental standards.

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах стрімкого зростання обсягів виробництва та використання полімерних матеріалів проблема їхньої утилізації та рециклінгу постає як одне з найактуальніших екологічних завдань. Пластикове забруднення продовжує накопичуватися в навколишньому середовищі, створюючи серйозні екологічні та соціальні проблеми. Попри численні дослідження у цій галузі, ефективні та екологічно безпечні технології переробки полімерів залишаються недостатньо досконалими.

Однією з перспективних моделей є досвід підприємства Recycle Hub у Румунії, яке впровадило інноваційні підходи до переробки пластикових відходів. Оцінка екологічної ефективності та результативності цього прикладу дозволяє виявити ключові недоліки сучасних технологій і сформулювати рекомендації щодо їхнього вдосконалення.

Таким чином, проблема ефективної та екологічно безпечної переробки полімерів залишається актуальною у багатьох регіонах світу та потребує глибокого аналізу з урахуванням міжнародного досвіду для розробки успішних стратегій.

**Актуальність дослідження.** Глобальні екологічні виклики, пов'язані із забрудненням пластиком, зумовлюють необхідність пошуку інноваційних рішень у сфері переробки полімерів. Щорічно у світі виробляється понад 400 мільйонів тонн пластику [1], значна частина якого потрапляє на звалища або у водойми, завдаючи шкоди екосистемам та здоров'ю населення. Екологічно ефективна переробка полімерів сприяє зменшенню обсягів відходів, зниженню навантаження на природні ресурси та скороченню викидів парникових газів.

Досвід підприємства Recycle Hub у Румунії демонструє успішне впровадження інноваційних технологій у сфері рециклінгу, що може слугувати прикладом для інших країн. Вивчення цього досвіду є важливим для розробки нових підходів до управління відходами та впровадження екологічно безпечних рішень у глобальному масштабі. Це дослідження сприятиме поширенню кращих практик та вдосконаленню існуючих технологій, що є важливим кроком до сталого розвитку та збереження довкілля [2].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Представлене дослідження має безпосередній зв'язок із вирішенням актуальних наукових та практичних завдань у галузі екологічно безпечної переробки полімерів. З наукової точки зору, робота спрямована на вдосконалення методологічних підходів до оцінки ефективності рециклінгових технологій, що дозволяє більш точно визначити їхній екологічний вплив і ефективність. Аналіз впровадження інноваційних рішень у контексті міжнародного досвіду сприяє розширенню наукового розуміння механізмів циркулярної економіки.

У практичному аспекті дослідження орієнтоване на адаптацію успішних моделей переробки поліме-

рів до умов різних регіонів, включаючи рекомендації щодо інтеграції таких технологій у виробничі процеси. Результати роботи можуть бути використані для формування політик управління відходами, розробки стандартів екологічної безпеки та оптимізації співпраці між державними структурами, бізнесом і громадянським суспільством у сфері сталого розвитку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема переробки полімерних відходів, зокрема поліетилену та поліпропілену, є однією з ключових екологічних викликів сучасності. Розробка ефективних технологій переробки цих матеріалів є пріоритетом як для наукової спільноти, так і для промислових підприємств. У цьому контексті важливу роль відіграють міжнародні стандарти, які регламентують процеси переробки відходів, та нормативно-правові акти, що стимулюють підприємства до впровадження екологічно відповідальних практик.

Згідно з Директивою Європейського Союзу № 94/62/ЕС «Про упаковку та відходи упаковки», країни-члени зобов'язані забезпечити переробку певного відсотка пластикових відходів [3]. Наприклад, до 2025 року рівень переробки пластику має досягти 50%, а до 2030 року – 55%. Виконання цих нормативів супроводжується жорсткими санкціями. У Німеччині, відповідно до «Закону про упаковку» (Verpackungsgesetz), підприємства, які не дотримуються вимог щодо переробки, можуть бути оштрафовані на суму до 50 тисяч євро [4].

Важливу роль у регулюванні глобальної торгівлі пластиковими відходами відіграє Базельська конвенція [5]. З 2019 року у документ внесено зміни, які обмежують експорт пластикових відходів до країн, що не мають відповідної інфраструктури для їхньої переробки. Це зобов'язує країни-експортери розвивати власні системи утилізації. Крім того, міжнародний стандарт ISO 14001:2015 регламентує екологічний менеджмент підприємств і передбачає управління відходами як ключовий компонент. Наявність цього сертифіката зобов'язує компанії впроваджувати ефективні системи переробки [6].

Наукові дослідження також підтверджують необхідність модернізації процесів утилізації полімерів. У роботі Дж. Гоупвелл та ін. «Механічна та хімічна переробка твердих пластикових відходів» розглянуто сучасні методи механічної та хімічної переробки полімерів [7]. Автори зазначають, що механічний рециклінг є найпоширенішим методом, однак з кожним циклом якість переробленого матеріалу знижується. Як альтернатива пропонується хімічний рециклінг, який дозволяє відновлювати мономер, зменшуючи екологічне навантаження. Дослідження Рахімі А., Гарсія Дж. М. акцентує увагу на використанні інноваційних каталізаторів, що підвищують ефективність хімічної переробки та забезпечують отримання високоякісних хімічних продуктів [8]. У роботі С. Лю та ін. пропонуються новітні методи хімічного апсайклінгу, які дозволяють перетворю-

вати полімерні відходи на цінні дрібні молекули з мінімальними енергетичними витратами [9].

Інтеграція міжнародних стандартів, економічних стимулів і технологічних інновацій сприяє розвитку системи переробки полімерних відходів. Впровадження розширеної відповідальності виробника, екологічного менеджменту та інноваційних методів утилізації може значно зменшити негативний вплив полімерів на довкілля.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на значний прогрес у сфері переробки полімерів, існує низка аспектів, які залишаються недостатньо дослідженими. Зокрема, потребує подальшого вивчення інтеграція інноваційних технологій рециклінгу у великомасштабні промислові процеси з урахуванням економічної ефективності та впливу на навколишнє середовище. Важливим є також аналіз довгострокових наслідків застосування новітніх методів переробки для екосистем та здоров'я населення.

Окрему увагу слід приділити специфічним викликам у контексті України, де проблема переробки полімерних матеріалів залишається особливо гострою. Зокрема, в Україні не існує ефективних систем для переробки та сортування гнучкої упаковки, що використовується в аграрному та промисловому секторах. Відсутність належної інфраструктури для збору, сортування та утилізації цих матеріалів призводить до накопичення значних обсягів пластикових відходів, що становлять загрозу для навколишнього середовища та здоров'я населення.

**Новизна дослідження.** Новизна цього дослідження полягає у комплексному підході до аналізу екологічної ефективності інноваційних технологій переробки полімерів із врахуванням міжнародного досвіду. Особлива увага приділяється специфічним викликам в Україні, де відсутня ефективна система переробки гнучкої упаковки. Це дослідження є першим, що зосереджується на інтеграції інноваційних методів рециклінгу у промислові процеси в умовах недостатньо розвиненої інфраструктури та правового регулювання вітчизняного ринку.

**Методологічне та загальнонаукове значення.** Методологічне значення цього дослідження полягає у систематичному аналізі міжнародного досвіду, зокрема діяльності підприємства Recycle Hub у Румунії, з метою визначення ефективних підходів до переробки полімерних відходів. Особливий акцент зроблено на можливості інтеграції цих підходів у національні практики України, з урахуванням екологічних, економічних та соціальних чинників. Запропонована методика дозволяє оцінити ефективність рециклінгових технологій, враховуючи їхній вплив на довкілля, економіку та суспільство.

Загальнонаукове значення роботи полягає у внеску в розвиток міждисциплінарних досліджень, що поєднують екологічні науки, економіку та соці-

ологію. Аналіз досвіду Recycle Hub дозволяє сформувати нові підходи до управління полімерними відходами на основі принципів циркулярної економіки, що є ключовим для забезпечення сталого розвитку. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення державної політики у сфері екологічного регулювання та розвитку інноваційних технологій у галузі переробки полімерів. Таким чином, дослідження має потенціал стати основою для розробки галузевих методичних рекомендацій щодо управління полімерними відходами в Україні.

**Викладення основного матеріалу.** Більшість країн Європейського Союзу запровадили податки та регуляції, спрямовані на зменшення використання одноразового пластику та стимулювання переробки відходів. Ці заходи базуються на Директиві (ЄС) 2019/904 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 року «Про зменшення впливу деяких пластикових виробів на навколишнє середовище» [10].

У Великій Британії з квітня 2022 року введено податок на пластикову упаковку, яка містить менше ніж 30% переробленого матеріалу. Цей захід спрямований на стимулювання використання перероблених матеріалів у виробництві упаковки.

В Італії впроваджено податок на пластикові вироби, що не підлягають переробці, з 2024 року. Це відповідає загальноєвропейським тенденціям щодо зменшення використання одноразового пластику.

Крім того, країни як Франція, Німеччина, Нідерланди та Швеція впровадили податкові стимули для виробників, які використовують перероблені матеріали, та штрафи для тих, хто не відповідає екологічним стандартам. Ці заходи сприяють переходу до циркулярної економіки та зменшення екологічного навантаження.

Варто зазначити, що Європейський Союз також запровадив загальноєвропейський збір за пластик, який розраховується на основі кількості не перероблених пластикових відходів упаковки в кожній державі-члені. Цей збір спрямований на стимулювання переробки та зменшення утворення пластикових відходів.

Для України, яка прагне експортувати товари до ЄС, впровадження ефективних систем переробки полімерних відходів стає необхідністю. Відсутність таких систем може стати бар'єром для виходу української продукції на європейські ринки, враховуючи суворі екологічні стандарти та регуляції ЄС.

Recycle HUB у Негрешті, Румунія, є інноваційним підприємством, що спеціалізується на переробці поліпропіленових і поліетиленових матеріалів після їх використання. Це частина масштабного проєкту компанії Flexible Packaging Solutions (FPS), спрямованого на зменшення кількості полімерних відходів і розвиток циркулярної економіки. Діяльність хабу демонструє ефективне впровадження принципів сталого розвитку в промислове виробництво, сприяючи збереженню природних ресурсів та зниженню екологічного навантаження.

Переробка на Recycle HUB починається з доставки використаних мішків на підприємство. Вони завантажуються на конвеєрну стрічку, де проходять кілька етапів обробки:

**Подрібнення:** мішки подрібнюються до дрібних фрагментів, що полегшує подальше очищення та сортування. Подрібнення дозволяє зменшити об'єм відходів і підвищити ефективність наступних етапів.

**Очищення:** матеріал очищується від залишків мінеральних добрив, бруду та інших домішок. Використання сучасних технологій очищення гарантує високу якість вторинної сировини.

**Сортування:** полімери розділяються на поліпропілен і поліетилен для подальшої переробки. Це забезпечує максимальне використання відновлених матеріалів у виробничих процесах.

**Переробка в гранулат:** отримані матеріали розплавляються, утворюючи гранулат – перероблений поліпропілен (PCR) та поліетилен. Гранулат використовується для виробництва нових пакувальних матеріалів.

Перероблена смола використовується для виробництва тканини FlexiGreen by FPS, що відповідає високим стандартам якості. Контейнери FlexiGreen FIBC із 30% переробленого матеріалу відповідають стандарту ISO 21898 і забезпечують аналогічну продуктивність, що й вироби з первинної сировини. Завдяки суворому контролю якості, продукція FlexiGreen демонструє високу надійність і довговічність.

Recycle HUB переробляє до 14 000 тонн полімерних матеріалів на рік, що дозволяє виготовляти близько 23 мільйонів біг-бегів FlexiGreen із вмістом щонайменше 30% вторинної сировини. Такий підхід сприяє щорічному скороченню викидів CO<sub>2</sub> на 18 000 тонн [2].

Глобально компанія FPS виробляє понад 50 мільйонів мішків на рік, з яких 45% виготовлені з переробленої сировини. Для очищення полімерів використовується до 840 мільйонів літрів води на рік.

Завдяки замкнутій системі очищення до 85% цієї води повторно використовується, що суттєво знижує водний слід підприємства. Збереження понад 714 мільйонів літрів води щороку демонструє ефективність екологічної політики компанії.

Recycle HUB дотримується принципів циркулярної економіки, забезпечуючи замкнутий цикл переробки. Використані матеріали повертаються у виробництво, зменшуючи кількість відходів і залежність від первинної сировини. Це сприяє збереженню природних ресурсів, знижує витрати на сировину та підтримує стійкий розвиток промисловості.

В Україні рівень переробки полімерних відходів становить лише 4–7%. Досвід Recycle HUB демонструє, як інноваційні підходи можуть знизити екологічне навантаження і сприяти розвитку національної системи циркулярної економіки, що є важливим кроком до досягнення сталого розвитку.

**Висновки.** Recycle HUB у Румунії є прикладом успішної інтеграції інноваційних технологій і сталого розвитку у сфері переробки полімерних матеріалів. Цей досвід може бути адаптований для вдосконалення системи управління відходами в Україні, сприяючи зниженню вуглецевого сліду та розвитку циркулярної економіки. Впровадження подібних практик допоможе Україні не лише зменшити екологічне навантаження, але й підвищити конкурентоспроможність на міжнародному ринку.

**Перспективи для України.** Впровадження передових технологій переробки є критично важливим для екологічної безпеки та економічної конкурентоспроможності України. Інтеграція міжнародного досвіду, такого як діяльність Recycle HUB, сприятиме розвитку інфраструктури переробки та зменшенню екологічного навантаження. Це стане ключовим фактором для доступу українських товарів на європейські ринки. Розвиток системи переробки сприятиме не лише екологічній безпеці, але й створенню нових робочих місць і стимулюванню інновацій у промисловості.

### Література

1. Екологія в Україні. Кругообіг пластику в природі : веб-сайт. URL: <https://ecolog-ua.com/news/krugooobig-plastyku-v-pryrodi?> (дата звернення: 01.02.2025)
2. FPS – Flexible Packaging Solutions : веб-сайт. URL: <http://www.fps.com>. (дата звернення: 01.02.2025)
3. Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste. 1994. URL: <https://eur-lex.europa.eu> (дата звернення: 27.01.2025).
4. Verpackungsgesetz (Packaging Act) 2019. URL: <https://www.verpackungsgesetz.com> (дата звернення: 27.01.2025).
5. Basel Convention. Amendments to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal 2019. URL: <http://www.basel.int> (дата звернення: 27.01.2025).
6. ISO 14001:2015. Environmental management systems – Requirements with guidance for use 2015. URL: <https://www.iso.org> (дата звернення: 27.01.2025).
7. Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. Waste Management. 2017. № 69. С. 68–77. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.
8. Rahimi A., García J. M. Chemical recycling of waste plastics for new materials production. Nature Reviews Chemistry. 2017. Т. 1, № 6. С. 125–134. DOI: 10.1038/s41570-017-0046.
9. Liu S., Li Y., Zhang Z. Chemical Upcycling of Polyolefin Waste into High-Value Small Molecules. ACS Catalysis. 2020. Т. 10, № 2. С. 923–931. DOI: 10.1021/acscatal.0c04102.
10. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. 2019. URL: <https://eur-lex.europa.eu> (дата звернення: 27.01.2025).

## ВПЛИВ НЕСАНКЦІОНОВАНИХ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА КОМПОНЕНТИ ДОВКІЛЛЯ

Лелюшок С.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ  
[sergei.lelyushok@gmail.com](mailto:sergei.lelyushok@gmail.com)

Генерація значної кількості відходів різних категорій відбувається як за приватного користування різноманітних матеріалів і послуг, так і в умовах промислового виробництва. Низький рівень екологічної обізнаності призводить до змішаного способу збору відходів. А це в свою чергу, є значним ризиком надходження небезпечних сполук і компонентів на сміттєзвалища, що призводить до забруднення і засмічення навколишнього середовища. При ефективному впровадженні еколого-обґрунтованих технологій повторного використання корисних ресурсів з відходів, можна унеможливити потрапляння забруднюючих речовин і, таким чином, знизити рівень забруднення довкілля. Тому що, вилучаючи з природи значну кількість природних ресурсів, людина перетворює їх та повертає у навколишнє середовище у вигляді сміття, яке в більшості не розкладається на вихідні речовини природним шляхом.

Відходи – будь-які речовини, матеріали та предмети, які утворилися у процесі виробництва або споживання, а також товари (продукція), що повністю чи частково втратили свої споживчі властивості і не мають подальшого використання за місцем їх утворення чи виявлення та від яких їх власник позбувається шляхом утилізації чи видалення. Депонування твердих побутових відходів на сміттєзвалищах, з точки зору охорони компонентів довкілля, є згубним явищем для всіх живих організмів.

Однією із найбільш ефективних способів зменшення негативного впливу сміттєзвалищ є система роздільного збирання небезпечних твердих побутових відходів. Надзвичайної уваги потребують небезпечні тверді побутові відходи. Небезпечні відходи – це відходи, фізичні, хімічні чи біологічні, характеристики яких створюють чи можуть створити значну небезпеку для навколишнього природного середовища та здоров'я людини та вимагають спеціальних методів і засобів поводження з ними.

В останні роки в Україні зросла площа полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ, які порушують норми екологічної безпеки і є об'єктами інтенсивного екологічного навантаження. Загальна площа сміттєзвалищ на території України сягає 8,5 тис га. Таке явище загрожує забрудненню навколишнього середовища шкідливими речовинами такими як: важкі металами, сміттєзвалищним газом, патогенними мікроорганізмами, високотоксичним фільтратом, та іншим. При цьому зростає загроза розповсюдження захворювань і небезпечної епідеміологічної ситуації в зоні впливу для біологічних об'єктів. *Ключові слова:* екологічний стан ґрунту, забруднення, важкі метали, морфологенетичні ознаки, небезпечні відходи, токсичність, пожежна небезпека, сміттєзвалище.

### **Impact of unauthorized landfills on environmental components. Leliushok S.**

The generation of significant amounts of waste across various categories occurs both from private consumption of diverse materials and services and within industrial production processes. A low level of environmental awareness leads to mixed waste collection practices, which in turn pose a considerable risk of hazardous compounds and components entering landfills. This results in environmental pollution and littering. The effective implementation of environmentally sound recycling technologies can prevent the release of pollutants and thus reduce environmental contamination. Humans extract large amounts of natural resources from the environment, transforming them and returning them as waste, most of which does not decompose naturally into its original components.

Waste refers to any substances, materials, or objects that result from production or consumption processes, as well as goods (products) that have completely or partially lost their consumer properties and are no longer used at their place of origin or discovery. Owners dispose of such waste through utilization or removal. The disposal of solid municipal waste in landfills, from the perspective of environmental protection, is a harmful phenomenon for all living organisms.

One of the most effective ways to reduce the negative impact of landfills is the implementation of a separate collection system for hazardous solid municipal waste. Hazardous solid municipal waste requires special attention. Hazardous waste includes waste with physical, chemical, or biological characteristics that pose or may pose significant threats to the environment and human health, requiring specialized handling methods and techniques.

In recent years, the area occupied by solid waste landfills and dumps in Ukraine has increased, violating environmental safety standards and becoming sources of significant environmental pressure. The total landfill area across Ukraine reaches 8.5 thousand hectares. This situation threatens environmental contamination with harmful substances such as heavy metals, landfill gas, pathogenic microorganisms, highly toxic leachate, and others. Furthermore, the growing risk of disease spread and hazardous epidemiological situations within the affected zones poses a serious threat to biological entities. *Key words:* ecological state of soil, pollution, heavy metals, morphogenetic features, hazardous waste, toxicity, fire hazard, landfill.

**Постановка проблеми.** Екологічні загрози, пов'язані з функціонуванням сміттєзвалищ, виникли в Україні ще десятки років тому, і з того часу площі територій, відведених під захооро-

нення відходів, суттєво зросли. Згідно з даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, на території країни налічується 5455 офіційних

полігонів та сміттєзвалищ загальною площею 8,5 тис. га.

Наприклад, у столиці функціонують два полігони для утилізації відходів: № 5, що розташований у селі Підгірці Обухівського району Київської області та займає 63,7 га, і № 6, розміщений у Києві (Пирогівський шлях) площею 11,6 га.

Якщо розглядати масштаби утворення сміттєзвалищ у розрізі регіонів, найбільша їх кількість спостерігається у Вінницькій області – 741 полігон, кожен із яких займає 10–15 га продуктивних земель. Далі йдуть Полтавська область (675 полігонів), Чернігівська (659), Одеська (608). Найменше офіційних звалищ зареєстровано у таких областях, як Івано-Франківська (17), Луганська (18), Львівська (20), Черкаська (21), Тернопільська (31) та Хмельницька (35).

Водночас варто враховувати, що незалежно від кількості сміттєзвалищ у тій чи іншій області, ризик екологічного забруднення через їхнє функціонування охоплює всю територію України [25].

Окрім розширення площ земель, які відводяться під захоронення побутових і промислових відходів, значну небезпеку становить потрапляння токсичних і шкідливих речовин у навколишнє середовище. Вони можуть накопичуватися у продуктах сільськогосподарського виробництва через харчові ланцюги та проникати у водні ресурси, завдаючи шкоди екосистемам і здоров'ю людей.

**Актуальність дослідження.** Несанкціоновані сміттєзвалища – це стихійні скупчення побутових відходів, що виникають унаслідок необдуманій діяльності людини. Такі звалища займають площу від 0,5 га, а товщина накопичених відходів перевищує 1 метр.

До основних чинників, що сприяють їхньому утворенню, належать:

- недостатнє фінансування місцевими органами влади заходів, спрямованих на охорону природних ресурсів;
- відсутність належної організаційної системи для збирання та вивезення твердих побутових відходів на утилізацію;
- низька екологічна обізнаність населення, а також недостатній рівень суспільно-політичної та правової культури у сфері поводження з відходами.

Несанкціоновані сміттєзвалища формуються стихійно, без будь-якого обґрунтування, та не мають жодної інженерно-екологічної документації щодо рівня їхнього негативного впливу на прилеглі території. При несанкціонованому складуванні побутових відходів не здійснюються заходи зі зменшення антропогенного навантаження, відсутній контроль за морфологічним складом відходів, що ввозяться. Це створює ризик потрапляння до них медичних, токсичних та інших небезпечних компонентів. Наявність у морфологічному складі органічних часток твердих побутових відходів сприяє розмноженню гризунів та комах, що може призвести до

загострення епідеміологічної ситуації в населених пунктах [1].

Важливо зазначити, що ґрунтовий покрив на території несанкціонованих сміттєзвалищ змінюється під впливом антропогенних факторів, у деяких випадках набуваючи трансформованого стану – від слабо порушеного до повністю зміненого, що супроводжується утворенням шару, насиченого продуктами розкладу відходів.

Згідно з Державними санітарними правилами та нормами, які регламентують вимоги до поводження з промисловими відходами, небезпечні відходи мають бути правильно відсортовані та зберігатися окремо від загальної маси сміття через їхню токсичність і пожежну небезпеку. Зберігання таких відходів на полігонах повинно відповідати нормативним документам та рекомендаціям [23].

Відповідно до статті 13 Закону України «Про управління відходами», прийнятого 29.06.2024 року, визначено вимоги щодо контролю потоків відходів. Закон забороняє їхнє несанкціоноване скидання або розміщення в межах населених пунктів чи в інших місцях, де це може становити загрозу довкіллю та здоров'ю людей. Відходи дозволяється розміщувати лише у спеціально відведених для цього місцях за наявності відповідного дозволу, що мінімізує їхній негативний вплив на довкілля. Власники відходів повинні дотримуватись вимог щодо поводження з ними, запобігати забрудненню територій під час їхнього тимчасового зберігання чи складування. Власниками відходів можуть бути громадяни України, іноземні резиденти, підприємства, територіальні громади та інші особи, які ними користуються чи розпоряджаються [2].

Складування та скидання відходів у невідведених для цього місцях тягне за собою відповідальність згідно з екологічним законодавством.

Ступінь відповідальності залежить від завданої шкоди довкіллю та може бути адміністративною або кримінальною. Адміністративна відповідальність передбачена статтею 82 Кодексу України про адміністративні правопорушення (КУпАП) і застосовується до осіб, винних у порушенні правил поводження з відходами під час їхнього збирання, перевезення, зберігання, оброблення, утилізації, знешкодження, видалення чи захоронення. За такі порушення накладається штраф у розмірі від двадцяти до вісімдесяти неоподатковуваних мінімумів доходів громадян, а для посадових осіб і підприємців – від п'ятдесяти до ста неоподатковуваних мінімумів [17].

Кримінальна відповідальність настає у випадках, коли забруднення земель створює загрозу життю, здоров'ю людей або довкіллю. Згідно зі статтею 239 Кримінального кодексу України, за такі дії передбачено штраф до двохсот неоподатковуваних мінімумів доходів громадян та позбавлення права обіймати певні посади або займатися визначеною діяльністю на строк до трьох років [19].

Цивільна відповідальність, яка настає незалежно від адміністративної чи кримінальної, передбачає обов'язок відшкодування шкоди, заподіяної порушенням законодавства у сфері поводження з відходами. Така шкода може бути завдана як довкіллю, так і здоров'ю людей.

До дисциплінарної відповідальності можуть бути притягнуті як фізичні, так і юридичні особи у разі порушення законодавчих норм щодо поводження з відходами під час виконання ними трудових обов'язків.

У більшості випадків власники відходів, що опинилися на несанкціонованих сміттєзвалищах, залишаються невідомими, через що такі відходи класифікуються як безхазяйні.

Органи місцевого самоврядування несуть відповідальність за безпечне поводження з відходами та ліквідацію несанкціонованих і неконтрольованих сміттєзвалищ на підконтрольній їм території. Якщо ж подібні сміттєзвалища розташовані за межами населених пунктів, їх ліквідація входить до компетенції місцевих державних адміністрацій.

Власники або користувачі земельних ділянок, на яких виявлено безхазяйні відходи, зобов'язані протягом п'яти днів повідомити про це місцеві органи виконавчої влади чи органи місцевого самоврядування. Усі такі відходи підлягають обліку [17].

Підставою для визнання відходів безгосподарськими та їх обліку можуть бути звернення громадян, установ, організацій або засобів масової інформації.

У разі надходження таких звернень обласні держадміністрації та органи місцевого самоврядування повинні провести оцінку кількості, характеристик та вартості відходів, а також визначити рівень їхньої небезпеки для довкілля та здоров'я населення. Окрім того, мають бути вжиті заходи для встановлення походження цих відходів. За потреби до процесу ідентифікації власників та оцінки відходів можуть залучатися правоохоронні органи, спеціалісти та експерти.

**Зв'язок авторського доробку.** Наукова робота виконується в рамках виконання ініціативної тематики «Наукове обґрунтування оцінювання локальних джерел забруднення агроценозів» (№ 0122U001176), яка полягає у проведенні комплексу досліджень вивчення ступеня трансформації компонентів довкілля за антропогенного впливу локальних джерел їх забруднення.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** В основу матеріалів, використаних при написанні статті було використано основні Закони України і нормативні документи, які стосуються системи управління відходами. Концепція наукової роботи передбачала основні напрями дослідження: вивчення сучасного стану систем поводження і переробки відходів, аналізу основних джерел їх утво-

рення і впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на компоненти довкілля. Дослідження охоплюють синтез та аналіз теоретичних даних напрацювань міжнародних та вітчизняних вчених щодо найбільш ефективних практик еколого-безпечного поводження і захоронення відходів, а також екологічному оцінюванню впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на прилеглі території.

**Новизна.** Сміттєзвалища чинять серйозний негативний вплив на довкілля, завдаючи шкоди живим організмам та екосистемам. Основними екологічними проблемами, спричиненими їхнім функціонуванням, є забруднення ґрунту, води та повітря внаслідок викидів шкідливих речовин, таких як важкі метали, метан і токсичні хімічні сполуки.

Забруднення ґрунту та водних ресурсів: Витік фільтрату – рідини, що утворюється під час розкладу відходів, – спричиняє проникнення токсичних речовин, включаючи важкі метали та органічні забруднювачі, у ґрунт і підземні води. Це призводить до деградації водних екосистем і отруєння рослин та тварин, які мешкають поблизу сміттєзвалищ.

Шкідливі викиди в атмосферу: Сміттєзвалища є потужним джерелом метану – парникового газу, що сприяє зміні клімату. Додаткову небезпеку становлять пожежі, під час яких у повітря вивільнюються токсичні речовини, зокрема діоксини, що можуть завдавати шкоди здоров'ю людей і тварин.

Мешканці, які проживають у безпосередній близькості до сміттєзвалищ, мають підвищений ризик розвитку різних захворювань, зокрема респіраторних, онкологічних патологій та вроджених вад. Для зменшення негативного впливу сміттєзвалищ необхідне вдосконалення технологій поводження з відходами та ефективний моніторинг викидів з метою збереження довкілля.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Одним із ключових заходів щодо зниження екологічного навантаження є впровадження системи роздільного збирання відходів. Особливої уваги потребують небезпечні тверді побутові відходи (ТПВ). Відповідно до Закону України «Про управління відходами», небезпечні відходи – це такі, що мають одну або більше властивостей із переліку характеристик, які визначають їхню небезпечність [21].

Негативний вплив небезпечних відходів на довкілля та здоров'я людини висвітлено в наукових дослідженнях [13]. Існує потенційна загроза забруднення навколишнього середовища через поширення шкідливих речовин, а також унаслідок контакту атмосферних опадів із субстратами полігонів. Запобігти екологічним ризикам та зменшити загрозу можна шляхом недопущення накопичення токсичних відходів на звалищах, а також удосконаленням екологічної інфраструктури. Важливо зазначити, що небезпечні побутові відходи потребують детального аналізу для оцінки їхнього впливу на екосистему та визначення першочергових заходів щодо їх утилізації [14].



Таблиця 1  
Період розкладу відходів [26]

| Типи відходів                | Період розкладу, роки |
|------------------------------|-----------------------|
| Бананова шкірка              | 0,02-0,05             |
| Газета                       | 0,2                   |
| Картон                       | 0,2                   |
| Бавововна                    | 0,3                   |
| Канат                        | 0,3-1,2               |
| Фанера                       | 1-3                   |
| Недопалки                    | 1-5                   |
| Вовняний одяг                | 1-5                   |
| Картонна упаковка від молока | 5                     |
| Пофарбовані дошки            | 13                    |
| Поліетиленовий пакет         | 10-20                 |
| Шкіряне взуття               | 25-40                 |
| Нейлонова тканина            | 30-40                 |
| Консервна банка              | 50                    |
| Батарейки                    | 100                   |
| Пластикова трубочка          | 200                   |
| Одноразовий підгузник        | 450                   |
| Пластик                      | 400-500               |
| Алюмінієва банка             | 500                   |
| Рибальська волосінь          | 600                   |
| Скляна пляшка                | 1000                  |

Одна з найгостріших екологічних проблем сучасності – це поводження з твердими побутовими відходами. Вони включають різноманітні залишки споживання, що утворюються внаслідок життєдіяльності людини в житлових будинках, громадських установах, закладах освіти, охорони здоров'я, торгівлі тощо. До їхнього складу входять харчові залишки, папір, скло, метали, пластмаси, полімери та інші матеріали [3]. Полігони для зберігання твердих побутових відходів є спеціалізованими інженерними спорудами, призначеними для їхнього захоронення, які мають відповідати санітарним, екологічним і епідеміологічним нормам, запобігаючи негативному впливу на навколишнє середовище [6].

Особливої уваги потребують хімічні речовини, що містяться у пластику, оскільки вони можуть негативно впливати на розвиток і розмноження представників фауни. Потрапляння пластикових відходів на сміттєзвалища створює серйозну загрозу для тварин, оскільки вони можуть помилково прийняти їх за їжу, що часто призводить до закупорки травної системи та пошкодження внутрішніх органів. Крім того, розкладання хімічних сполук, які потрапляють у водойми, згубно позначається на екосистемах річок, морів і озер, завдаючи непоправної шкоди риbam, черепахам, морським ссавцям та іншим водним мешканцям.

### Виклад основного матеріалу

#### Вплив сміттєзвалища на тваринний світ

Однією з серйозних проблем є поширення небезпечних хвороб через сміттєзвалища. Харчові відходи, які становлять приблизно 25–30% загальної маси сміття, слугують чудовим джерелом живлення для комах, щурів, собак та деяких видів птахів. У сприятливих умовах для розвитку збудники хвороб активно розмножуються і потім переносяться з сміттєзвалищ у житлові райони. Таким чином, сміттєзвалища стають джерелами поширення бактерій, що викликають захворювання, такі як черевний тиф, дизентерія, холера, лептоспіроз, а також небезпечні інфекції, як туберкульоз, правець, газова гангрена та сибірська виразка [22].

Сміттєзвалища мають значний вплив на тварин, який може проявлятися через декілька суттєвих механізмів:

– Забруднення середовища мешкання: рідина, яка може просочуватись через відходи, забруднює воду та ґрунт. Ця рідина може призводити до збільшення токсичних речовин, а саме таких як важкі метали та хімічні сполуки, що можуть негативно впливати на стан здоров'я тварин, в тому числі водних організмів, птахів та риб, а також наземних ссавців. Тварини, які живуть поблизу сміттєзвалищ або контактують з забрудненою водою або через харчування можуть отруїтись та зазнавати порушень в біохімічних процесах розвитку організму.

– Викиди токсичних газів: сміттєзвалища, як правило виділяють метан разом з іншими шкідливими газами, що часто відбувається під час пожеж. Такі гази не лише забруднюють повітря, а й можуть бути наслідком загибелі тварин. Наприклад, для птахів та дрібних ссавців, які живуть поруч. Токсичні викиди, а саме такі як діоксини, також мають вплив на репродуктивну систему та сприяти виникненню мутацій.

– Руйнування природного середовища: сміттєзвалища часто розміщуються на територіях, які слугують природними місцями мешкання для багатьох різновидів тварин. Такий недолік призводить до знищення біорізноманіття через фрагментацію, або повне знищення екосистем. Тварини втрачають свої території проживання та джерела харчування, що призводить до зменшення їх різноманіття або повного вимирання. Сміттєзвалища створюють численні загрози для здоров'я та життя ентомофауни через забруднення, втрату середовища проживання та токсичні викиди.

Промислові та побутові відходи створюють низку викидів, пов'язаних із їх транспортуванням, зберіганням, утилізацією та безпечною ліквідацією. Несистематичне вивезення сміття та його накопичення у міських агломераціях призводить до поширення неприємного запаху, а також сприяє розмноженню комах – переносників небезпечних інфекцій.

За рівнем утворення побутових відходів Україна не поступається середньоєвропейським показникам: щороку на території країни накопичується приблизно 10 мільйонів тонн сміття. Екологічна ситуація стрімко погіршується, оскільки рівень переробки відходів залишається вкрай низьким. Площа сміттєзвалищ у країні вже перевищує територію природно-заповідного фонду.

Недостатній рівень організації полігонів побутових відходів, а також неналежне поводження з промисловими та побутовими відходами суттєво впливає на санітарно-епідеміологічний стан населених пунктів, створюючи загрозу для довкілля та здоров'я населення.

Проблеми з промисловими та побутовими відходами вимагають вирішення специфічних завдань, таких як їх транспортування, зберігання, утилізація і ліквідація. Нерегулярний вивіз побутового сміття та його накопичення в міських агломераціях призводять до неприємного запаху і створюють умови для розмноження комах-переносників різних інфекцій.

За обсягом побутових відходів Україна не поступається середньоєвропейським показникам – щорічно накопичується близько 10 мільйонів тонн сміття. Прогнози як закордонних, так і вітчизняних експертів свідчать про те, що екологічна ситуація в Україні наближається до критичної через низький рівень переробки відходів.

Сміттєзвалища в Україні займають більше площі, ніж території природно-заповідного фонду. Склад полігонів побутових відходів в Україні та проблеми з їх видаленням і переробкою є одними з найгостріших питань для населених пунктів. Це суттєво впливає на їх санітарно-епідеміологічне благополуччя.

#### **Вплив на ґрунтові води**

Однією з найбільш критичних екологічних проблем, пов'язаних із функціонуванням сміттєзвалищ, є забруднення водоносних горизонтів, що безпосередньо спричиняє отруєння природних джерел водопостачання.

Багато полігонів твердих побутових відходів уже вичерпали свій експлуатаційний ресурс, оскільки були зведені ще у 1980-х роках [22]. Забруднення підземних вод відбувається через інфільтрацію токсичних речовин із поверхневого шару ґрунту. Процеси міграції забрудників здійснюються під дією конвективного та дифузно-конвективного переносу, що супроводжується їхнім вертикальним і горизонтальним розповсюдженням у напрямку потоку підземних вод [32].

#### **Вплив полігонів твердих побутових відходів на стан ґрунту**

Особливої екологічної загрози набувають стійкі сміттєзвалища, розташовані в лісових масивах, зокрема на легких піщаних та супіщаних ґрунтах Полісся. В таких умовах інтенсивність вертикального проникнення токсичних сполук у підземні води значно перевищує аналогічні процеси в важ-

ких за гранулометричним складом ґрунтах Степу та Лісостепу [22]. Додаткову небезпеку становлять лісові сміттєзвалища, розташовані на торфовищах або лучних екосистемах, оскільки такі ґрунти мають високий коефіцієнт переходу забруднюючих речовин у рослинний покрив. Це створює загрозу для флори, фауни та здоров'я людини.

Окремої уваги заслуговує проблема утилізації медичних відходів, які містять широкий спектр небезпечних компонентів, зокрема бактерії, віруси, токсичні речовини (залишки лікарських засобів, ртуть, хлор). Небезпеку також становлять використані шприци, які можуть травмувати тварин і сприяти поширенню інфекційних захворювань.

Одним із найбільш токсичних наслідків діяльності сміттєзвалищ є утворення фільтрату – високоагресивного розчину, що формується внаслідок проходження води через масу відходів. Фільтрат містить важкі метали, органічні забрудники та небезпечні хімічні сполуки, які походять із джерел, таких як використані батарейки, акумулятори, побутова хімія, будівельні відходи (залишки фарб, лаків, клею) та енергозберігаючі лампи з вмістом ртуті [30]. Окрім хімічного забруднення, не менш важливим аспектом є поширення патогенних мікроорганізмів і розвиток епідеміологічних загроз.

Основними методами поводження з твердими побутовими відходами є їхня переробка, термічне знешкодження та захоронення на полігонах. Оптимізація цих процесів і впровадження сучасних екологічних технологій є ключовими заходами для зменшення негативного впливу сміттєзвалищ на навколишнє середовище.

Згідно з даними Держстату, протягом 2020 року в Україні було сформовано понад 462,4 млн тонн відходів. Основну частину з них становили відходи видобувної промисловості (85 %), переробна промисловість спричинила 11 %, а побутові відходи – 1,3 %. Інші джерела забезпечили решту обсягів. Небезпечних відходів у цей період утворилося 532,0 тис. тонн. Імпортовані відходи склали 2,7 тис. тонн, з них 1,5 тис. тонн були класифіковані як небезпечні. Обсяг експорту становив 257,8 тис. тонн, включаючи 0,1 тис. тонн небезпечних відходів. Основними експортними категоріями були відходи кольорових металів та використані акумуляторні батареї [13].

У 2023 році, відповідно до даних Держстату, загальний обсяг утворених відходів зменшився до 176 млн тонн, що на 286 млн тонн менше порівняно з 2020 роком. Відходи переробної промисловості збільшилися до 28,3 %, що перевищує показник 2020 року на 18,3 %. Частка побутових відходів зросла до 2,8 %, що на 1,5 % більше, ніж у 2020 році. Водночас відходи видобувної промисловості скоротилися на 47,6 % і склали 37,4 % загального обсягу. Загальна маса небезпечних відходів сягнула 6 056 тис. тонн.

У 2020 році середній обсяг утворення відходів на одну особу в Україні складав 11,1 тонн, що більш ніж удвічі перевищує аналогічний показник у країнах ЄС (4,8 тонн). Динаміка утворення відходів за період з 2010 по 2022 роки демонструвала коливання. З 2014 року спостерігалось скорочення ВВП та обсягу відходів через тимчасову окупацію промислових регіонів, що призвело до спаду економічної активності. У 2016 році після мінімального рівня у 295,8 тис. тонн почався поступовий ріст. Водночас у 2022 році загальний обсяг відходів знову зменшився через закриття підприємств і масштабну міграцію населення [13].

Річний обсяг твердих побутових відходів (ТПВ) за 2023 рік у містах і селищах склав 1 255 тис. тонн. Значна частина цих відходів захоронюється на 4 431 полігоні та сміттєзвалищі, що займають 7,8 тис. гектарів, тоді як лише невеликий відсоток піддається утилізації або переробці [15].

Одна з нагальних задач – прогнозування обсягів утворення ТПВ для раціонального управління відходами. Це включає оцінку необхідної спецтехніки та виділення нових територій під полігони. За останнє десятиліття загальна площа сміттєзвалищ в Україні зросла втричі. В управлінні відходами не враховується економічний та екологічний збиток від їхнього захоронення. Існуючі методичні підходи дозволяють оцінити структуру збитків, проте потребують удосконалення для точнішого прогнозування впливу на довкілля.

Усі відходи є об'єктами власності, і відповідно до Цивільного кодексу власник не має права використовувати їх у спосіб, що шкодить суспільним інтересам чи екології. Однак через нехтування технологіями експлуатації полігони ТПВ перетворюються на стихійні звалища [20]. Найбільше таких полігонів знаходиться в Тернопільській, Сумській, Одеській, Луганській, Запорізькій, Харківській, Херсонській, Закарпатській, Вінницькій та Кіровоградській областях. З 3 550 полігонів, що потребують рекультивації, фактично було рекультивовано лише 74 за рік. Відсутність ефективної системи поводження з ТПВ у багатьох населених пунктах сприяла появі 23,7 тис. несанкціонованих сміттєзвалищ, які займають площу понад 750 га.

Одним із серйозних ризиків сміттєзвалищ є утворення біогазу через розкладання відходів. Звалищний газ почали використовувати з 1980-х років для запобігання пожежам та вибухам. Сьогодні у США, Німеччині, Нідерландах та Данії активно застосовуються технології його видобутку та використання як джерела енергії. Загальний потенціал звалищного газу в ЄС оцінюється у 9 млрд м<sup>3</sup>/рік, а в США – 13 млрд м<sup>3</sup>/рік [10].

Ще однією проблемою є фільтрат – рідка фаза, що утворюється під час захоронення ТПВ і потрапляє у ґрунтові та поверхневі води. Високий вміст аміаку, хлоридів, заліза та інших забруднюючих речовин

у десятки разів перевищує гранично допустимі концентрації. Без належної інженерної інфраструктури забруднені стоки можуть проникати у водні ресурси.

Крім того, полігони часто стають осередками загорянь через накопичення легкозаймистих матеріалів. При температурі 300–500 °С полімерні відходи починають горіти, виділяючи токсичні речовини, такі як фосген, ціаністий водень, хлороводень, сірководень, чадний газ та інші небезпечні сполуки. Таким чином, основними ризиками сміттєзвалищ залишаються забруднення води через фільтрат, утворення звалищного газу та ризик пожеж, що потребує негайних заходів з управління відходами [9].

Попри те, що у світовій практиці захоронення відходів на полігонах та звалищах вважається найменш пріоритетним методом поводження з ними, в Україні цей спосіб досі залишається основним для утилізації твердих побутових відходів (ТПВ). Так, у 2021 році на території країни (без урахування АР Крим, Луганської області та м. Севастополь) було утворено 48 млн м<sup>3</sup> ТПВ, з яких на утилізацію та переробку спрямували менш ніж 5 %, а процес спалювання охопив лише 1 %. При цьому обсяги відходів, що потрапляють на існуючі полігони, з 2015 року скоротилися всього на 0,95 %. На відміну від України, у багатьох країнах світу діє більш ефективна система управління відходами, яка дозволяє переробляти або утилізувати майже 100 % побутового сміття. Так, приблизно 36 % ТПВ у таких державах підлягають вторинній переробці завдяки системі роздільного збору, 17 % перетворюються на біогаз і компост, а близько 55 % спалюються з отриманням електричної та теплової енергії. Згідно з даними Євростату, ще у 2015 році Швеція, Німеччина та Швейцарія повністю відмовилися від прямого захоронення побутових відходів, тоді як Нідерланди, Норвегія, Австрія, Данія та Бельгія знизили цей показник до 1–2 %, а станом на 2024 рік ці країни досягли рівня 0 % поховання сміття [16]. Екологічна політика Європейського Союзу спрямована на мінімізацію негативного впливу відходів на довкілля шляхом стимулювання їх повторного використання, зменшення утворення, вторинної переробки та енергетичного відновлення. В Україні ж досягнення ключових цілей у сфері поводження з відходами передбачає перехід до «циклічної» економіки, що базується на багаторазовому використанні ресурсів і скороченні обсягів залишкових продуктів. Проте, незважаючи на вимоги Кіотського протоколу [28] та регламентів Європейського Союзу [29] щодо зменшення кількості сміттєзвалищ і їхніх масштабів, захоронення ТПВ залишається найпоширенішою практикою управління відходами в Україні.

Процеси поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) за своєю суттю належать до еколого-економічних механізмів, ключова особливість яких полягає в необхідності врівноваження взаємодії між виробничо-соціальними відносинами та

природними процесами. Таким чином, управлінські рішення в цій сфері повинні одночасно враховувати як екологічні, так і соціально-економічні аспекти. Проте в Україні досі не приділяється належна увага оцінці збитків, завданих довкіллю та суспільству внаслідок накопичення ТПВ на сміттєзвалищах. Ймовірною причиною цього є недостатня розвиненість методології оцінки еколого-економічних втрат, спричинених функціонуванням полігонів побутових відходів. Аналіз наявних підходів до визначення таких збитків дозволив науково обґрунтувати їхню комплексну структуру та розробити методику оцінювання, що охоплює не лише шкоду довкіллю, а й фінансові втрати, пов'язані з депонуванням відходів. Повноцінна та своєчасна оцінка цих збитків є важливою передумовою ефективного управління у сфері поводження з ТПВ.

Місця видалення побутових відходів становлять осередки розмноження патогенних мікроорганізмів, які можуть поширюватися синантропними тваринами в житлові приміщення. Полігони ТПВ також є джерелом викидів понад 100 різних забруднюючих і парникових газів у повітря. За даними Європейської економічної комісії наприкінці XX століття, приблизно 57 % ТПВ у країнах Західної Європи та 83,7 % у Центральній і Східній Європі підлягали захороненню на полігонах. В Україні цей метод залишається домінуючим, а за оцінками експертів, понад 99 % полігонів не відповідають європейським екологічним стандартам [31].

Наслідки захоронення ТПВ мають значний негативний вплив на всі складові довкілля, сприяють зміні клімату, вилучають великі площі земель із господарського використання та знижують рівень життя населення, що мешкає поблизу звалищ. Крім того, такий спосіб поводження з відходами є економічно неефективним. Щорічно на сміттєзвалища України потрапляє значна кількість вторинної сировини, сумарна вартість якої оцінюється приблизно в 2 млрд грн. Враховуючи, що такі полігони не лише погіршують екологічну ситуацію, але й спричиняють втрату цінних ресурсів, їхній вплив на економіку країни залишається вкрай негативним. У зв'язку з цим одним із пріоритетних завдань є розробка комплексного підходу до оцінки екологічних та економічних збитків, пов'язаних із розміщенням ТПВ на звалищах.

Окрім біогазу, певну частку в забрудненні атмосферного повітря під час захоронення ТПВ вносить вуглекислий газ, що утворюється внаслідок горіння відходів. До його складу входять такі небезпечні речовини, як фурані, діоксини, з'єднання фтору та хлору, зола, оксиди азоту й вуглецю, а також сірчистий ангідрид. Додаткове забруднення приземних шарів повітря, пов'язане з функціонуванням сміттєзвалищ, відбувається через:

- використання інертних ґрунтів для щоденного покриття відходів, а також викиди вихлопних газів

автомобілів, що транспортують ТПВ, і будівельної техніки (бульдозерів, тракторів тощо), яка ущільнює відходи;

- утворення пилу під час розвантаження сміття та транспортування ґрунту для покриття полігонів, а також пилу, що поширюється вітром із поверхні сміттєзвалищ [17].

Окрім шкідливих викидів, ще одним негативним наслідком експлуатації полігонів ТПВ є утворення фільтрату, який містить високу концентрацію токсичних речовин і безліч мікроорганізмів, зокрема патогенних.

Заходи з управління відходами включають комплекс дій, спрямованих на мінімізацію обсягів відходів, їх збір, тимчасове зберігання, транспортування, утилізацію та захоронення, з контролем усіх етапів цих процесів та наглядом за місцями розміщення сміття.

На сьогодні існують рекомендації щодо класифікації відходів за їхнім морфологічним складом, серед яких: харчові залишки (фрукти, овочі, відходи садівництва тощо), папір і картон, полімерні матеріали (пластмаси, пластик), чорні та кольорові метали, скло, текстиль, деревина, небезпечні відходи (батареї, акумулятори, ртутні лампи, телевізійні кінескопи тощо), а також кістки, шкіра, гума та інші залишкові ТПВ.

Одним із суттєвих недоліків системи збирання відходів в Україні є недостатній рівень сортування на початковому етапі. Як наслідок, усі відходи потрапляють у спільні контейнери. Оскільки 94% ТПВ у країні надходять безпосередньо на сміттєзвалища та полігони, це створює серйозну екологічну проблему [18].

Загалом, приблизно 1/5–1/6 річної кількості опадів проникає у шари відходів на полігонах, вимиваючи з них токсичні речовини. Це призводить до постійних змін у хімічному складі фільтрату, який містить широкий спектр забруднювачів, зокрема  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , феноли, роданіди,  $\text{PO}_4^{4-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Hg}^-$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Se}^-$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  [11].

Впровадження сучасних технологій стає все актуальнішим. Часто згадуються поняття «смарт-технології», «розумне місто» та їхня необхідність у сучасних урбаністичних умовах. Такі інновації сприяють оптимізації міських процесів і зменшенню впливу міст на довкілля.

Одним із прикладів концепції SMART CITY є Сінгапур, де інженери аналізують рух повітряних потоків, проникнення сонячного світла та зони затінення для ефективного проєктування будівель. У Барселоні використовуються інтелектуальні сміттєві контейнери з вакуумною системою, що засмоктує відходи у підземні резервуари, зменшуючи поширення неприємних запахів і скорочуючи кількість поїздок сміттєвозів [23].

**Головні висновки.** При виявленні несанкціонованого сміттєзвалища, першочергово слід повідомити відповідні органи місцевого або обласного

самоврядування, на території яких розташовано такий об'єкт.

На жаль, чинне законодавство містить численні прогалини та не забезпечує ефективного регулювання у сфері поводження з безхазяйними відходами. Через це ідентифікувати їхнього власника зазвичай неможливо, а обов'язок ліквідації таких звалищ лягає на органи місцевої влади.

Неефективна система переробки відходів призводить до значних ресурсних втрат для України, оскільки значна частина корисних матеріалів, що містяться у смітті, могла б бути повторно використана. Впровадження роздільного збирання та розвиток галузі переробки є ключовими кроками до ефективнішого використання природних ресурсів і переходу на модель циркулярної економіки.

Більшість українських сміттєзвалищ перебувають у критичному екологічному стані, завдаючи значної шкоди довкіллю.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Одним із перспективних методів мінімізації їхнього негативного впливу локальних джерел забруднення компонентів довкілля, а саме стихійних, несанкціонованих сміттєзвалищ є застосування природних фітомеліоративних технологій, які сприяють відновленню навколишнього середовища. Матеріали цієї статті можуть бути використані в наукових дослідженнях, зокрема для аналізу впливу забруднення сміттєзвалищ на екосистему. Дослідження можуть охоплювати такі аспекти, як зміни у ґрунтовому покриві, забруднення ґрунтових вод та його наслідки для фауни.

### Література

1. Наумовська О.І. Екологічний аналіз стану ґрунтового покриву в умовах локального забруднення 2017. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/342010.pdf>.
2. Кодекс України про адміністративні правопорушення. Веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10#Text>.
3. Тверді побутові відходи (ТПВ) – що це? – 2023. Веб-сайт. URL: <https://es.bmr-kp.com.ua/?p=989>.
4. Аналіз сучасного досвіду та напрямів вирішення проблем управління твердими комунальними відходами. Коцюба І.Г., Лефтер Ю.О., Нонік Л.Ю., Єльнікова Т.О., Герасимчук О.Л. – 2021. – 50 с.
5. Управління та поводження з відходами. Частина 3. Полігони твердих побутових відходів: навчальний посібник. / Петрук В.Г., Васильківський І.В., Іщенко В.А., Петрук Р.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 139 с.
6. Мій сусід – сміттєзвалище: аналітичний звіт за результатами дослідження «Екологічно-соціальна дискримінація населення за фактором проживання біля сміттєзвалища» – 2021. Веб-сайт. URL: <https://www.ekoltava.org/wp-content/uploads/2022/01/Mij-susid-smittyezvalyshhe.pdf>.
7. Еколого-техногенна небезпека Дунаївського сміттєзвалища. – 2019. Веб-сайт. URL: [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fnupr.edu.ua%2Fuploads%2Ffiles%2F0%2Fevents%2Fother%2F2020%2F02%2Fii-tur-ekologia%2Froboti%2F69\\_%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25B4%25D1%2596%25D0%25B0%25D1%2586%25D1%2596%25D1%258F\\_%25D1%2581%25D0%25BC%25D1%2596%25D1%2582%25D1%2582%25D1%2594%25D0%25B7%25D0%25B2%25D0%25B0%25D0%25BB%25D0%25B8%25D1%2589.docx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fnupr.edu.ua%2Fuploads%2Ffiles%2F0%2Fevents%2Fother%2F2020%2F02%2Fii-tur-ekologia%2Froboti%2F69_%25D1%2580%25D0%25B0%25D0%25B4%25D1%2596%25D0%25B0%25D1%2586%25D1%2596%25D1%258F_%25D1%2581%25D0%25BC%25D1%2596%25D1%2582%25D1%2582%25D1%2594%25D0%25B7%25D0%25B2%25D0%25B0%25D0%25BB%25D0%25B8%25D1%2589.docx&wdOrigin=BROWSELINK).
8. Наказ № 421 «Про затвердження Методичних рекомендацій із збирання, утилізації та знешкодження фільтрату полігонів побутових відходів» (2012) Веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0421858-12#Text>.
9. Попович В.Г. Техногенна небезпека полігонів твердих побутових відходів. Веб-сайт. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/865/1/8.pdf>.
10. Попович В.В., Перепелица А.М., Квічка А.Є. Поводження із небезпечними побутовими відходами та особливості їх депонування на сміттєзвалищах. Веб-сайт. URL: [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23\\_13/155\\_Pop.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_13/155_Pop.pdf).
11. Національний план управління відходами до 2033 року. Веб-сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/proyekt-Natsionalnyj-plan-upravlinnya-vidhodamy-23.11-002.docx>.
12. Станкевич С.В., Головань Л.В. Техноекologia: навчальний посібник. – Харків: Видавництво Іванченка І.С., 2020. – 338 с.
13. Основи екології: практикум з навчальної дисципліни. Маленко Я.В., Ворошилова Н.В., Перерва В.В., Поздній Є.В. – Кривий Ріг: КДПУ, 2023. – 197 с.
14. Пляцук Л.Д. Системні дослідження навколишнього середовища: корпоративні екологічні системи, хімічна екологія: підручник. – Суми: Університетська книга, 2019. – 460 с.
15. Актуальні проблеми захисту довкілля: матеріали науково-практичної конференції (Київ, 28 жовтня 2022 р.). – Київ: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2022. – 82 с.
16. Державна служба статистики України. Веб-сайт. URL: <https://stat.gov.ua/sites/default/files/BA.pdf>.
17. Наслідки для довкілля війни Росії проти України. Ангурець О., Хазан П., Колеснікова К., Куш М., Чернохова М., Гавранек М. 2022. Веб-сайт. URL: <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-war-damages-ua-version-04-low-res.pdf>.
18. Дослідження «Сміттєзвалища як екологічна проблема Бучанського району Київської області» Веб-сайт. URL: <https://vseosvita.ua/library/doslidzhennia-smittiezvalyshcha-ia-ekolohichna-problema-buchanskoho-raionu-kyivskoi-oblasti-784416.html>.
19. Харківська обласна державна адміністрація. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2020 році. – Харків, 2021. – С. 61–63.
20. Цивільний кодекс України. Веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>.
21. Офіційний вебпортал парламенту України. Про управління відходами. Веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/20-20#Text>.

22. Головне управління Держпродспоживслужби в Дніпропетровській області. Проблема сміття. Веб-сайт. URL: <https://dp.dpss.gov.ua/news/problema-smittia-v-ukraini>.
23. Панасюк Т. Смарт-міста, які довели, що майбутнє вже настало (фото, відео). Веб-сайт. URL: <https://psm7.com/uk/technology/5-gorodov-dokazali-budushhee-nastupilo.html>.
24. Міністерство інфраструктури України. Управління побутовими. Веб-сайт. URL: <https://mtu.gov.ua/content/upravlinnya-pobutovimi-vidhodami.html>.
25. Офіційний вебпортал парламенту України. Державні санітарні правила та норми. Веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0029588-99#Text>.
26. Скільки років будуть розкладатися відходи на звалищах. Веб-сайт. URL: [https://rivnepost.rv.ua/news/skilki-rokiv-budut-rozkladatisya-vidkhodi-na-zvalishchakh#google\\_vignette](https://rivnepost.rv.ua/news/skilki-rokiv-budut-rozkladatisya-vidkhodi-na-zvalishchakh#google_vignette).
27. Парк замість полігону для сміття: як працює рекультивація. Веб-сайт. URL: <https://rubryka.com/article/reclamation-of-landfills>.
28. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. Веб-сайт. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_801#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801#Text).
29. Директива – 2018/850 – EN – EUR-Lex. Веб-сайт. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018L0850>.
30. Малуша Є.В. Гідротермальна карбонізація органічних залишків та сміття (дисертація доктора філософії, Національний авіаційний університет). – 2022.
31. Корбут М., Сафранов Т., Маловяний М. Методичні підходи до оцінки екологічних ризиків від полігонів твердих побутових відходів, 187–196. – 2024.
32. Новохацька Н.А., Крета Д.Л. Моделювання та прогнозування впливу сміттєзвалищ на підземні води. Екологічні науки, (1), 7. – 2015.

## ЕКОЛОГІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ

Олійник Т.П., Маковецька О.О., Романюта Е.В.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

вул. Дідріхсона, 4, 65029, м. Одеса

oleynik\_himek@odaba.edu.ua, makoveckaya\_himek@odaba.edu.ua

В ході будівельної діяльності утворюється велика кількість відходів, які згодом стають забруднювачами навколишнього середовища, при цьому втрачається потенціал їхнього повторного використання. Рециклінг або переробка будівельних відходів дозволяє захистити природу від негативного впливу, а також значно знизити витрати на закупівлю нових матеріалів та виготовлення будівельних конструкцій. Досвід європейських країн показує, що при грамотній організації до 90% будівельних відходів може бути перероблено і використано повторно в будівельній галузі. В Україні щорічно переробляється менше ніж 5% будівельних відходів, а основна маса потрапляє на українські полігони зберігання побутових і будівельних відходів, ліміти яких сьогодні повністю вичерпані. У цій статті розглядається проблема управління будівельними відходами в контексті військової ситуації в Україні на основі дослідження закордонного досвіду повторного використання будівельного сміття. На прикладі проекту промислового об'єкта в Херсонській області досліджується практична реалізація принципів рециклінгу, починаючи з розбирання споруд, що існує, переробки будівельних відходів, підготовки території та закінчуючи інтеграцією вторинних ресурсів у новий об'єкт. Екологічну та економічну ефективність проекту забезпечує: зниження витрат на будівництво на 50-70% завдяки утилізації будівельних відходів; зменшення викидів вуглекислого газу; мінімізація відходів – до 70% усіх матеріалів буде перероблено та використано повторно, що мінімізує об'єм сміття та зменшить навантаження на полігони; скорочення витрат на закупівлю нових будівельних матеріалів на 30-40%; зменшення експлуатаційних витрат на енергію та водопостачання на 30-35%. Дослідження присвячене розв'язанню практичних питань, які в Україні досі не отримали системного підходу. *Ключові слова:* будівельні відходи, вторинна сировина, переробка, управління відходами, рециклінг.

### Ecological feasibility of using construction waste. Oliynyk T., Makovetska O., Romaniuta Ye.

During construction activities, a large amount of waste is generated, which subsequently becomes a pollutant for the environment, while the potential for its reuse is lost. Recycling or processing of construction waste helps protect nature from its negative impact, as well as significantly reduce costs for purchasing new materials and manufacturing construction structures. The experience of European countries shows that with proper organization, up to 90% of construction waste can be recycled and reused in the construction industry. In Ukraine, less than 5% of construction waste is recycled annually, with the majority ending up in Ukrainian landfills for household and construction waste, the limits of which are now completely exhausted. This article addresses the issue of managing construction waste in the context of the military situation in Ukraine, based on research into the foreign experience of reusing construction waste. The practical implementation of recycling principles is examined through the example of an industrial project in the Kherson region, starting with the dismantling of existing structures, recycling construction waste, preparing the land, and ending with the integration of secondary resources into a new facility. Here is the translation of the text into English:

The ecological and economic efficiency of the project is ensured by: a 50-70% reduction in construction costs through the disposal of construction waste; a decrease in carbon dioxide emissions; minimization of waste – up to 70% of all materials will be recycled and reused, which minimizes the volume of waste and reduces the burden on landfills; a 30-40% reduction in the cost of purchasing new construction materials; a 30-35% reduction in operating expenses for energy and water supply. The study is dedicated to addressing practical issues that have not yet received a systematic approach in Ukraine. *Key words:* construction waste, secondary raw materials, recycling, waste management, recycling.

**Постановка проблеми.** Будівельне сміття є невід'ємною частиною сучасного будівництва та ремонту, а його правильна утилізація та переробка – це важливе екологічне завдання. В результаті будівельної діяльності, що включає будівництво, реконструкцію та знесення будівель, у світі щорічно утворюється близько 30-35% від загальної кількості відходів. Це призводить до зростання сміттєзвалищ, забруднення навколишнього середовища та утилізації величезних обсягів матеріалів, які могли б бути повторно використані. Будівельне сміття часто стає причиною забруднення повітря (під час спалювання відходів) і водних ресурсів (коли шкідливі речовини потрапляють у ґрунтові води) [1,2].

Управління відходами є одним із ключових аспектів світової екологічної політики. Акцентом європейської системи управління відходами є зниження обсягу заховання відходів, сприяння рециклінгу та відповідальність виробників за відходи. Основна мета переробки – максимальне скорочення потреби в первинних природних ресурсах і зменшення забруднення навколишнього середовища [3,4]. Досвід європейських країн показує, що при грамотній організації до 90% будівельних відходів може бути перероблено і використано повторно в будівельній галузі. Економічним стимулом такого підходу є державна політика цих країн, оскільки вартість вивезення відходів на сміттєзвалища значно перевищує вартість їх переробки. Таким чином, забу-

довникам вигідніше витрачати кошти, час і зусилля на переробку та утилізацію будівельних відходів, ніж вивозити їх на сміттєзвалище [5].

В Україні, за даними Міністерства захисту навколишнього середовища та природних ресурсів, щорічно переробляється менше 5% будівельних відходів, а основна маса потрапляє на українські полігони зберігання побутових і будівельних відходів, ліміти яких сьогодні повністю вичерпані [6].

**Мета дослідження.** Обґрунтувати екологічну та економічну доцільність рециклінгу будівельних відходів на прикладі проєкту промислового об'єкта в Херсонській області.

**Актуальність дослідження.** В контексті військової ситуації в Україні сучасна будівельна галузь країни стикається з серйозними викликами, пов'язаними з великими обсягами накопичення будівельного сміття, високою вартістю його утилізації та необхідністю відновлення зруйнованої інфраструктури. Ще до повномасштабного вторгнення росіян 95% твердих побутових відходів потрапляли на сміттєзвалища. Сьогодні утилізація будівельних відходів перетворюється на питання національної безпеки через стрімке збільшення їх обсягів в результаті руйнування та знесення будівель [7]. Відновлення зруйнованих об'єктів також пов'язане з використанням значних обсягів матеріальних ресурсів, таких як пісок, щебінь та інші матеріали, але видобуток природних копалин призводить до додаткових витрат. Так, у 2022 році в Україні видобули близько 40 млн тонн піску, що прискорило виснаження ряду кар'єрів і підвищило вартість сировини.

Переробка будівельних відходів і їх повторне використання дозволить знизити навантаження на навколишнє середовище, значно скоротить кількість сміття на сміттєзвалищах, зменшить витрати на заку-

півлю нових будівельних матеріалів. Використання перероблених матеріалів, які часто дешевші за нові, може знизити вартість будівельних робіт. Скорочення споживання природних ресурсів, таких як пісок, гравій, метали, сприяє охороні екосистем [8].

У складених умовах сміттевого колапсу, коли обсяги будівельних відходів перевищили всі ліміти українських полігонів для зберігання великогабаритного та будівельного сміття, перехід до економіки замкнутого будівельного циклу стає не просто бажаною ініціативою, а гострою потребою. Україна має можливість розробити свою модель рециклінгу, враховуючи світовий досвід, але адаптуючи його до національних умов [9].

**Екологічні проблеми та утилізація будівельного сміття.** За ступенем небезпеки будівельні відходи в основному належать до четвертого класу, тобто малонебезпечні. Загалом будівельні відходи складаються з таких продуктів, як бетон та залізобетон, цегла, метал, ґрунт, забруднений пісок, сантехнічна кераміка, деревина, скло, гіпсокартон, пластмаса, асфальтобетон. Масовий вміст будівельних відходів (за оцінками дослідників) наведено на діаграмі (рис. 1).

У будівельних відходах можуть бути присутніми небезпечні матеріали – 30% усіх муніципальних будівель мають азбестовмісні матеріали, а рівень використання шиферу як покрівельного матеріалу в приватному секторі може досягати 60-70%.

Існує кілька аспектів негативного екологічного впливу будівельного сміття на довкілля: забруднення ґрунту, води, повітря небезпечними речовинами, що проникають у довкілля; використання земельних ресурсів для зберігання великих обсягів будівельного сміття; вплив на біорізноманіття та порушення природних екосистем; парникові гази, що утворю-

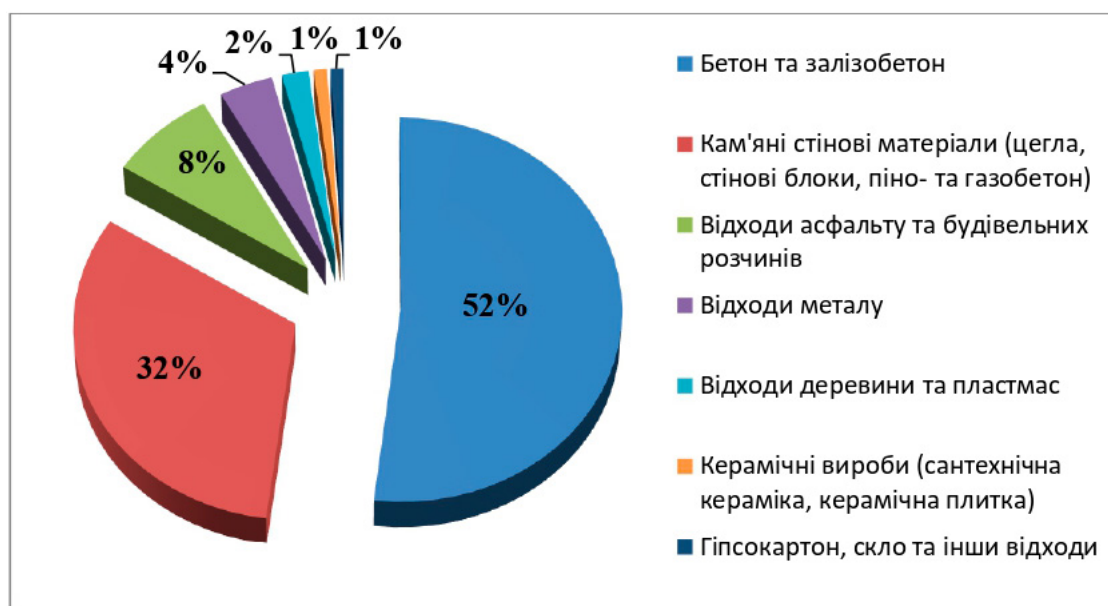


Рис. 1. Вміст будівельних відходів, % [10]



ються під час виробництва будівельних матеріалів, а також енергетичні витрати на виробництво нових матеріалів; соціальний вплив звалищ поблизу населених пунктів на якість життя, здоров'я та здоров'я населення; соціальний вплив на якість життя.

Проект промислового об'єкта в Херсонській області передбачає демонтаж старого частково зруйнованого комплексу та будівництва нового з максимальним повторним використанням демонтованих будівельних матеріалів. До 70% будівельних відходів будуть перероблені та використані при будівництві нового об'єкта. У проекті досліджується практична реалізація замкнутого циклу, починаючи з розбирання наявних споруд, підготовки території, переробки будівельних відходів і закінчуючи інтеграцією вторинних ресурсів у новий об'єкт. Розроблена модель може бути масштабована для інших промислових проєктів, забезпечуючи економію ресурсів, зниження витрат і поліпшення екологічної ситуації.

Це дослідження спрямоване на розробку комплексної системи управління будівельними відходами. Дослідження розв'язує відразу кілька важливих наукових і практичних завдань, забезпечуючи стійкість будівництва, скорочення витрат і мінімізацію екологічних збитків.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Розв'язанню проблем поводження з будівельними відходами у світі та Україні присвячені роботи багатьох закордонних і вітчизняних фахівців, таких як Ель Хаггар С., Бертіно Г., Сандіп Н., Шуваєв О., Шишкін О.О., Лялюк О.Г., Попович О.Р., Уваров П.Є., Богінська Л.О. та інших [11-16]. Питання щодо використання відходів як вторинної сировини в умовах війни в Україні та доцільності впровадження циркулярної економіки розглянуто в роботах таких авторів: Сафранов Т.А., Антонюк Н.А., Токарчук Д.М., Потіп М.М., Колесниченко О., Злотнік М., Горбаль Н.І. тощо [17-21].

Міжнародний досвід демонструє ефективність системного підходу до переробки будівельних відходів, включно із законодавчими ініціативами, технологічними розробками та громадською участю. У розвинених країнах, таких як США та державах Європейського Союзу, переробка будівельних відходів є важливим напрямом екологічної політики.

У США діють стандарти щодо обов'язкового мінімального вмісту вторинної сировини в товарній продукції. Заборонено організацію нових відкритих полігонів, вартість вивезення та заховання на них будівельних відходів значно перевищує вартість переробки цих відходів у вторинну сировину. В Японії не тільки переробляють до 80% відходів, а й використовують утрамбоване будівельне сміття для зведення дамб і насипних територій («сміттєві» острови).

Відходи, що утворюються під час будівельних робіт і знесення споруд, включно з реконструкцією старих будівель, становлять близько 32% від

усіх відходів, що утворюються в Західній Європі. У країнах ЄС поводження з відходами передбачає заборону і жорсткі обмеження вивезення будівельного сміття на полігони, як стимул технологічного розвитку. У багатьох країнах – членах ЄС рівень переробки будівельних відходів перевищив 80% завдяки впровадженню ефективних систем управління відходами та суворому законодавству [10]. У Швеції утилізується 99% усіх відходів, з яких 34,6% піддаються переробленню у вторинну сировину, а 48,5% відправляються на сміттєспалювальні заводи. З 59 млн тонн брухту, що утворюється на будмайданчиках Німеччини, переробляється близько 80%. У Нідерландах повторно використовують 90% будівельних відходів, у Бельгії – 87%, в Австрії переробляється близько 87% CDW (Construction and demolition waste – відходи будівництва та знесення), у Данії – 81% [4]. Великий досвід у сфері рециркуляції промислових відходів накопичено у Фінляндії. Комплекс із переробки відходів «ЕКО-парк» переробляє всі види промислових відходів: метал, металовмісні рідини, дерево, пластик, картон, акумулятори, а також будівельне сміття.

Переробка будівельних відходів в Україні перебуває на початковому етапі розвитку, показник ресайклінгу становить лише 6% від загальної кількості. Основними законодавчими актами у сфері поводження з відходами в Україні є: Закон «Про управління відходами» та Постанова КМУ 1073 «Порядок поводження з відходами від руйнувань». Закон про відходи є рамковим і визначає загальні засади управління відходами, зокрема відходами від будівництва та руйнувань. Закон передбачає, що відходи будівництва мають бути готові до повторного використання та рециклінгу. Він також ставить за мету, що щонайменше 10% маси таких відходів мають бути рецикловані до 2025 року. Постанова 1073 містить класифікацію та вимоги до обліку відходів, включно з вимогами до їхньої обробки та зберігання, а також шляхи повторного використання відходів у будівництві [22-24].

Наразі в деяких областях України, які найбільше постраждали від бойових дій (Київській, Херсонській, Харківській тощо), впроваджують пілотні проєкти з переробки будівельного сміття, яке утворилося внаслідок руйнувань. Одним із найкращих прикладів повторного використання будівельного сміття нині є проєкт у Гостомелі, який реалізує французька компанія Neo-Eco. На перших чотирьох об'єктах вдалося досягти показника переробки в 90%, тільки 10% будівельних відходів було вивезено на полігон. Були перероблені бетон і цегла (на дрібну фракцію), метал, дерев'яні двері (на ДСП панелі), штукатурка (на гіпсокартон), а скло/ПВХ були розподілені на кальцин, алюміній і ПВХ.

Попри наявність окремих проєктів та ініціатив, Україні необхідні масштабніші та системніші зусилля для впровадження ефективних методів

переробки будівельних відходів, що дасть змогу зменшити навантаження на навколишнє середовище і використовувати вторинні ресурси в будівельній галузі. Ціна на переробку будівельних відходів в Україні істотно відрізняється залежно від регіону, кількості та типу сміття, його складу, застосованого обладнання та організацій, що надають такі послуги. За наявними даними та оцінкою рівня ринку на лютий 2025 року середня вартість переробки 1 тонни будівельного сміття коливається в межах 50-100 грн. З огляду на те, що утилізація відходів обходиться у 250-400 грн. за тонну, переробка та вторинне застосування будівельного сміття виявляються більш вигідними з економічного погляду. Реалізація проєктів переробки будівельних відходів потребує державної підтримки та створення нових бізнес-ланцюжків. В Україні відсутня централізована система переробки будівельних відходів, що стримує впровадження сталих рішень. Для успішного розвитку необхідно розробити законодавчу базу, впровадити податкові стимули та створити переробну інфраструктуру.

Дослідження присвячене таким ключовим питанням, які досі залишаються не вирішеними на рівні держави та бізнесу:

1. *Створення сталої системи утилізації будівельних відходів.* В Україні відсутня чітка система збору, сортування та переробки таких відходів, що призводить до їхнього безконтрольного заховання на нелегальних полігонах чи звалищах. Основні невирішені проблеми: немає законодавчих норм, які б зобов'язували компанії переробляти будівельні відходи; відсутня розвинена інфраструктура, яка б містила сортувальні центри та переробні підприємства; немає системи фінансових стимулів, таких як податкові пільги підприємствам, які використовують вторинні будівельні матеріали. Можливі рішення: впровадження державних стандартів переробки будівельних відходів; створення регіональних сортувальних і переробних центрів; запровадження фінансових стимулів для компаній, які використовують перероблені матеріали; обов'язкове включення розділу з утилізації та переробки до проєктів нових будівельних об'єктів

2. *Економічні вигоди переробки будівельних відходів.* Переробка будівельних відходів може стати не тільки екологічно важливим напрямом, а й економічно вигідною галуззю. Однак наразі в Україні не сформована ринкова модель, яка робила б цей процес прибутковим для бізнесу і корисним для держави. Основні економічні бар'єри: висока вартість переробки без держпідтримки робить її не вигідною для приватного сектору; відсутність ринку вторинних будівельних матеріалів, що знижує зацікавленість у їхньому виробництві; відсутність інвесторів і бізнесу, готових вкладати кошти в переробку відходів через відсутність зрозумілої стратегії та держгарантій. Економічні вигоди впровадження переробки:

зниження витрат на утилізацію відходів для будівельних компаній; скорочення витрат на видобуток і виробництво нових будівельних матеріалів внаслідок використання вторинних ресурсів; створення нових робочих місць у сфері переробки будівельних матеріалів; залучення інвестицій у стійке будівництво та екологічні технології; підвищення конкурентоспроможності України на міжнародному ринку, особливо в контексті відновлення інфраструктури після руйнувань.

3. *Реалізація принципів економіки замкнутого циклу в Україні:* відновлення зруйнованої інфраструктури з використанням перероблених будівельних матеріалів; впровадження мобільних станцій переробки будівельних відходів, які працюють прямо на будівельних майданчиках; створення індустріальних парків із переробки будівельних відходів та їхньої інтеграції в нові проєкти.

**Викладення основного матеріалу.** Обґрунтування екологічної та економічної доцільності рециклінгу відходів після демонтажу будівель виконано на прикладі проєкту промислового об'єкта, розташованого в Херсонській області (рис. 2, 3). Територія земельної ділянки становить 1,476 га, площа забудови за проєктом 5889,3 м<sup>2</sup>. Основні будівлі та споруди: виробнича будівля триповерхова (3385,3 м<sup>2</sup>), адміністративна будівля двоповерхова (1200 м<sup>2</sup>), допоміжні споруди, Матеріали конструкцій: залізобетон, цегляна кладка (опорні стіни) і монолітний залізобетон (перекриття).

Загальний обсяг відходів  $V=37031,085 \text{ м}^3$  (коефіцієнт виходу відходів прийнято 0,7). Загальна маса будівельного сміття, розрахована для кожного виду матеріалу, наведена в таблиці 1 і складе 95 355,04 т.

При прийнятому середнього значення переробки будівельного сміття 70%, маса переробленого сміття становитиме 66 748,53 т. Таким чином, на полігон буде направлено 28 606,51 т.

У Херсоні з 2024 року реалізується пілотний проєкт з переробки, очищення та подальшої реалізації будівельного сміття. Ціна на таку продукцію коливається від 240 до 280 грн. за тонну і є конкурентною.

Проєкт демонтажу старого частково зруйнованого комплексу та будівництва нового виробничого об'єкта є моделлю сталого промислового будівництва, що ґрунтується на принципах економіки замкнутого циклу. Основні етапи реалізації проєкту:

1. Повний демонтаж зруйнованої будівлі із сортуванням відходів. Перед будівництвом нового об'єкта проводять огляд, сортування і розбирання наявних конструкцій з метою подальшої переробки.

Контрольований демонтаж – будівля розбирається поетапно, із сортуванням матеріалів за видами (бетон, цегла, метал, деревина, ізоляційні матеріали, скло). Дроблення бетону та цегли – перероблений матеріал використовується для фундаменту, дорожнього покриття, конструкцій нового об'єкта. Переплавлення металоконструкцій – сталь та алю-

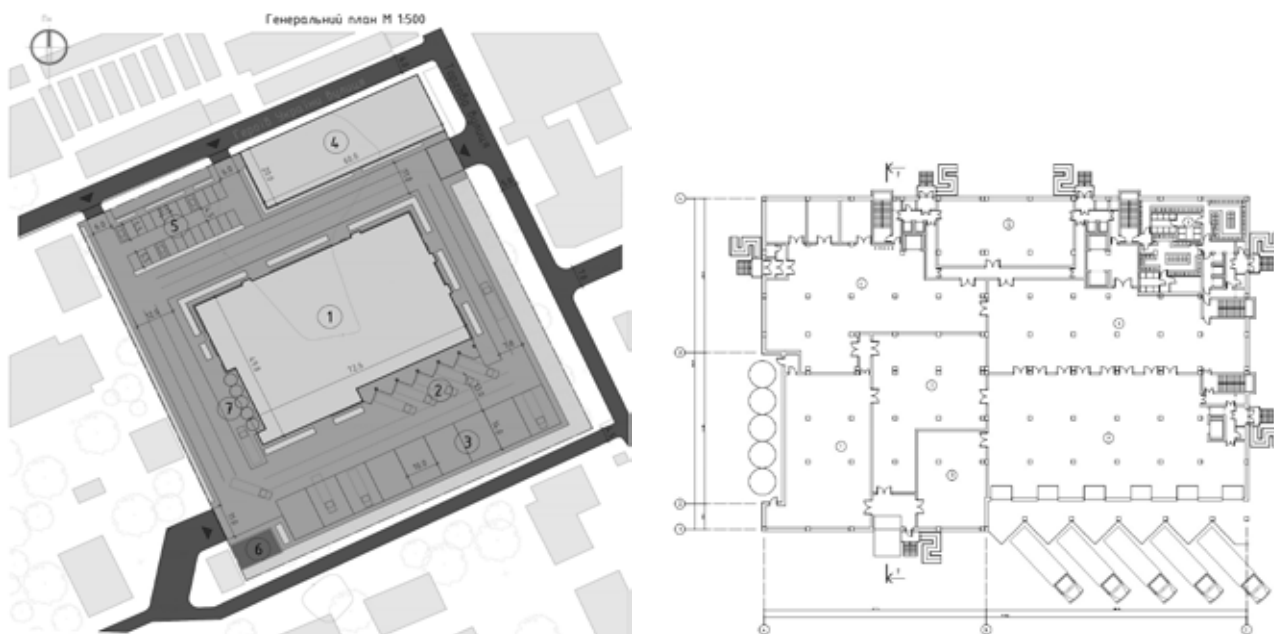


Рис. 2. Генеральний план об'єкта та схема першого поверху



Рис. 3. Промисловий об'єкт: після руйнування і новий проєкт

Таблиця 1

## Будівельні відходи

| Матеріал     | Частка, % | Щільність, кг/м³ | Маса будівельного сміття, т | Вартість переробки, грн/т |
|--------------|-----------|------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Залізобетон  | 70%       | 2500             | 64 804,4                    | 100                       |
| Цегла        | 20%       | 1800             | 13 331,19                   | 90                        |
| Метал        | 5%        | 7800             | 14 442,12                   | -                         |
| Інші відходи | 5%        | 1500             | 2 777,331                   | 150                       |

міній повертаються у виробництво, що скорочує потребу у видобутку нових ресурсів. Переробка скла та пластику – впровадження технологій повторного використання скляних фасадних елементів та пластикових утеплювачів.

*Очікувані результати:* зниження обсягів відходів на полігонах на 70-80% завдяки переробленню; скорочення вартості матеріалів нового будівництва на 25-30% завдяки вторинному використанню переробленого бетону та цегли; зменшення викидів CO<sub>2</sub> на

20-25%, адже виробництво нового бетону та цегли є одним із найбільших джерел вуглецевих викидів.

2. Основні прийоми з очищення території: проведення екологічного аналізу ґрунту – виявлення вмісту токсичних речовин, залишків нафтопродуктів, важких металів; механічне очищення – видалення будівельних решток, які не підлягають переробленню, і забрудненого шару ґрунту; біологічна ремедіація – використання технологій очищення ґрунту за допомогою бактерій, здатних розкласти

шкідливі речовини; глибоке перероблення ґрунту – поліпшення його фізичних властивостей шляхом додавання мінералів та органічних добавок, що робить його придатним для утилізації; використання забрудненого ґрунту, що виключає ризики для навколишнього середовища.

*Очікувані результати:* повне усунення забруднення ґрунту, що виключає ризики для довкілля; мінімізація витрат на вивезення та утилізацію забрудненого ґрунту; використання очищеного ґрунту в проєкті, що знижує необхідність завезення нових матеріалів і скорочує логістичні витрати.

3. Переробка будівельних матеріалів та їх повторне використання. У рамках проєкту створюється локальний переробний ланцюжок, що дає змогу використовувати перероблені матеріали безпосередньо в будівництві нового об'єкта:

Фундамент та несучі конструкції – до 40% бетону та цегли буде замінено переробленими матеріалами. Дорожнє покриття та тротуари – використання переробленого щебеню, бетону та цегли для покриття доріг, парковок та тротуарів. Благоустрій території – застосовуються перероблені ґрунти, композити та вторинні будівельні матеріали для озеленення та організації водовідведення. Енергоефективні фасадні системи – використання скла та алюмінію з демонтованих конструкцій у новому фасаді.

*Очікувані результати:* скорочення витрат на закупівлю нових будівельних матеріалів на 30%; зменшення потреби у видобутку піску, щебеню та цементу, що знижує навантаження на природні ресурси; створення інноваційної моделі будівництва з високим рівнем стійкості.

4. Оптимізація енергоспоживання нової будівлі. Одним із ключових аспектів проєкту є енергоефективність нової будівлі, що досягається завдяки: сучасній теплоізоляції – застосування інноваційних ізоляційних матеріалів, що скорочують втрати тепла;

системі рекуперації енергії – зниження енергоспоживання на 25% шляхом повторного використання тепла вентиляційних викидів; сонячним панелям і системам збирання дощової води – зменшення навантаження на комунальні мережі та підвищення автономності об'єкта.

*Очікуваний результат:* скорочення експлуатаційних витрат на енергію і водопостачання на 30-35%.

5. Екологічний ефект: зниження викидів CO<sub>2</sub> завдяки скороченню обсягів видобутку природних матеріалів; мінімізація шкідливого впливу на навколишнє середовище завдяки контролю забруднення ґрунту і скорочення обсягу відходів; будівництво об'єкта на очищеній території з використанням перероблених матеріалів.

6. Економічний ефект: зменшення витрат на будівництво завдяки використанню перероблених матеріалів; зниження витрат на утилізацію відходів на 50-70% завдяки їх переробці; скорочення витрат на нові матеріали на 25-30% завдяки вторинному використанню.

**Висновки.** З урахуванням вищевикладеного проєкт виробничого об'єкта, що розглядається, може бути моделлю сталого будівництва промислових об'єктів в Україні, за рахунок впровадження замкнутого циклу переробки будівельних відходів. Це дасть змогу зменшити навантаження на навколишнє середовище й отримати додаткову економію будівельних матеріалів і природних ресурсів, відкрис нові можливості для бізнесу та створить ринок вторинних будівельних матеріалів.

Пропонований проєкт промислового об'єкта в Херсонській області доводить, що будівництво із замкнутим циклом переробки можливе й ефективне. Застосування результатів дослідження забезпечить економічну вигоду, інвестиційну привабливість та екологічну безпеку, що відповідає світовим тенденціям і вимогам Євросоюзу.

### Література

1. Антонюк Н.А., Костюк В.Р. Рециклінг будівельних відходів під час війни в Україні: виклики та перспективи. *Актуальні проблеми економіки*. 2024. № 7 (277). С. 130-142.
2. Попович О.Р., Захарко Я.М., Мальований М.С. Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2013. № 755. С. 321-324.
3. Лялюк О.Г., Ратушняк О.Г., Лялюк А.О. Екологічний менеджмент відходів будівельного виробництва. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2017. Т.22. № 1. С. 94-100.
4. Шуваєв А. Інструментарій залучення відходів будівництва та зносу до повторного господарського циклу в контексті їх класифікаційних ознак. *Грааль науки*. 2021. № 10, С. 600-605.
5. Ілляш О.Е., Бредун В.І., Чухліб Ю.О. Управління відходами: навч. посіб. Ч.1. Полтава: Астроя, 2021. 187 с.
6. BDO в Україні про можливість переробки будівельних відходів від руйнувань. *European Business Association*. URL: <https://eba.com.ua/bdo-v-ukrayini-pro-mozhlyvosti-pererobky-budivelnih-vidhodiv-vid-rujnuvan/> (дата звернення: 11.02.2025).
7. Сердюк В.Р. Циркулярна економіка: українські реалії та перспективи впровадження в будівельній галузі. *Сучасні технології матеріалів і дизайну в будівництві*. 2023. Т.34. № 1. С. 156-164.
8. Кваша Т., Паладченко О., Молчанова І. Перспективні світові наукові та технологічні напрями досліджень у сфері «Відходи»: монографія. К.: УкрІНТЕІ, 2020. 103 с.
9. Будівельне сміття: вирішення проблеми залежить від політичної волі та готовності впроваджувати реформи. *Property Times*. URL: [https://propertytimes.com.ua/spetsproekti/budivelnne\\_smittya\\_virishennya\\_problmi\\_zalezhit\\_vid\\_politichnoyi\\_voli\\_ta\\_gotovnosti\\_vprovadzhuvati\\_reformi](https://propertytimes.com.ua/spetsproekti/budivelnne_smittya_virishennya_problmi_zalezhit_vid_politichnoyi_voli_ta_gotovnosti_vprovadzhuvati_reformi) (дата звернення: 11.02.2025).
10. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року: Розпорядження Каб. Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80> (дата звернення: 15.02.2025).

11. El Haggag S. Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradle-To-Cradle for Sustainable Development. Amsterdam: Academic Press. 2007. 401 p.
12. Fundamentals of building deconstruction as a circular economy strategy for the reuse of construction materials / G. Bertino et al. *Applied sciences*, 2021. Vol. 11(3). P. 939. URL: <https://doi.org/10.3390/app11030939> (date of access: 10.02.2025).
13. Sandeep N. Utilization of recycled form of concrete, E-wastes, glass, quarry rock dust and waste marble powder as reliable construction materials. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 45. Part 2. pp. 3231-3234. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.3816> (date of access: 10.02.2025).
14. Методика реновації промислових об'єктів, розташованих на території міста / Шишкін Е.А. та ін. *Містобудування та територіальне планування*. 2020. Вип. 72. С. 288-303.
15. Уваров П.Є., Татарченко Г.О., Шпарбер М.Є. Сучасні проблеми рециклінгу вторинних будівельних ресурсів. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2019. № 16. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu\\_2019\\_16\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2019_16_22) (дата звернення: 15.02.2025).
16. Богінська Л.О. Аналіз використання відходів виробництва у будівництві. *Нові технології в будівництві*. 2021. № 39. С. 39-45.
17. Сафранов Т., Приходько В., Корбут М. Особливості поводження з відходами будівництва та зносу в регіонах України. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Сер. Екологія. Публічне управління та адміністрування*. № 2(6), 2024. С. 75-84.
18. Токарчук Д.М. Особливості утворення і поводження з відходами під час воєнних дій: досвід України. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2022. № 2. С. 109-122.
19. Потіп М.М. Правове регулювання використання відходів війни як ресурсу для відновлення України. *Нове українське право*. 2023. № 3, С. 106-114.
20. Злотнік М., Ткачук Б. Переваги впровадження циркулярної економіки для українських підприємств в умовах воєнного стану. *Економіка та суспільство*, 2023. Вип. 45. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-36> (дата звернення: 10.02.2025).
21. Горбаль Н.І., Сліпачик С.В. Циркулярна економіка: особливості та перспективи впровадження в Україні в умовах війни. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку*. Вип. 6. № 1. 2024. С. 92-104.
22. Про управління відходами: Закон України від 20 червня 2022 р. № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 11.02.2025).
23. Перероблення будівельних відходів: виклики та можливості для України. *Укрінформ*. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3826490-pereroblenna-budivelnih-vidhodiv-vikliki-ta-mozlivosti-dla-ukraini.html> (дата звернення: 10.02.2025).
24. Порядок управління відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків: Постанова Каб. Міністрів України від 27 вересня 2022 р. № 1073. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.02.2025).

УДК 504.054

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.51>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОБУТОВОГО КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Разно М.Р., Тихомирова Т.С., Босюк А.С., Шестопалов О.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

mykola.ravno@mit.khpi.edu.ua, tetiana.tykhomyrova@khpi.edu.ua,

Alona.Bosiuk@mit.khpi.edu.ua, oleksii.shestopalov@khpi.edu.ua

Розглядається процес побутового компостування органічних відходів рослинного походження як ефективний спосіб зменшення твердих побутових відходів та покращення родючості ґрунту. Стаття висвітлює основні етапи формування компосту, включаючи закладку органічної маси, її розкладання та використання отриманого добрива. У роботі представлено фотографічні матеріали, які ілюструють динаміку процесу компостування, а також вплив отриманого компосту на ріст рослин. Проаналізовано розвиток компосту в різні періоди: вигляд однорічного та дворічного компосту, поповнення компостних куч травою та іншими органічними відходами, стан компосту після зимового періоду, а також підготовка нових компостних куч та використання готового матеріалу на третій рік. Результати дослідження підтверджують позитивний вплив компосту на агрохімічні властивості ґрунту, що відображено у підвищенні схожості та приросту біомаси культурних рослин. Встановлено, що внесення весною просіяного компосту сприяє інтенсивнішому розвитку рослин, зокрема гірчиці та картоплі. У статті запропоновано апробовану схему індивідуального компостування рослинних відходів, що включає формування шарів з різних типів органічної маси: трави, харчових відходів, важкоферментуємих відходів (товсте бадилля, листя, гілля), які пересипаються тонким шаром ґрунту для прискорення процесів розкладання. Таким чином, проведене дослідження демонструє практичну значущість та екологічну ефективність побутового компостування органічних відходів рослинного походження. Одержані результати можуть бути використані для впровадження екологічно безпечних технологій переробки органічних відходів у приватному господарстві. *Ключові слова:* компостування, органічні відходи, ґрунт, біомаса, агрохімічні властивості, екологія, родючість ґрунтів, відходи рослинництва.

**Study of the process of domestic composting of organic waste of plant origin. Razno M., Tykhomyrova T., Bosiuk A., Shestopalov O.**

The process of household composting of organic waste of plant origin is considered as an effective way to reduce solid household waste and improve soil fertility. The article highlights the main stages of compost formation, including the incorporation of organic matter, its decomposition and the use of the resulting fertiliser. The paper presents photographic materials illustrating the dynamics of the composting process, as well as the impact of the resulting compost on plant growth. The paper analyses the development of compost in different periods: the appearance of one-year and two-year compost, replenishment of compost heaps with grass and other organic waste, the state of compost after the winter period, as well as the preparation of new compost heaps and the use of the finished material in the third year. The results of the study confirm the positive impact of compost on the agrochemical properties of the soil, which is reflected in increased germination and biomass growth of cultivated plants. It was found that the application of sifted compost in spring promotes more intensive development of plants, in particular mustard and potatoes. The article proposes a tested scheme of individual composting of plant waste, which includes the formation of layers of different types of organic mass: grass, food waste, hard-to-ferment waste (thick tops, leaves, branches), which are covered with a thin layer of soil to accelerate the decomposition process. Thus, the study demonstrates the practical significance and environmental efficiency of household composting of organic waste of plant origin. The results obtained can be used to implement environmentally friendly technologies for processing organic waste in private households. *Key words:* composting, organic waste, soil, biomass, agrochemical properties, ecology, soil fertility, crop waste.

**Вступ.** Актуальною проблемою сьогодення є зменшення обсягів твердих побутових відходів, зокрема органічних, які утворюються в побутових умовах і можуть стати джерелом забруднення навколишнього середовища при неналежній утилізації. Одним з найбільш ефективних і екологічно безпечних методів переробки органічних відходів є компостування, що дозволяє не лише зменшити обсяг відходів, а й отримати природне добриво, яке сприяє покращенню родючості ґрунтів. В Україні близько 40% побутових відходів є органічними. Однак, оскільки 92% відходів потрапляють на звалища, більшість органічних відходів втрачається, що створює санітарні ризики та сприяє поширенню інфекцій [1]. Іншою проблемою є те, що в сільських та приватних

домогосподарствах утворюються відходи рослинництва, такі як скошена та газонна трава, бур'яни та бадилля культурних рослин з городу, опале листя, дрібне гілля після обрізки кущів та дерев, перезрілі фрукти та овочі, які можливо утилізувати на власній ділянці. Тому дослідження процесу побутового компостування є важливим для вирішення екологічних та економічних проблем, пов'язаних з утилізацією органічних відходів [2, 3].

**Постановка проблеми.** Незважаючи на численні переваги компостування, у побутових умовах цей процес часто не отримує належної уваги або реалізується з низькою ефективністю через недотримання оптимальних умов (температура, вологість, склад відходів тощо) [4, 5]. Важливим є дослідження різ-

них факторів, що впливають на ефективність побутового компостування, а також розробка рекомендацій щодо оптимізації цього процесу. Тому виникає необхідність у проведенні дослідження, яке дозволить детально вивчити процес компостування органічних відходів рослинного походження та розробити практичні рекомендації для його впровадження в домашніх господарствах з метою підвищення екологічної ефективності та зниження обсягів відходів.

**Актуальність дослідження.** Актуальність дослідження зумовлена проблемою неефективного управління твердими побутовими відходами, зокрема їх органічною складовою. Одним із найефективніших рішень є компостування – процес виробництва добрив з органічних відходів, що сприяє покращенню ґрунту та зменшенню біоорганічної частки сміття. Важливим кроком у популяризації компостування є впровадження системи роздільного збору відходів [6, 7]. Швидке зростання кількості органічних відходів, таких як залишки їжі, листя, гілки та інші рослинні рештки, є серйозною проблемою для довкілля, оскільки їхнє накопичення та неправильне утилізування призводять до забруднення ґрунтів, води та атмосфери [8–10]. У зв'язку з цим, компостування органічних відходів набуває особливої значущості як ефективний метод зменшення обсягу побутових відходів і збереження природних ресурсів. Завдяки компостуванню можливо не тільки зменшити забруднення, але й отримати органічне добриво, яке підвищує родючість ґрунтів і сприяє розвитку сільського господарства без використання хімічних добрив.

Тому дослідження процесу побутового компостування органічних відходів рослинного походження є актуальним, оскільки дозволяє знайти оптимальні умови для цього процесу, а також розробити рекомендації для його широкого впровадження у побутових умовах, що має значний потенціал для зменшення екологічного навантаження та покращення стану навколишнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед сучасних дослідників, які вивчають компостування як ефективний метод управління відходами, можна відзначити роботи М. В. Гаценка [11], М. К. Лінника [12] та В. В. Шацького [13]. Вони приділяють велику увагу різним аспектам технології компостування, таким як механізація приготування матеріалу, оптимізація параметрів процесу, правильне формування куп компосту, а також складу і співвідношенню основних поживних речовин у субстраті. Зарубіжні науковці також активно досліджують компостування як ефективний метод переробки органічних відходів та їх використання для покращення ґрунтів. Наприклад, автори [14] вивчали вплив аерації та температурного режиму на швидкість розкладу органічних матеріалів, тоді як [15] досліджували оптимальне співвідношення вуглецю до азоту (C:N) для покращення процесу компостування, [16] проаналі-

зували різні типи мікроорганізмів, що беруть участь у біодеградації органічних відходів, підкреслюючи важливість мікробної активності у формуванні якісного компосту. Сучасні дослідження, як вітчизняні, так і зарубіжні, підтверджують, що компостування є ефективним, екологічно безпечним та перспективним методом переробки органічних відходів, який може значно зменшити їхній негативний вплив на довкілля.

**Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Попри значний розвиток досліджень у галузі утилізації органічних відходів, побутове компостування залишається недостатньо вивченим і не завжди ефективно впроваджується на практиці в домашніх господарствах. Більшість існуючих досліджень орієнтовані на великомасштабне компостування в промислових умовах або на розробку теоретичних моделей, що не враховують специфічних умов побутових господарств [17]. Однак в умовах обмеженого простору, ресурсів і різноманіття відходів, які утворюються на домашніх ділянках, процес компостування часто виявляється не таким ефективним, як у промислових умовах.

На сьогоднішній день ще не достатньо вивчені механізми, які дозволяють забезпечити стабільність процесу компостування на малих обсягах відходів, а також підвищити ефективність використання компосту як добрива [18] в домашньому господарстві.

Таким чином, нерозв'язаними залишаються питання оптимізації процесу побутового компостування органічних відходів, зокрема в умовах обмежених ресурсів, а також розробка практичних рекомендацій для підвищення ефективності компостування в домашніх умовах, що і становить основний фокус цієї статті.

**Новизна.** Новизна дослідження полягає в детальному аналізі процесу побутового компостування органічних відходів рослинного походження, зокрема через надання фотографічних прикладів на різних етапах компостування. Вперше в роботі представлено порівняння різних вікових груп компосту (однорічного та дворічного) з використанням наочної документації процесу, що дозволяє оцінити зміни в якості та структурі компосту протягом часу. Окрім того, новизною є розробка схем та методик для оптимізації компостування в умовах домашнього господарства, зокрема через використання різних шарів органічних відходів та ґрунту. Впровадження просіяного компосту в ґрунт також дозволяє підтвердити підвищення схожості та приросту біомаси на прикладі гірчиці та картоплі, що вказує на значне покращення якості ґрунту.

**Мета і задачі дослідження.** Мета даного дослідження полягає у вивченні процесу побутового компостування органічних відходів рослинного походження, визначенні основних факторів, що впливають на його ефективність, та розробці прак-

тичних рекомендацій для поліпшення цього процесу в умовах домашнього господарства. Це необхідно для зниження обсягів органічних відходів, їх ефективної утилізації та отримання екологічно чистого добрива, що сприяє збереженню навколишнього середовища та підвищенню родючості ґрунтів.

Для досягнення зазначеної мети потрібно було вирішити наступні задачі:

- провести аналіз процесу побутового компостування органічних відходів рослинного походження в умовах домашнього господарства;
- дослідити зміни в якості компосту на різних етапах (однорічний, дворічний компост) через фотодокументацію;
- розробити схему оптимізації процесу компостування в побутових умовах з використанням різних типів органічних відходів і ґрунту;
- оцінити вплив використання компосту на підвищення родючості ґрунтів;
- розробити рекомендації для покращення ефективності побутового компостування органічних відходів у домашніх господарствах.

**Викладення основного матеріалу.** Компостування – це біохімічний процес перетворення різних компонентів органічних відходів у відносно стабільні гумусоподібні речовини, які можна використовувати як доповнення до ґрунту або органічне добриво [19, 20]. Як ефективний метод утилізації органічних відходів, компостування сприяє зменшенню обсягів відходів, що потрапляють на звалища, мінімізує ризики забруднення ґрунтових вод, знижує викиди парникових газів і забезпечує отримання екологічно цінного продукту [21]. Крім того, цей процес дозволяє зменшити потребу в хімічних добривах, покращуючи родючість ґрунту та його структуру за рахунок збагачення органічними речовинами.

У ході дослідження було проведено аналіз процесу компостування органічних відходів у побутових умовах. Дослідження підтвердило, що правильне поєднання цих параметрів сприяє прискоренню розкладу органічних матеріалів і отриманню високоякісного компосту.

На основі отриманих даних було розроблено та апробовано методику індивідуального компостування рослинних відходів, що включає формування компостної маси з різних типів органічних відходів та їхню послідовну обробку. Було встановлено, що використання шарового методу закладки відходів із чергуванням зелених (багатих на азот) та коричневих (багатих на вуглець) компонентів забезпечує рівномірний розклад та високу ефективність компостування.

**Методика дослідження.** Дослідження процесу компостування органічних відходів проводилося з використанням експериментального методу у реальних побутових умовах. Для дослідження було створено компостні купи з поділом на шари:

- трав'яні залишки та харчові відходи органічного походження;
- важкоферментовані відходи (товсте бадилля, листя, дрібне гілля дерев);
- пересипка тонким шаром ґрунту.

Компостування відбувалося протягом трьох років із періодичним поповненням новими відходами. Оцінка стану компосту здійснювалася на різних етапах дозрівання (однорічний, дворічний та трирічний компост). Фіксація візуальних змін проводилася за допомогою фотографування на ключових етапах процесу (осінь, зима та весна). Також аналізувалася структура компосту, його колір, вологість, запах та ступінь розкладу органічних залишків.

Після трьох років дозрівання компост було просіяно та розподілено за фракціями: крупна (7–15 мм); середня (3–7 мм) та дрібна (менше 3 мм).

Отримані зразки досліджувалися візуально та за допомогою мікроскопа.

Було проведено польові експерименти із внесенням просіяного компосту у ґрунт перед посадкою гірчиці та картоплі. Візуально оцінювалася схожість та приріст біомаси рослин у порівнянні з контрольними ділянками без внесення компосту. Отримані дані систематизовано, проаналізовано та подано у вигляді фотографій, що ілюструють процес компостування, структуру дозрілого компосту та його вплив на рослинність.

Методика дозволила комплексно оцінити процес компостування, встановити оптимальні умови для його реалізації та підтвердити ефективність отриманого компосту як органічного добрива.

**Результати дослідження.** Дослідження процесу побутового компостування органічних відходів рослинного походження продемонструвало ефективність поступового розкладу біоматеріалів у контрольованих умовах. Аналіз результатів базується на фотознімках процесу компостування на різних етапах, що відображають зміни структури та властивостей компостної маси протягом трьох років.

На рис. 1 зафіксовано основні етапи перетворення органічних відходів у готовий компост.

У вересні 2022 року (рис. 1а) зафіксовано вигляд дворічного компосту (праворуч) і однорічного компосту (ліворуч), що демонструє поступову зміну структури органічної маси. У грудні 2022 року (рис. 1б) показано процес поповнення компосту після осіннього прибирання ділянки, що є важливим етапом для забезпечення рівномірного розкладу матеріалів. У березні 2023 року (рис. 1в) зафіксовано вигляд компостної маси після зими, що демонструє природну ферментацію та зменшення об'єму органічної сировини. У квітні 2023 року (рис. 1г, 1д) відображено процес закладання нової компостної купи та використання готового компосту на третій рік.

Подібну динаміку підтверджують фотографії (рис. 2), що демонструють аналогічні зміни в червні





Рис. 1. Фотографії процесу компостування: а – вигляд дворічного (справа) та однорічного (зліва) компосту (25.09.2022); б – поповнення компосту після збору врожаю та прибирання городу (01.12.2022); в – вигляд компосту після зими (18.03.2023); г, д – закладка нової купи компосту та використання компосту на 3 рік (квітень 2023)

2023 року: компост різного ступеня дозрівання, поповнення сировини травною, а також підготовку нового матеріалу до компостування.

На фотографіях висушених зразків (рис. 3) продемонстровано фізичні властивості компосту на третьому році дозрівання. Вигляд непросіяного компосту свідчить про різномірність фракцій (рис. 3а), тоді як просіяний матеріал (рис. 3б, 3в) має рівномірнішу структуру, придатну для внесення в ґрунт.

Мікроскопічний аналіз просіяного компосту різних фракцій (рис. 3г, 3д, 3е) показує його якісний склад, а саме:

- фракції 7–15 мм містять частково розкладені органічні залишки;
- фракції 3–7 мм є більш гомогенними та мають високу вологоємність;
- фракції менше 3 мм характеризуються високою насиченістю поживними речовинами, що свідчить про їхню придатність як ґрунтового покращувача.

**Обговорення.** Аналіз результатів дослідження процесу компостування (рис. 1 та рис. 2) свідчить, що при компостуванні в домашніх умовах без особливих зусиль протягом двох років відбувається достатньо повне перетворення органічного матеріалу (товсте бадилля рослин, залишків городини та харчових відходів) у майже однорідний за складом компост. Вже на третій рік можна використовувати

його для внесення у ґрунт після попереднього просіювання. Аналіз гранулометричного складу компостних решток (рис. 3) показує, що переважна більшість маси (близько 85%) має частинки менше 3 мм, які зручно вносити в ґрунт.

Результати дослідження, наведені на рис. 4, демонструють позитивний вплив внесення просіяного компосту на розвиток рослин завдяки поповненню ґрунту органічними речовинами. Візуальний аналіз зростання гірчиці (рис. 4а) показав суттєве збільшення біомаси в зонах внесення компосту, що свідчить про покращення поживного середовища. Подібна тенденція спостерігається у випадку картоплі (рис. 4б), де зафіксовано підвищену схожість та прискорений ріст рослин на початковому етапі зростання.

Такий ефект пояснюється високим вмістом органічних речовин та поживних елементів у компості, які сприяють активному розвитку кореневої системи та покращують структуру ґрунту. Крім того, компост допомагає утримувати вологу, що є критично важливим фактором під час проростання насіння.

З урахуванням заборони на спалювання органічних відходів, які утворюються в індивідуальних господарствах (буряну, сухого бадилля та листя) використання методу компостування є перспективним для утилізації сільськогосподарських та харчових відходів. Проведені дослідження та успішна





Рис. 2. Фотографії процесу компостування: а – поповнення компосту першого року травною; б – вигляд наступної порції дворічного (справа) та однорічного (зліва) компосту (16.06.2023); в – вигляд дворічного компосту після зими (18.03.2023); г, д – закладка нової кучи компосту та використання компосту на 3 рік (квітень 2023)

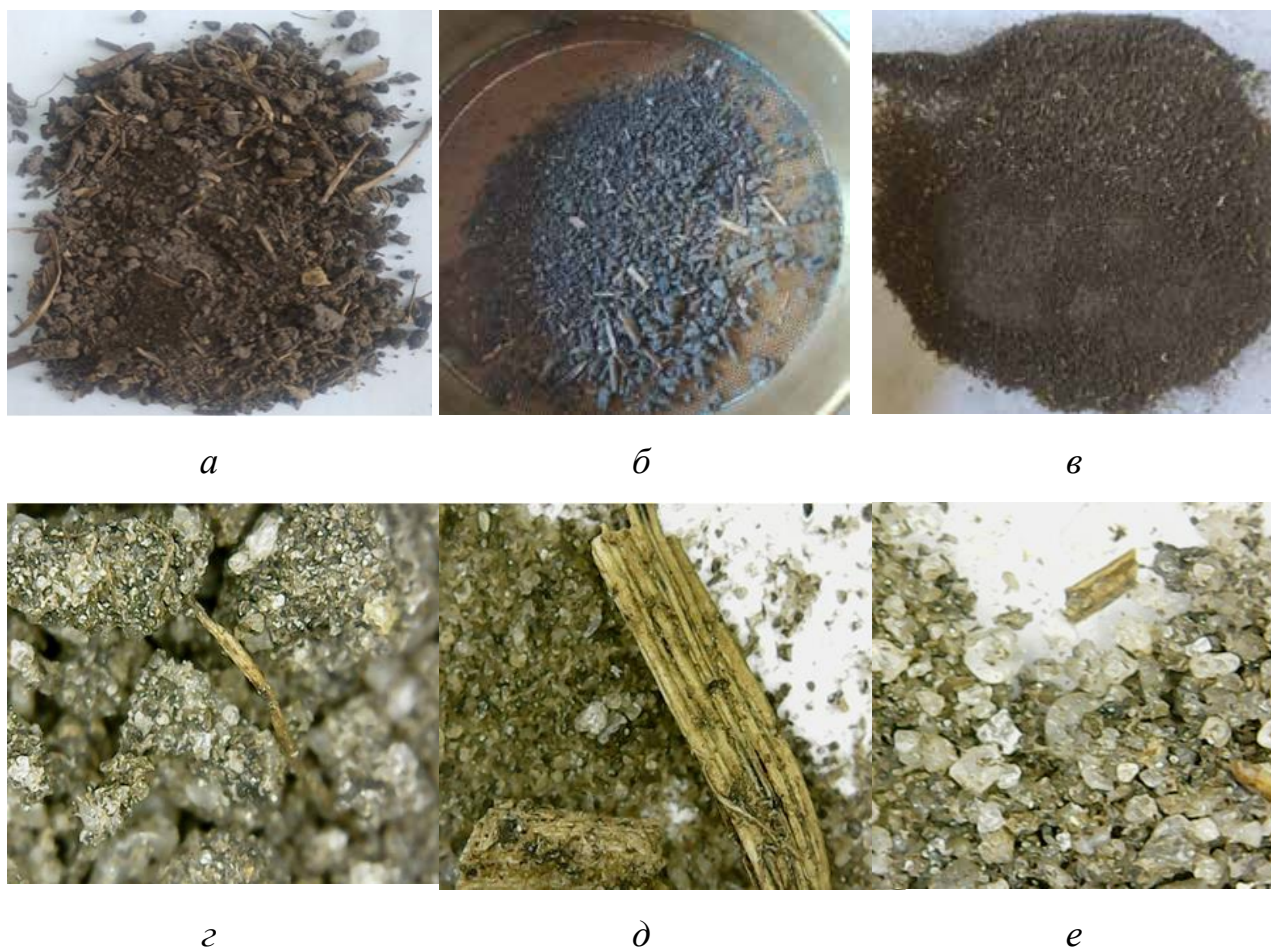


Рис. 3. Фотографії висушених зразків компосту на третій рік: а – вигляд не просіяного компосту на третій рік; б, в – фотографії просіяного компосту через сито 3 мм, г, д, е – фотографії під мікроскопом просіяного компосту різних фракцій (б – від 7 до 15 мм, в – від 3 до 7 мм, г – менше 3 мм)



Рис. 4. Приклади підвищення схожості та приросту біомаси після внесення весною просіяного компосту:  
а – візуальне підвищення приросту біомаси гірчиці; б – схожість та підвищення приросту біомаси картоплі

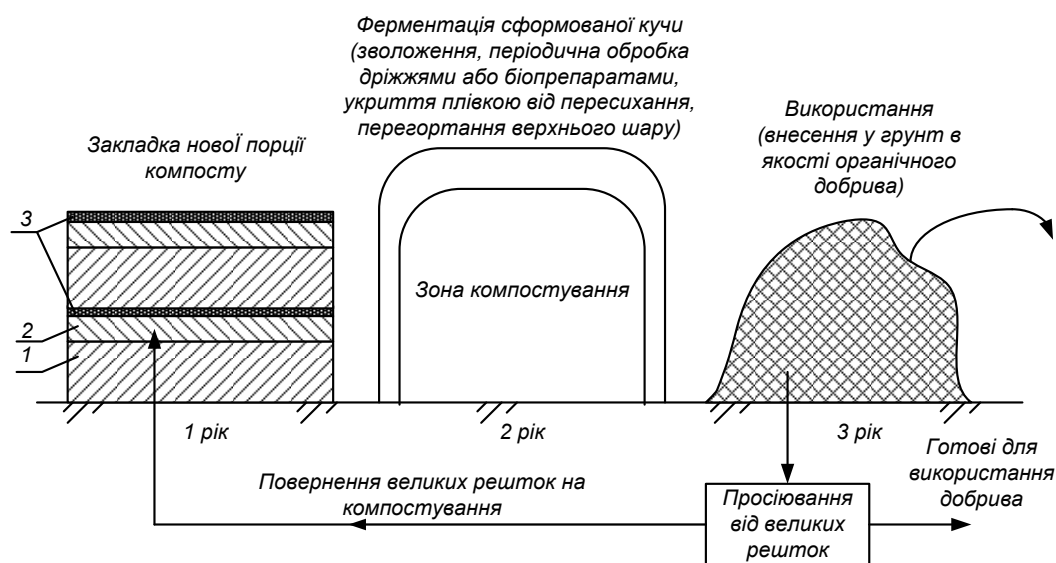


Рис. 5. Схема апробованого способу індивідуального компостування рослинних відходів:  
1 – шар трави, харчові відходи органічного походження; 2 – важкоферментуємі відходи (товсте бадилля рослин, листя та дрібне гілля дерев) 3 – пересипка тонким шаром ґрунту

апробація способу кучного компостування дозволяють запропонувати схему індивідуального компостування (рис. 5), яка передбачає створенню трьох невеличких компостних куч. Перший рік рекомендується накопичення відходів протягом сезону або року (з весни до зими). Під час заповнення рослинними рештками доцільно використовувати поділ відходів на три основні компоненти, які укладаються шарами по мірі їх утворення:

- шар свіжої трави та харчових відходів – забезпечує джерело азоту, що прискорює процес розкладання;
- важкоферментовані відходи (товсте бадилля, листя, гілля) – уповільнюють процес розкладання, регулюючи баланс між швидкорозкладними та стійкими органічними матеріалами;
- пересипка тонким шаром ґрунту – сприяє утворенню стабільного мікробного середовища, що підтримує рівномірне дозрівання компосту.



На першому етапі укладається основний шар компостної купи, який складається з подрібненої трави та харчових відходів органічного походження (наприклад, залишки овочів, фруктів, кухонних відходів). Цей шар активно розкладається завдяки великій кількості азоту, що міститься в траві та харчових відходах, що сприяє швидкому розкладу матеріалів.

Другий шар складається з відходів, які важче піддаються ферментації, таких як товсте бадилля рослин, сухе листя та дрібне гілля дерев. Ці матеріали поступово розкладаються завдяки мікроорганізмам, але цей процес займає більше часу. Розміщення важкоферментуючих відходів дозволяє створити рівномірну структуру компосту та покращує аерацію, що важливо для нормального розкладу всіх компонентів.

Третій етап передбачає пересипку кожного шару компосту тонким шаром ґрунту. Це допомагає утримувати вологу, сприяє кращому розкладу органічних матеріалів та забезпечує контакт з корисними мікроорганізмами, що стимулюють процес компостування. Ґрунт також допомагає утримувати теплоту в купі, що необхідно для активного розкладу відходів.

Таким чином, протягом року з весни до зими накопичуються відходи для компостування, останні верхні шари формуються залишками бадилля та овочей пізньої осенню (рис. 1б) та протягом зими поповнюються лише залишками харчових відходів. На наступний рік з весни починається формування наступної кучі відходів (рис. 1г), а накопичені відходи у попередній рік вже не поповнюються відходами, лише зволожнюються та періодично укриваються плівкою. Для прискорення процесів ферментації за необхідністю (при наявності дрібних гілок фруктових дерев чи товстого бадилля, наприклад, соняшника чи кукурудзи) доцільно раз на 1–2 місяці обробляти кучу біопрепаратами або розчином з дріжджами чи просто додавати ґрунт. На третій рік (рис. 1д) ферментовану масу з весни можна вносити у ґрунт в якості органічного добрива. Для однорідності бажано перед внесенням у ґрунт просіяти кучу через сито чи сітку від великих решток та гілок, які залишились і повернути їх у нову кучу. Запропонований принцип компостування зводиться до створення трьох куч (рис. 1д):

– нової, яка створюється на початку кожного року і призначена для накопичення відходів;

– ферментуючої, яка протягом року після накопичення перегниває та перетворюється у компост;

– готового компосту, який можна використовувати в якості органічного добрива або субстрату для культурних рослин, висадки кущів або кімнатних рослин.

Таким чином, запропонована схема забезпечує достатньо ефективний і збалансований процес компостування, що дозволяє отримати високоякісне органічне добриво для подальшого використання в домашньому господарстві без потреби додаткових витрат на процес компостування. Перевагою запропонованого методу є те, що утилізація відходів не потребує багато місця для облаштування складування відходів і не потребує додаткових засобів чи споруд. Недоліком методу є тривалий час компостування (більше року до внесення у ґрунт), однак при запропонованій організації накопичування та ферментації цей недолік не є суттєвим.

#### Головні висновки.

1. Проведений аналіз процесу побутового компостування органічних відходів рослинного походження в умовах домашнього господарства. Отримані результати підтверджують достатню для практичного використання ефективність компостування для утилізації органічних відходів та їхнього перетворення на якісне добриво.

2. Спостереження за змінами компосту протягом трьох років підтверджують практичне повне перетворення органічних решток на субстрат на рівні 85% та дозволяють оптимізувати процес компостування шляхом дотримання правильної структури закладки матеріалів та контролю вологості.

3. Використання запропонованої технології дозволило отримати якісний компост, придатний для покращення структури ґрунту та підвищення його родючості. Внесення дозрілого компосту сприяє покращенню родючості ґрунту та мінімізує екологічні ризики, пов'язані з неправильним поводженням із біовідходами.

4. Візуальна оцінка підвищення родючості ґрунтів підтверджена спостереженням приросту біомаси на рівні 10–15% та прискореній схожості та вегетації рослин на ранніх етапах.

5. Запропонована схема компостування забезпечує оптимальний час та співвідношення компонентів, що сприяє рівномірному дозріванню та збереженню поживних речовин у кінцевому продукті.

#### Література

1. Горобець О.В., Галіцький В.А. Перспективні напрями утилізації органічних відходів. *Наука. Молодь. Екологія: 2016 рік* : матеріали ХІІ Всеукр. наук.–практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 27 трав. 2016 р. Житомир : ЖНАЕУ, 2016. С. 97–102.
2. Білецька Г.А., Матюшенко І.В. Компостування органічних відходів у побутових умовах. *Природничий альманах. Сер. Біологічні науки*. 2019. Вип. 26. С. 16–23.
3. Li W., Gao X., Fan R., Gai J., Li G., Luo W., Qi C., Xu Z. Cornstalks regulate bacterial dynamics to benefit organic humification in food waste digestate composting. *Environmental Technology & amp*. 2025. Vol. 37. P. 104044. DOI: 10.1016/j.eti.2025.104044

4. Павленко С. І., Ляшенко О.О., Лисенко Д.М., Харитонов В.І. Аналіз і обґрунтування технологічних процесів компостування сільськогосподарських органічних відходів тваринного походження. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Сер. Технічні науки*. 2011. Вип. 9. С. 94–104.
5. Xiao Y., Zeng G.-M., Yang Z.-H., Shi W.-J., Huang C., Fan C.-Z., Xu Z.-Y. Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, № 20. P. 4807–4813. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.05.013
6. Кращі європейські практики управління відходами / А. Войціховська, О. Кравченко, О. Мелень-Забрамна, М. Панькевич. Львів : Компанія «Манускрипт», 2019. 64 с.
7. Організація ефективного поводження з відходами: як діяти органам місцевого самоврядування / А. Войціховська, Н. Куць, М. Панькевич, Л. Тимошук. Львів : Компанія «Манускрипт», 2018. 108 с.
8. Органічні відходи: визначення, вплив на навколишнє середовище та способи їх переробки. *Infotech* : веб-сайт. URL: [https://infotech-web.com/uk/advices/11610-organic-waste-definition-impact-on-the-environment-and-how?utm\\_source=chatgpt.com](https://infotech-web.com/uk/advices/11610-organic-waste-definition-impact-on-the-environment-and-how?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення 22.02.2025 р.)
9. Chikae M., Ikeda R., Kerman K., Morita Y., Tamiya E. Estimation of maturity of compost from food wastes and agro-residues by multiple regression analysis. *Bioresource Technology*. 2006. Vol. 97, № 16. P. 1979–1985. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.09.026
10. Zhu L., Liu L., Tan C., Li C., Le B., Yao X., Hu B. Sustainable decentralized food waste composting using a pulse alternating ventilation pilot-scale device: Case study based on LCA and LCC analysis. *Bioresource Technology*. 2025. Vol. 419. P. 132078. DOI: 10.1016/j.biortech.2025.132078
11. Гапенко М.В. Компостування органічної речовини. Мікробіологічні аспекти. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Т.19. Вип. 1. С. 11–20.
12. Лінник М.Г., Семчук М.М. Технології і технічні засоби виробництва та використання органічних добрив : монографія. Київ, 2012. 244 с.
13. Шацький В.В., Поволоцький А. А. Основні вимоги до процесу та біотехнічної системи компостування органічної сировини. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Т.157. С. 140–146.
14. He L., Huang G.-H., Zeng G.-M., Lu H.-W. Identifying optimal regional solid waste management strategies through an inexact integer programming model containing infinite objectives and constraints. *Waste Management*. 2009. Vol. 29. № 1. P. 21–31. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.02.003
15. Iqbal J., Hu R., Feng M., Lin S., Malghani S., Ali I. M. Microbial biomass, and dissolved organic carbon and nitrogen strongly affect soil respiration in different land uses: A case study at Three Gorges Reservoir Area, South China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2010. Vol. 137. № 3–4. P. 294–307. DOI: 10.1016/j.agee.2010.02.015
16. Kumar M., Ou Y.-L., Lin J.-G. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management*. 2010. Vol.30. № 4. P. 602–609. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.11.023
17. Guo W., Zhou Y., Zhu N., Hu H., Shen W., Huang X., Zhang T., Wu P., Li Z. On site composting of food waste: A pilot scale case study in China. *Resources, Conservation and Recycling*. 2018. Vol.132. P. 130–138. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.01.033
18. Li Z., Lu H., Ren L., He L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere*. 2013. Vol. 93. № 7. P. 1247–1257. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.06.064
19. Tiquia S. M. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*. 2010. Vol.79. № 5. P. 506–512. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.02.040
20. Coelho C., Cavani L., Halle A. ter Guyot G., Ciavatta C., Richard C. Rates of production of hydroxyl radicals and singlet oxygen from irradiated compost. *Chemosphere*. 2011. Vol. 85. № 4. P. 630–636. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.07.007
21. He X., Xi B., Wei Z., Guo X., Li M., An D., Liu, H. Spectroscopic characterization of water extractable organic matter during composting of municipal solid waste. *Chemosphere*. 2011. Vol. 82. № 4. P. 541–548. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.10.057

## ОСОБЛИВОСТІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ У МІСЬКИХ ТА СІЛЬСЬКИХ УМОВАХ ШВЕЙЦАРІЇ

Сараненко І.І.

Херсонський державний університет  
вул. Шевченка, 14, 76018, м. Івано-Франківськ  
[saranenkoinna@gmail.com](mailto:saranenkoinna@gmail.com)

Ефективне управління відходами є надзвичайно важливим для забезпечення екологічної стабільності та сталого розвитку. Стаття присвячена порівнянню моделей поводження з відходами в міських та сільських умовах на прикладі м. Сент-Галлена і сільської громади Ваттвіля у межах одного кантону Швейцарії й базується на аналізі морфологічного складу твердих побутових відходів, сезонних змін у їх утворенні, оцінці ефективності переробки й утилізації.

Місто Сент-Галлен вирізняється високорозвинутою централізованою інфраструктурою, що охоплює 100% населення. Використання біогазових установок дозволяє переробляти понад 40% органічних відходів, а спалювання залишкових відходів з виробленням енергії забезпечує економічну ефективність. Щорічна виручка від вторинної сировини і енергії становить близько 10 млн CHF. Інноваційні рішення, зокрема цифровий моніторинг наповненості контейнерів, впроваджено у 80% пунктів збору. Водночас високі витрати на утримання інфраструктури (15 млн CHF на рік) є викликом для міста.

Сільська громада Ваттвіль демонструє успіхи завдяки локальним рішенням, таким як компостування, що охоплює 95% органічних відходів. Незважаючи на обмежену інфраструктуру, 90% домогосподарств активно залучені до сортування сміття. Залежність від міських центрів для утилізації пластику, металу та електроніки збільшує витрати громади на транспортування до 25% місцевого бюджету. Сезонні коливання у складі відходів у Ваттвілі більш виражені: улітку частка органіки досягає 55%, тоді як у Сент-Галлені ці зміни становлять лише 5–7%.

Проведений аналіз підкреслює переваги й недоліки обох моделей. У Сент-Галлені ключовими є висока технологічність та економічна вигода, у Ваттвілі – ефективне використання локальних ресурсів та залучення громади. Виявлена необхідність розробки інтегрованих рішень, які враховують специфіку міських і сільських умов для оптимізації управління відходами.

Результати дослідження можуть бути використані для створення адаптованих стратегій поводження з відходами, розробки освітніх програм з підвищення екологічної свідомості та впровадження інноваційних технологій у регіонах з різною щільністю населення. *Ключові слова:* моделі поводження з відходами, м. Сент-Галлен, сільська громада Ваттвіль, переробка, органіки, біогаз, компостування, локальні рішення.

### Features of waste management in urban and rural conditions of Switzerland. Saranenko I.

Effective waste management is critical to ensuring environmental stability and sustainable development. The article is devoted to the comparison of models of waste management in urban and rural conditions on the example of St. Gallen and the rural community of Wattwil within one canton of the Switzerland and is based on the analysis of the morphological composition of solid household waste, seasonal changes in its formation, and evaluation of the efficiency of processing and disposal.

The city of St. Gallen is characterized by a highly developed centralized infrastructure covering 100% of the population. The use of biogas plants makes it possible to process more than 40% of organic waste, and the incineration of residual waste with energy production ensures economic efficiency. The annual revenue from secondary raw materials and energy is about 10 million CHF. Innovative solutions, in particular digital monitoring of the fullness of containers, have been implemented in 80% of collection points. At the same time, high infrastructure maintenance costs (CHF 15 million per year) are a challenge for the city.

The rural community of Wattwil is showing success with local solutions such as composting, which covers 95% of organic waste. Despite limited infrastructure, 90% of households are actively involved in waste sorting. Dependence on city centers for recycling plastic, metal and electronics increases the community's transport costs to 25% of the local budget. Seasonal variations in the composition of waste in Wattwil are more pronounced: in summer, the proportion of organics reaches 55%, while in St. Gallen these changes are only 5–7%.

The conducted analysis emphasizes the advantages and disadvantages of both models. High manufacturability and economic benefits are key in St. Gallen, and efficient use of local resources and community involvement in Wattwil. The need to develop integrated solutions that take into account the specifics of urban and rural conditions to optimize waste management has been identified.

The results of the research can be used to create adapted waste management strategies, develop educational programs to increase environmental awareness, and implement innovative technologies in regions with different population densities. *Key words:* models of waste management, m. St. Gallen, Wattwil village, recycling, organics, biogas, composting, local solutions.

**Постановка проблеми.** Ефективне поводження з відходами є однією з ключових проблем сучасності. Збільшення кількості сміття та недостатність ресурсів для переробки і вторинного використання потребують створення ефективних моделей управління залежно від специфіки населеного пункту.

**Актуальність дослідження.** Зростаючі обсяги відходів, особливо в умовах урбанізації, є серйозним викликом для громад і місцевих урядів. У міських умовах необхідно забезпечити централізовану інфраструктуру для збирання та переробки сміття, тоді, як у сільських громадах виникає потреба у прийнятті локальних рішень, які враховують обмежені ресурси.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Стаття спрямована на оцінювання ефективності міських та сільських систем поводження з відходами; формування пропозицій для покращення інтеграції моделей поводження з відходами та пошуку шляхів щодо зниження екологічного впливу відходів на довкілля.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наукова література активно висвітлює проблеми поводження з відходами протягом останніх десятиліть. Питанням безпеки присвятили свої роботи у 2012–2014 рр. вчені: Буряк Н.Б. [1], Ніканоров С.О. [2], Попович В.В. [3], Некос А.Н., Попович Н.В., Пресадько В.А., Уткіна К.Б. [4]; у 2022 році вплив освіти на інформування громадян, успішність впровадження практик сортування та переробки відходів досліджували Томчук М. та Томчук С. [5]. У монографії Ремез Н.С. розглянутий досвід України та світу поводження з відходами, наведені результати експериментальних досліджень та математичного моделювання процесів [6].

Закордонні науковці у своїх роботах величезну увагу приділяють проблематиці гарбології, централізованим підходам до утилізації сміття: роздільному збору та створенню заводів для переробки у містах; компостуванню органіки та повторному використанню матеріалів [7]. Виробництво енергії з твердих побутових відходів у країнах з низьким і середнім рівнем доходу вивчали Е.М. Dickson, А. Hastings, J. Smith (Нігерія) [8].

Серед вчених країн ЄС, відомі: Агнешка Понятовська, Моніка Кісіль і Даміан Панасюк (Республіка Польща) [9], Дебора Лаура Шнайдер, Анке Нойман Дженал, Райнер Ден (Швейцарська Конфедерація) [10], Костянтин Мірча Орлеску, Іоана Аліна Костеску (Румунія) [11], Надія Благоева, Ваня Георгієва, Деляна Дімова (Республіка Болгарія) [12], Вікторія Йордачі та Стела Чобу (Республіка Молдова) [13].

Наукові дослідження сприяють впровадженню інновацій у цій сфері, покращують екологічну ситуацію, стимулюють перехід до більш сталих моделей поводження з відходами.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** На сьогоднішній день недостатньо досліджений механізм взаємодії інтегрованих моделей для населених пунктів щодо утилізації складних фракцій. Внаслідок цього виникають питання щодо адаптації міських підходів до сільських громад; зменшення їх залежності від міської інфраструктури; розробка спільних практик взаємодії для покращення управління; визначення найбільш проблемних категорій відходів.

**Новизна.** У статті наведене детальне порівняння моделей поводження з відходами у міській та сільській громадах на основі гарбологічного аналізу,

на прикладі населених пунктів Швейцарії: Сент-Галлені та Ваттвілі.

**Методологічне та загальнонаукове значення.** На основі результатів проведеного аналізу можливе формування основи для розробки локальних інтегрованих стратегій поводження з відходами.

**Викладення основного матеріалу.** Територіальний устрій Швейцарії має свої особливості. До складу держави входять 20 кантонів та 6 напівкантонів. Метою даної роботи є порівняння моделей поводження з відходами у місті та сільській громаді в межах одного кантону. Завдання: визначення морфологічного складу та логістики твердих побутових відходів у мікрорайоні та місті Сент-Галлен і сільської громади Ваттвіль. Об'єктами є тверді побутові відходи міста Сент-Галлена та сільської громади Ваттвіля. Предметом є моделі поводження з відходами у міському та сільському середовищі. Спостереження та аналіз проводилися з грудня 2023 року по листопад 2024 року [7, 14–17].

Для виконання поставлених завдань обрано мікрорайон міста Сент-Галлен, який є домішкою для людей різної національності, включаючи тимчасово переміщених осіб з України, з кількістю мешканців – 360 осіб. На території мікрорайону розміщено 6 видів сміттєприймачів: вуличні смітники для змішаних відходів, паперових пакетів, алюмінієвих та жерстяних банок, окремо для білого, зеленого та коричневого скла. У магазинах розміщені смітники для PET-пляшок, LED-лампочок, CD/DVD дисків, батарейок, балонів від збитих вершків, фільтрів для води, для картону, поліетиленових упаковок та пластику (рис. 1).

Розглянемо сезонний морфологічний склад твердих побутових відходів (табл. 1); міську й сільську моделі поводження з відходами (табл. 2) та їх переваги і недоліки у Сент-Галлені [14–16] та Ваттвілі [17] (табл. 3).

Потрібно зазначити, що морфологічний склад відходів міста та сільської громади відрізняється від відходів мікрорайону меншою кількістю категорій та має певні сезонні особливості. У місті улітку кількість органічних відходів зростає через харчові залишки та зелені відходи садівництва і фермерства.

Узимку їх кількість зменшується, а у Ваттвілі залишається суттєвим через господарські відходи. Частка паперу та картону взимку є найвищою, що пов'язано зі споживанням товарів у пакуванні. Улітку зменшується через зниження ділової активності. Частка пластику, скла, металів, залишкових відходів стабільна протягом року або незначно змінюється.

При порівнянні моделей поводження з відходами визначено, що у Сент-Галлені потужності біогазових установок дозволяють переробляти до 40% органіки. Заводи з переробки пластику та металу обслуговують не лише місто, а й сусідні громади, що підвищує ефективність системи.

У Ваттвілі 95% органічних відходів переробляється через компостування. Відсутність великих цен-

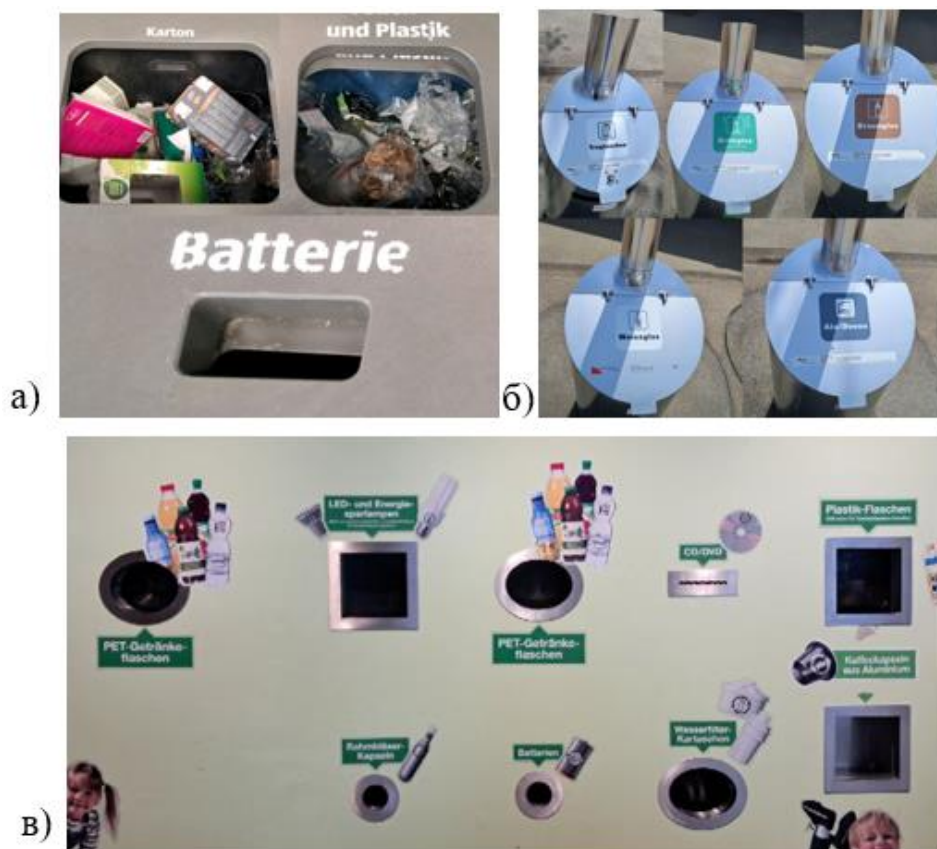


Рис. 1. Сміттєприймачі мікрорайону: а) для картону, пластику і поліетиленових упаковок; б) для паперових пакетів, зеленого, коричневого, білого скла та для алюмінієвої тари; в) для PET-пляшок, LED-лампочок, CD/DVD-дисків, батарейок, балонів від збитих вершків, фільтрів для очищення води

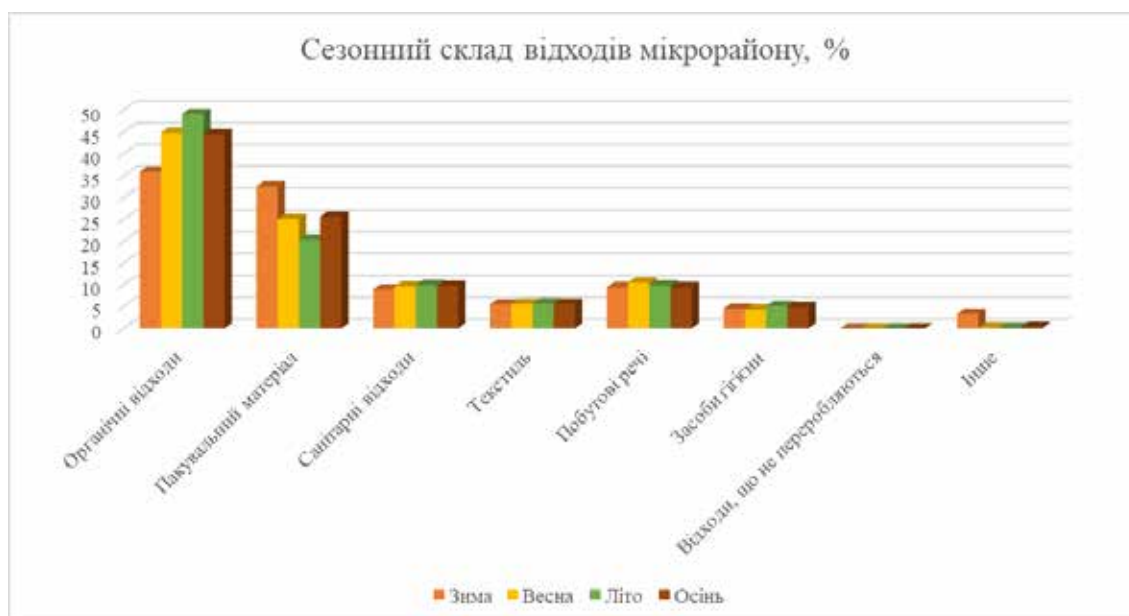


Рис. 2. Морфологічний склад відходів мікрорайону (%) у різні пори року



Таблиця 1

**Сезонний морфологічний склад твердих побутових відходів населених пунктів  
та рівень їх переробки**

| № з/п | Категорія відходів          | Сезон      | м. Сент-Галлен     |                     | с. Ваттвіль        |                     |
|-------|-----------------------------|------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|       |                             |            | частка у складі, % | рівень переробки, % | частка у складі, % | рівень переробки, % |
| 1.    | Органічні відходи           | зима       | 25,0               | 90,0                | 40,0               | 95,0                |
|       |                             | весна      | 35,0               | 90,0                | 50,0               | 95,0                |
|       |                             | літо       | 40,0               | 90,0                | 55,0               | 95,0                |
|       |                             | осінь      | 35,0               | 90,0                | 50,0               | 95,0                |
| 2.    | Папір, картон               | зима       | 25,0               | 95,0                | 20,0               | 90,0                |
|       |                             | весна      | 20,0               | 95,0                | 15,0               | 90,0                |
|       |                             | літо       | 15,0               | 95,0                | 10,0               | 90,0                |
|       |                             | осінь      | 20,0               | 95,0                | 15,0               | 90,0                |
| 3.    | Пластик                     | усі сезони | 12,0               | 60,0                | 8,0                | 50,0                |
| 4.    | Скло                        |            | 10,0               | 100,0               | 5,0                | 100,0               |
| 5.    | Метал                       |            | 5,0                | 100,0               | 3,0                | 100,0               |
| 6.    | Текстиль                    |            | 3,0                | 70,0                | 2,0                | 60,0                |
| 7.    | Електронні відходи          |            | 2,0                | 80,0                | 1,0                | 70,0                |
| 8.    | Небезпечні відходи          |            | 1,0                | 100,0               | 0,5                | 100,0               |
| 9.    | Залишкові (неперероблювані) |            | 17,0               | 0,0                 | 20,0               | 0,0                 |

Таблиця 2

**Моделі поводження з відходами у міських та сільських умовах**

| № з/п | Критерії                 | м. Сент-Галлен                                       | с. Ваттвіль                                   |
|-------|--------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1.    | Населення                | 76328 (2021)                                         | 8837 (2020)                                   |
| 2.    | Тип відходів             | Переважають пластик, папір, скло                     | Більшість органічні відходи                   |
| 3.    | Рівень переробки         | Високий – понад 70%                                  | Високий – понад 60%, залежно від фракції      |
| 4.    | Основні методи переробки | Біогазові установки, централізовані заводи           | Локальне компостування передача на переробку  |
| 5.    | Система збору            | Організований роздільний збір з багатьма пунктами    | Невеликі пункти збору, розташовані локально   |
| 6.    | Інфраструктура           | Розвинена: сортувальні станції, біогазові установки  | Обмежена: акцент на місцеві рішення           |
| 7.    | Поводження з органікою   | Збирається централізовано для виробництва біогазу    | Компостується на фермах або в домашніх умовах |
| 8.    | Поводження зі склом      | Повний збір та переробка через спеціалізовані центри | Здається до регіональних пунктів переробки    |
| 9.    | Пластик                  | Сортується (PET, HDPE), передається на переробку     | Переробляються лише обмежені види (PET, HDPE) |
| 10.   | Метал                    | Повністю переробляється                              | Повністю переробляється                       |
| 11.   | Електронні відходи       | Спеціальні пункти збору                              | Передаються до центрів у сусідніх містах      |
| 12.   | Небезпечні відходи       | Спеціалізована утилізація                            | Передаються до регіональних центрів           |
| 13.   | Залишкові відходи        | Спалюються з отриманням енергії                      | Спалюються з отриманням енергії               |
| 14.   | Участь громади           | Активна, підтримується міськими кампаніями           | Висока, через низьку централізацію системи    |

Таблиця 3

## Переваги та недоліки моделей поводження з відходами

| Критерії                    | м. Сент-Галлен                                                                                            | с. Ваттвіль                                                                                                 |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Переваги</b>             |                                                                                                           |                                                                                                             |
| Екологічна ефективність     | 75% відходів переробляється або використовується повторно                                                 | 65% відходів переробляється, зокрема 95% органіки компостується локально                                    |
| Інноваційність              | Використання цифрових датчиків у 80% смітєвих контейнерів для моніторингу наповненості                    | Поєднання традиційних практик (компостування органіки) з передачею 30% складних відходів до міських центрів |
| Соціальна активність        | Близько 80% населення бере участь у програмах сортування та екологічних ініціативах                       | 90% домогосподарств бере участь у сортуванні та компостуванні органіки                                      |
| Економічна вигода           | Виручка від вторсировини та енергії – близько 10 млн CHF на рік                                           | Економія на транспортуванні органіки становить до 20% місцевого бюджету громади                             |
| Інфраструктура              | 100% населеного пункту охоплено централізованою системою збору, 4 біогазові установки, 2 переробні заводи | 10 пунктів збору, зокрема для скла, паперу, пластику; локальне компостування органіки                       |
| <b>Недоліки</b>             |                                                                                                           |                                                                                                             |
| Залежність від інших систем | Незначна залежність завдяки централізованій системі, переробка відходів здійснюється на місці             | Залежність від міських центрів для переробки 30% пластику, 100% електроніки та металу                       |
| Сезонні коливання           | Незначні: 5–7% органічних відходів улітку через харчові залишки та зелені відходи                         | Сезонний ріст органічних відходів до 55% улітку та восени через активне садівництво та фермерство           |
| Інфраструктурні обмеження   | Витрати на утримання інфраструктури – 15 млн CHF на рік                                                   | Відсутність переробних центрів, витрати на транспортування складних фракцій складають до 25% бюджету        |
| Економічні витрати          | Високі: середня вартість утримання системи збору й переробки – 200 CHF на домогосподарство на рік         | Низькі: 50 CHF на домогосподарство на рік завдяки локальним рішенням                                        |

трів призводить до необхідності передавання складних відходів у міста, що підвищує витрати громади.

**Головні висновки.** Сент-Галлен має розвинену інфраструктуру, яка дозволяє ефективно переробляти великі обсяги відходів. Основна увага приділяється централізованим технологіям, таким як біогазові установки та заводи з переробки пластику й металу.

Ваттвіль покладається на локальні рішення, такі як компостування та пункти збору. Переробка складних фракцій пов'язана з містом.

Порівняння ілюструє, як міські й сільські громади можуть доповнювати одна одну в управлінні відходами.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використані для розробки універсальних стратегій поводження з відходами в регіонах з різною щільністю населення; створення освітніх програм для популяризації сортування сміття; впровадження інноваційних технологій переробки.

## Література

1. Бурак Н.Б., Лукаш С.В. Проблеми збирання, транспортування та утилізації твердих побутових відходів в Україні. *Національний вісник НЛТУ України*. 2012. С. 82–90.
2. Ніканоров С.О. Закордонний досвід формувань будівель та споруд сміттєпереробних комплексів. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2014. Вип. 4. С. 241–249.
3. Попович В.В. Пожежна безпека стихійних сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів. Збірник наукових праць ЛДУ БЖД. 2012. № 21. С. 140–147.
4. Уткіна К.Б., Пересадько В.А., Некос А.Н., Попович Н.В. Стан і перспективи поводження з відходами в рамках розроблення стратегії розвитку Харківської області до 2020 року. *Український географічний журнал*. 2015. № 4. С. 58–63.
5. Томчук М., Томчук С. Розвиток екологічної свідомості студентів інформаційними засобами. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти*. Серія «Педагогіка. Психологія», Вип. 1, 2022. С. 39–50.
6. Ремез Н.С. Стратегічні підходи до вирішення проблеми побутових відходів: монографія / Ремез Н.С., Дичко А.О., Шмарін С.Л., Крайчук С.О., Остапчук Н.О. Рівне: Волин. обереги, 2023. 460 с. URL: <https://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi75/0056203.pdf> (дата звернення: 20.11.2024).
7. Edward Humes. Garbology: Our Dirty Love Affair With Trash. Avery, 2012. 277 p.

8. Dickon T.M., Hastings A., Smith J. Energy production from municipal solid waste in low to middle income countries: a case study of how to build a circular economy in Abuja, Nigeria. *Frontiers in Sustainability*, Sec. Circular Economy, Volume 4, 30 May 2023. URL: <https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1173474> (дата звернення: 20.11.2024).
9. Poniatowska A., Kisiel M., Panasiuk D. Municipal Waste Management in Poland Compared to Other European Union Countries. *Studia Ecologiae Et Bioethicae*. 2021. 19 (4), pp. 85–95.
10. Laboratory for Waste Management. Publications. URL: <https://www.psi.ch/en/les/publications> (дата звернення: 04.11.2024).
11. Constantin Mircea Orlesku, Ioana Alina Costescu. Solid waste management in Romania: current and future issues. *Environmental Engineering and Management Journal*. May 2013, Vol. 12, No. 5, 891–899 p.
12. Nadezhda Blagoeva, Vanya Georgieva and Delyana Dimova. Relationship between GDR and Municipal Waste: Regional Disparities and Implication for Waste Management Policies. *MDPI Sustainability*, 2023. No. 15. 23 p. 15193.
13. Victoria Iordachi, Stela Clobu. Waste Management-best practices for the republic of Moldova. *Culegere de articole stiintifice ale Conferentei Stiintifice Internationale "Competitivitate si Inovare in economia cunoasterii"*, Editia XXII-a, 25–26 septembrie 2020, Kishinev, pp. 171–181.
14. Newsletter Woche, 2023, 2024. Kanton St. Gallen. URL: <https://www.sg.ch/umwelt-natur/nachhaltigkeit.html#stq=%D0%B2%D1%96%D0%B4&stp=1> (дата звернення: 07.12.2023).
15. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.
1. Der Bundesrat. Das Portal der Schweizer Regierung. URL: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/zugang-zu-amtlichen-dokumenten-der-bundesverwaltung.html> (дата звернення: 07.12.2023).
16. Switzerland. European Environment Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/en> (дата звернення: 07.12.2023).
17. Abfallkalender. Wattwil. URL: <https://www.wattwil.ch/> (дата звернення: 09.12.2024).

## ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Сорочинська О.Л.

Державний університет інфраструктури та технологій

вул. Кирилівська, 9, 04071, м. Київ

ellena06.84@ulr.net

У сучасному світі проблема управління відходами набуває особливої актуальності в контексті сталого розвитку. Зростання населення, урбанізація та індустріалізація спричиняють значне збільшення обсягів відходів, що створюють екологічні, економічні та соціальні виклики. Традиційні методи поводження з відходами, такі як захоронення та спалювання, вже не відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки та раціонального віку. Утримання енергії від відходів є одним із ключових інноваційних підходів у сфері управління відходами, які забезпечують екологічну безпеку та енергетичну ефективність. Сучасні технології, такі як спалювання з рекуперацією енергії, піроліз, газифікація та анаеробне зброджування, дозволяють перетворювати органічні та неорганічні відходи на електроенергію, тепло або біогаз. Це не лише зменшує обсяги відходів, що підлягають захороненню, а й сприяє зниженню викидів парникових газів, що відповідає принципам сталого розвитку. Крім того, впровадження таких технологій сприяє диверсифікації джерел енергії та зменшенню негативного впливу від викопного палива, що є кроком на шляху до екологічно чистої енергетики. Взаємодія між технологічними рішеннями для управління відходами та ланцюгами постачання енергії є багатосторонньою та може значно відрізнитися залежно від багатьох критеріїв та різних характеристик. Цей інноваційний підхід висуває концептуальну основу сталого розвитку на основі поняття «інтелекту» для стратегій перетворення відходів у енергію. Тим не менш, розумне уявлення про ланцюжок поставок не може бути самостійним. Потрібна систематична підтримка процесу участі за допомогою інструментів інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та електронних методів, які слід просувати для колективного сприяння та сталого управління. Цей процес повинен охоплювати мешканців, професіоналів як виробників відходів і розумних менеджерів для контролю за ланцюгом постачання в напрямку сталого управління енергією та ресурсами відходів. Інноваційні рішення для максимізації ефективності утилізації відходів за допомогою спільної потужності ІКТ-мереж є критично важливими для розгортання в місцевих громадах. Вони можуть базуватися на інтернеті речей, великих даних, оперативному моделюванні, науці про складні системи, а також соціальних мережах. Концептуальні засади сталого розвитку передбачають запровадження певної системи базових підходів до екологізації та гуманізації економічної та соціальної діяльності. Сучасні підходи до управління відходами повинні містити інноваційні методи, які в першу чергу полягають у зменшенні кількості відходів, що утворюються в процесі споживання та виробництва, забезпеченні їх максимальної утилізації та переробки, а також впровадженні ефективних технологій поводження з відходами. *Ключові слова:* поводження з відходами, стратегія, утилізація відходів, рециклінг, управління відходами, екологічна політика, сталий розвиток.

### **Innovative approaches to waste management in the context of sustainable development. Sorochynska O.**

In the modern world, the problem of waste management is gaining particular relevance in the context of sustainable development. Population growth, urbanization and industrialization cause a significant increase in waste volumes, which create environmental, economic and social challenges. Traditional waste management methods, such as landfill and incineration, no longer meet modern requirements of environmental safety and rational age. Energy recovery from waste is one of the key innovative approaches in waste management that ensure environmental safety and energy efficiency. Modern technologies, such as incineration with energy recovery, pyrolysis, gasification and anaerobic digestion, allow converting organic and inorganic waste into electricity, heat or biogas. This not only reduces the amount of waste to be landfilled, but also contributes to reducing greenhouse gas emissions, which is in line with the principles of sustainable development. In addition, the implementation of such technologies contributes to the diversification of energy sources and the reduction of the negative impact of fossil fuels, which is a step towards environmentally friendly energy. The interaction between waste management technology solutions and energy supply chains is multifaceted and can vary significantly depending on many criteria and different characteristics. This innovative approach puts forward a conceptual framework for sustainable development based on the notion of “intelligence” for waste-to-energy strategies. However, an intelligent view of the supply chain cannot stand alone. A systematic support for the participatory process through information and communication technology (ICT) tools and electronic methods should be promoted for collective facilitation and sustainable management. This process should involve residents, professionals as waste producers and smart managers to control the supply chain towards sustainable energy and waste resource management. Innovative solutions to maximize waste management efficiency through the shared power of ICT networks are critical for deployment in local communities. They can be based on the Internet of Things, big data, operational modeling, complex systems science, and social networks. The conceptual principles of sustainable development provide for the introduction of a certain system of basic approaches to the greening and humanization of economic and social activities. Modern approaches to waste management should include innovative methods, which primarily consist in reducing the amount of waste generated in the process of consumption and production, ensuring their maximum utilization and recycling, as well as introducing effective waste management technologies. *Key words:* waste management, strategy, waste disposal, recycling, management, environmental policy, sustainable development.

**Постановка проблеми.** У сучасному світі проблема управління відходами стає дедалі гострішою через зростання обсягів виробничих і споживчих відходів, урбанізацію, зміну споживчих звичок та недостатню ефективність традиційних методів їх використання, та впровадження екологічних норм і політики. Значна частина відходів досі підлягає захороненню або спалюванню без належного рівня переробки, що спричиняє значний негативний вплив на довкілля. Водночас концепція сталого розвитку передбачає раціональне використання ресурсів, мінімізацію відходів та впровадження циркулярної економіки. Це вимагає нових підходів до приводу з відходами, зокрема застосування інноваційних технологій, процесів цифровізації, розвитку альтернативних методів переробки та використання вторинної сировини. Основним викликом є необхідність гармонійного поєднання екологічних, економічних і соціальних аспектів управління відходами, що потребує системного підходу та ефективних рішень на державному та комунальному рівнях.

**Актуальність дослідження.** Адекватна, безпечна та стабільна енергія є рушійною силою сталого розвитку, життєво важливий елемент якості життя та довголіття людства. Стійкість передбачає економічний розвиток шляхом забезпечення як захисту навколишнього середовища, так і соціальної згуртованості. Стале управління енергетичними ресурсами все ще стикається зі значними політичними, економічними, соціальними, технологічними, екологічними та правовими кутами, та вимагає структурних перетворень. Споживання енергії та відповідний тиск на навколишнє середовище та клімат супроводжується багатьма нестійкими практиками, які людство прийняло в минулому, які все ще присутні в енергетичній системі. Глобальна урбанізація сприяла соціальній трансформації та економічному переходу, сильно пов'язаному зі збільшенням споживання ресурсів, ефектом теплового острова та погіршенням навколишнього середовища в міських районах. Основною екологічною проблемою є відходи, як неминучий результат нашого суспільства. Відходи є проблемою, яка буде загострюватися, оскільки явище урбанізації посилюється, рівень доходів населення зростає, а економічна модель орієнтована на споживача. Прогнози щодо утворення загального обсягу відходів у всьому світі свідчать про зростання темпів. Прогнозується, що утворення відходів зросте з майже 2 мільярдів метричних тонн, оцінених у 2016 році, до приблизно 4 мільярдів метричних тонн до 2050 року [1]. Таким чином, стале управління цими величезними обсягами відходів є одним із найважливіших викликів для наступних поколінь.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питання, пов'язані з розробкою нових, сучасних та ефективних механізмів та методів управління і поводження з відходами є нагальними у сьогоденні, чим і обумовлена досліджен-

нями в цій галузі великої кількості науковців. Дана проблематика висвітлена наукових працях Стройко Т.В., Ланецький А.А., Кишківська О.Л., Терлецька А.М., Корнелюк О., Левицький С., Замлинський В.А., Осик С.В., Замлинський Я.В., Нижниченко Я.Є., Погребенник В.Д., Коваль І.І., Джумеля Е.А., Vadivala M., Vagnani M., Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М., Матвєєва Ю., Росохата А., Коваленко Є., Гавриленко О. [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

**Виклад основного матеріалу.** З огляду на те, що більше 50% населення планети живе сьогодні в міських агломераціях, а урбанізація є безперервним процесом, необхідність переходів у секторах енергетики та відходів є більш ніж необхідною. Цей перехід пов'язаний із усім спектром циркулярної економіки, декарбонізацією енергетики, кліматичними змінами та сталим розвитком. Взаємодія між технологічними рішеннями для управління як відходами, так і ланцюгами постачання енергії є багатосторонньою та може значно відрізнитися залежно від багатьох критеріїв і різних характеристик. Стратегічні питання ланцюга енергопостачання, пов'язані з проектуванням та оптимальною конфігурацією, є вирішальними.

Перетворення відходів в енергію (waste-to-energy, WtE) – це процес утилізації відходів шляхом їх перетворення на електроенергію, тепло або паливо за допомогою різних технологій. Цей підхід знижує зменшення обсяги захоронення відходів, забезпечує зменшує рівень забруднення довкілля та забезпечує альтернативне джерело енергії, що відповідає принципам циркулярної економіки. Основними методами такого перетворення є:

- спалювання з рекуперацією енергії;
- піроліз;
- газифікація;
- анаеробне зброджування.

В першу чергу для успішного поводження з відходами необхідно переглянути саму систему управління відходами, яка потребує кардинальних змін відповідно до цілей сталого розвитку. На рисунку 1 представлена сучасна схема системи управління відходами, яка дозволить більш раціонально підійти до проблеми відходів.

Головною особливістю інтелектуальної стратегії управління WtE є дотримання ієрархії [11], яка описує переважний курс дій для ланцюжка поставок. Основними напрямками серед іншого має бути те, що захоронення сміттєзвалищ пов'язане з критичним навантаженням на навколишнє середовище має бути мінімізоване, а переробка повинна мати сильну мотивацію в місцевих громадах і проводитися максимально організовано, а відновлення енергії має бути максимально збільшено з відходів. На рисунку 2 представлена стратегія управління відходами на базі трьох стовпів.

Компонент взаємодії між трьома стовпами є основним чинником «розумної» стратегії управління WtE. Поток антропогенних відходів направ-



Рис. 1. Система управління відходами [10]

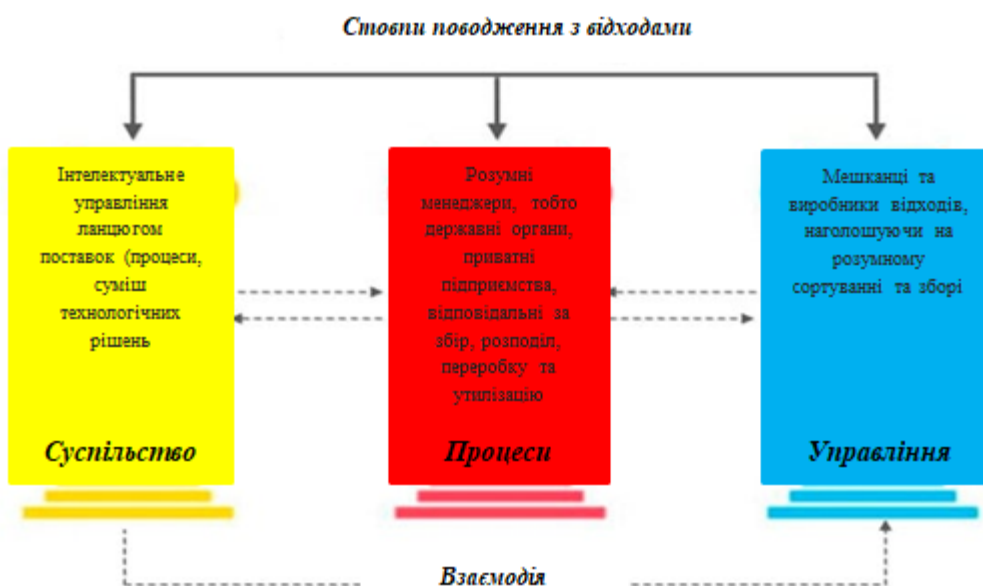


Рис. 2. Стовпи для стратегії управління відходами в енергію (WtE)

ляються через численні доступні технологічні рішення (наприклад, переробка, компостування, спалювання, анаеробне зброджування, газифікація, піроліз, захоронення) і перетворюються на придатні для використання носії енергії, органічні добрива, багаті поживними речовинами, і, загалом, інноваційні матеріали. Характерним прикладом є виробництво біопалива (біогазу або синтез-газу), основного «транспортного засобу» відновлення енергії з потоків біовідходів [12]. Стовп управління ланцюгом

постачання WtE (рис. 2) підтримує фундаментальні зміни в енергетичному секторі шляхом максимального повторного впровадження відходів як корисного ресурсу в ланцюг постачання енергії. Цього можна успішно досягти в рамках моделі чотирьох спіралей WtE (рис. 3).

Моделю чотирьох спіралей охоплює основні рушійні сили цього фундаментального переходу і є основою для прийняття оптимального поєднання технологічних рішень, прийнятих у інтелектуаль-



Рис. 3. Модель чотирьох спіралей WtE

ному ланцюжку постачання WtE. Спіраль включає в себе технологічні, економічні, соціально-політичні, екологічні та правові аспекти. Вони характеризуються сильними кореляціями, і розглядати їх у цілісній та інтегрованій манері є більш ніж обов'язковим. Основні рушійні сили для максимізації взаємодії між виробництвом енергії та управлінням відходами такі: захист відходів і енергії в оптимізованому ланцюжку постачання, захист навколишнього середовища та клімату, зміцнення конкурентоспроможності енергетичного ринку за допомогою економічно ефективних технологічних рішень, прагнення до соціальної участі та взаємодії.

Адекватність і переваги кожного технологічного рішення повинні бути прийняті до уваги для підтримки рішень щодо обробки, враховуючи тип відходів, їх теплотворну здатність, місцеві умови та характеристики. Тим не менш, надлишок або відпрацьовані матеріали, які раніше вважалися відходами, повинні забезпечувати безперервний потік енергії, також маючи на увазі, що установки WtE працюють у безперервному потоці [13].

Захист навколишнього середовища та пом'якшення наслідків зміни клімату також є основною характеристикою чотириспіральної моделі WtE.

Інтелектуальне керування ланцюгом постачання WtE показано на рисунку 4. Він визначається як розумна мережа мешканців, виробників відходів, сортувальників, збирачів і розповсюджувачів конкретних процесів, які займаються різними видами діяльності. Крім мешканців, які виробляють у домашньому масштабі, виробників відходів можна в основному класифікувати за категоріями типів відходів, тобто, сільськогосподарські (від фермерів), оператори об'єктів з муніципальних служб та професіонали з подібних секторів, наприклад лісове господарство, комерційні, медичні та медичні послуги, промислові та будівельні компанії. Весь спектр ланцюжкових заходів охоплює від збору до остаточної утилізації неоднорідної суміші відходів, що походять від різних продуктів/послуг. Як приватні, так і державні учасники дотримуються поетапної систематичної процедури, де послідовним пріоритетом є переосмислення, перепроєктування, запобігання, мінімізація, скорочення, повторне використання та переробка.

Інтелектуальний ланцюг постачання WtE повинен задовольняти різні екологічні, економічні, соціально-політичні, технологічні та законодавчі фактори. Само собою зрозуміло, що відходи є продуктом





Рис. 4. Інтелектуальне управління ланцюгом поставок WtE

суспільства зі значними соціальними та політичними вимірами, як це чітко демонструють відповідні багатокритеріальні підходи в багатьох регіонах світу. Необхідно враховувати специфічні характеристики на національному, регіональному та місцевому рівнях за умови, що вони мають різний вплив на процес генерації.

Інтелектуальний ланцюг поставок повинен враховувати динамічний характер зростання населення, рівень урбанізації, місцевий клімат, економічні аспекти та показники (наприклад, ВВП), звичайний спосіб життя та сезонність (наприклад, утворення відходів у туристичній зоні, пов'язане з високим рівнем сезонного споживання). Враховуючи відмінності в демографії, моделях поведінки, кліматологічних параметрах, економічних і культурних характеристиках, а також національних енергетичних системах між різними спільнотами, умови утворення відходів також сильно відрізняються. Економічний статус території відіграє вирішальну роль у кількості утворених відходів. Беручи до уваги різноманітність секторів утилізації відходів на міжнародному рівні, можна зробити подібні зауваження щодо глобальних відмінностей у ланцюгу постачання енергії. Наприклад, різні кліматичні параметри пов'язані з різними потребами в енергії з точки зору охолодження або опалення. Посилення економічного розвитку вимагає підвищення попиту на енергію (електроенергію для промисловості, паливо для транспорту, опалення приміщень тощо). Зростання населення та зростання попиту на транспорт збільшують попит на паливо.

**Висновки.** Сектор поводження з відходами стикається з багатьма питаннями, на які неможливо відповісти самостійно. Тим не менш, енергетичний сектор є ідеальним партнером через його необхідність постійно задовольняти зростаючий попит у ланцюзі постачання енергії. Технологія WtE може одночасно вирішувати дві фундаментальні проблеми: переробку потоків відходів, що не підлягають повторному використанню та переробці, і виробництво значної кількості енергії у відповідному ланцюжку поставок для задоволення зростаючих потреб по всьому світу. У відповідь на зростаючу стурбованість екологічними проблемами, пов'язаними з відходами, сектор утилізації відходів повинен перейти до «інтелектуального» у своєму ланцюзі постачання, щоб врахувати його вплив з точки зору погіршення навколишнього середовища та зміни клімату та прийняти ініціативи для зменшення цього впливу. Шлях ІКТ до реалізації концепції підходу проміжного шляху має вирішальне значення. ІКТ формують основу для розширення можливостей мешканців і мотивації професіоналів приєднуватися до більш екологічно чистих моделей поведінки з метою максимізації ефективності використання ресурсів. Існує нагальна потреба спрямувати зусилля суспільства на економіку замкнутого циклу, декарбонізацію та сталість. Максимізація ефективності використання відходів тісно пов'язана з оптимальним управлінням енергетичними ресурсами з метою створення сталої енергетичної системи для найбільшої суспільної вигоди, а також життєво важлива проблема для сталого розвитку.

#### Література

1. UN/The Sustainable Development Goals Report 2019 URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf>.
2. Стройко Т.В., Ланецький А.А., Кишковська О.Л., Терлецька А.М. Інноваційні аспекти переробки відходів в контексті сталого розвитку регіонів України. Вісник ХНАУ. Серія : Економічні науки. 2020. № 4. Т1. С. 300-311.



3. Корнелюк О., Левицький С. Економіка замкненого циклу та стратегії управління відходами. Наукові інновації та передові технології. Серія «Економіка». 2023. № 14(28). С. 679-691. DOI : [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14\(28\)-679-691](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14(28)-679-691)
4. Замлинський В. А., Осик С. В., Замлинський Я. В. Циркулярна економіка в контексті перспектив конкурентоспроможності України. *Economic Bulletin of the Black Sea Littoral*. 2023, Issue 4. Р. 28-43.
5. Нижниченко Я. Є. Світові тенденції управління відходами та аналіз ситуації в Україні. *Актуальні питання економічних наук*, 2024, (5). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14187042>
6. Погребенник В.Д., Коваль І.І., Джумеля Е.А. Тенденції розвитку методів і систем управління відходами. Науковий вісник НЛТУ України, 2019. 29(1), с. 78–82. <https://doi.org/10.15421/40290117>
7. Vadivala M., Vagnani M. Integrated solid waste management based on 3R's/ *International journal of advanced research in engineering, science and management (UJARESM)*, 2015. Рр. 1-6.
8. Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М Системний підхід управління відходами об'єднаних територіальних громад. *Екологічні науки*, 2022. № 4(43), с. 181-184.
9. Матвеева Ю., Росохата А., Коваленко Є., Гавриленко О. (2023). Сутнісно-змістовна основа та особливості освоєння сучасних технологій в розрізі поняття «енергія-із-сміття». *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, (3 (95), 67-75. <https://doi.org/10.32782/bsnau.2023.3.11>
10. Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник / *Барінов М.О., Олексієвець І.Л., Родная Д.В., Журавель Т.В., Коломієць С.В., Козлова І. А., Пархоменко Г.П.* – К.: «Поліграф плюс», 2021. – 118 с.
11. European Commission. *Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework Directive)*; Official Journal of the European Union: Strasbourg, France, 2008
12. Vlachokostas, C.; Achillas, C.; Agnantiaris, I.; Michailidou, A.; Pallas, C.; Feleki, E.; Moussiopoulos, N. Decision Support System to Implement Units of Alternative Biowaste Treatment for Producing Bioenergy and Boosting Local Bioeconomy. *Energies* 2020, *13*, 2306.
13. International Solid Waste Association. Guidelines: Waste-to-Energy in Low- and Middle-Income Countries. 2013. Available online: <https://www.iswa.org/media/publications/knowledge-base>

## ДО ПИТАНЬ УТИЛІЗАЦІЇ РІЗДВЯНИХ ЯЛИНОК

Чернишенко Г.О.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
вул. Іоанна Павла II, 17, 01042, м. Київ  
[anna.pavl.cher@gmail.com](mailto:anna.pavl.cher@gmail.com)

Стаття присвячена актуальній та маловисвітленій проблемі раціонального використання хвойних дерев, що використовуються під час різдвяних та новорічних свят.

На початку кожного року в світі викидається на смітники велика кількість специфічних відходів – молоді хвойні дерева або окремі їх гілки, які в грудні попереднього року були вирублені і привезені на різдвяні базари, а протягом зимових свят прикрашали будинки, оселі та громадські заклади. Давня традиція встановлювати в оселі та прикрашати деревця на Різдво призводить до вирубування цих дерев (в першу чергу ялин та сосен) і вилучення із природного середовища у великій кількості. Це окрема проблема, що стосується охорони природи та збереження біорізноманіття. Інша проблема пов'язана з утилізацією відходів хвойних дерев. Оскільки використані ялинки та сосенки являють собою цінний біоресурс, який після переробки можна використовувати у сільському господарстві (компост, мульча), побуті (вироби з деревини), як паливо, корм для тварин, компонент ландшафтного дизайну тощо.

Важливою складовою ефективного використання цього ресурсу є забезпечення організованого своєчасного відокремлення від інших відходів та вивозу використаних хвойних дерев для подальшої утилізації. У містах цим займаються муніципальні або приватні підприємства. Домашні господарства також можуть переробляти та використовувати різдвяні ялинки, особливо приватні будинки у сільській місцевості. Щодо деяких варіантів використання, краще відокремлювати утилізацію ялинок, що прикрашалися, та нерозпроданих дерев.

Максимально ефективна екологічна утилізація використаних ялин та сосен разом із відтворенням їх популяцій, висадженням нових плантацій суттєво послаблює збитки природному середовищу через регулярне щорічне вирубування великої кількості хвойних дерев напередодні різдвяних свят. *Ключові слова:* різдвяні ялинки, біовідходи, сортування, утилізація, хвойні дерева, компост, деревина.

### On the disposal of christmas trees. Chernyshenko A.

The article is devoted to the actual and little-observed problem of the rational use of coniferous trees used during the Christmas and New Year holidays.

At the beginning of every year a large amount of specific waste is thrown into dumps around the world – young conifers or their separate branches, which were cut down in December of the previous year and brought to Christmas markets, and decorated houses, homes and public establishments during the winter holidays. The long-standing tradition of setting up and decorating trees for Christmas leads to the cutting down of these trees (primarily firs and pines) and their removal from the natural environment in large amounts. This is a separate problem that concerns the protection of nature and biodiversity. Another problem is related to the utilisation of coniferous waste. Used firs and pines are a valuable bioresource that can be used in agriculture (compost, mulch), households (wood products), as fuel, animal feed, landscape design components, etc. after processing.

An important factor in the efficient use of this resource is ensuring organised, timely separation from other waste and removal of used conifers for further recycling. In cities, this is done by municipal or private enterprises. Households can also recycle and reuse Christmas trees, especially private households in rural areas. For some use cases, it is better to separate the disposal of decorated trees from unsold trees.

The most efficient and environmentally friendly recycling of used fir and pine trees, together with the reproduction of their populations and the planting of new plantations, significantly reduces the damage to the natural environment caused by the regular annual cutting of large numbers of conifers in the run-up to the Christmas holidays. *Key words:* Christmas-trees, biowaste, sorting, recycling, conifers, compost, wood.

**Постановка проблеми.** Відповідно до Закону України «Про відходи» з 1 січня 2018 року в Україні заборонено захоронення неперероблених (необроблених) побутових відходів (з 2023 р. прийнято нову редакцію – Закон «Про управління відходами»). Закон також передбачає «сприяння максимально можливій утилізації відходів шляхом прямого повторного чи альтернативного використання ресурсно-цінних відходів» [1, 2].

Сортування та подальшу переробку відходів в Європі практикують ще у 90-х рр. XX ст. Способи роздільного збору твердих побутових відходів в різних країнах мають певні відмінності в залежності від місцевих умов.

Директива ЄС про відходи визначає роздільний збір, як мінімум, чотирьох фракцій твердих комунальних відходів – скла, паперу, металу і пластика – в 4 контейнери різного кольору. Біовідходи також збираються, як правило, окремо у контейнери коричневого кольору [3].

Протягом короткого періоду в середині зими в Україні та в багатьох інших країнах світу значну долю твердих побутових відходів, що масово викидаються населенням та потребують утилізації, складають висохлі ялинки та сосни, їх гілки та хвоя. Пов'язано це із культурними та релігійними традиціями.

Хвойні породи дерев, зазвичай, ялину чи сосну використовують в якості символу Різдва та Нового

року. Древа вилучають із природного середовища, встановлюють в оселях та закладах, прикрашають. А після свят їх треба утилізувати. Крім турботи про навколишнє середовище, утилізація дерев також сприяє запобіганню пожежам. Засохлі ялинки можуть стати осередком займання, особливо якщо їх залишити поблизу джерел тепла [4].

Якщо розглядати використані хвойні дерева як окремий клас відходів, то слід враховувати такі їх особливості:

1. Вони відносяться до класу рослинних біовідходів.
2. Мають великі габарити, через що їх не можна викинути у звичайний контейнер. Габарити викинутих ялинок також зумовлюють певні складнощі щодо їх транспортування.
3. Виражена сезонність появи відходів.

У європейських країнах закінчення різдвяно-новорічних свят, після чого ялинки масово викидаються, припадає на І-шу половину січня, після Дня трьох волхвів 6 січня (аналог нашого Богоявлення). В Україні ялинки починають викидати десь з 2-ої половини січня. В окремих випадках цей процес може затягнутися аж до весни, що навіть є темою численних анекдотів ще з радянських часів. Перед цим є короткий період, коли масової утилізації потребують нерозпродані ялинки (після 24 грудня у Європі та після 1 січня в Україні). Але основну частину року – весна, літо, осінь і аж до кінця грудня ялинки масово не викидаються і, відповідно, немає проблеми їх утилізації.

**Актуальність дослідження** полягає в тому, що воно стосується таких важливих проблем як збереження біорізноманіття, зокрема видів хвойних дерев, пошуку ефективних шляхів утилізації відходів, підвищення екологічної обізнаності населення.

**Методологічне значення публікації** полягає у висвітленні проблематики щодо раціональної утилізації окремого типу відходів – дерев хвойних порід, що використовуються під час різдвяних та новорічних свят. Її можна взяти за основу для подальших досліджень в цій тематиці. Також дана робота має екологічно-просвітницьке значення, оскільки ставить за мету підвищення екологічної свідомості громадян та усвідомлення відповідального споживання.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** У сукупності саме такі роботи, де висвітлюються питання збору й утилізації окремих видів побутових відходів, є базою для дослідження загальних проблем управління відходами, зокрема, розвитку безвідходного виробництва та споживання, впровадження сучасних технологій, що оптимізують процеси збору, переробки та утилізації відходів у глобальному масштабі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема утилізації відходів із використаних хвойних дерев та гілок після зимових свят не вивчалася детально в науковій літературі. Автор проаналізував

публіцистичні статті, інтерв'ю та огляди останніх років в українських [5-8] та зарубіжних виданнях [4, 9-11] за даною тематикою, а також розглянув окремі науково-методичні праці, що стосуються загальних питань управління відходами та безвідходного виробництва та сільського господарства [3, 12].

**Новизна публікації:** вперше на науковому рівні розглянуто методи збору, сортування, утилізації використаних різдвяних дерев як відходів в Україні та у європейських країнах, проаналізовано напрямки їх утилізації та сфери використання, надано відповідні рекомендації з точки зору дбайливого ставлення до природних ресурсів та ефективного їх використання.

**Викладення основного матеріалу.**

**Централізований збір відходів хвойних дерев.**

Десь з другої половини листопада в багатьох країнах світу відкриваються ялинкові базари. Наприклад у Німеччині щороку купують близько 29 мільйонів різдвяних ялинок (див. рис 1-2) [9]. Якщо це не ялинки в горщиках або штучні ялинки із пластику, їх необхідно по закінченні свят утилізувати.

Проблема організованого вивозу та утилізації великої кількості відходів хвойних дерев постає і у нас, і в європейських країнах. Але в Україні в багатьох громадах, особливо невеликих міст, її вирішують просто шляхом скидання в несанкціоновані місця, вивезення на звалища або спалення. А це не можна вважати доцільним та раціональним. Оскільки використані ялинки являють собою цінний ресурс, з якого можна отримати багато користі. Проте в багатьох містах утилізація відходів хвойних дерев проводиться достатньо ефективно.

Так у Харкові для збирання і утилізації відходів було створено Комунальне підприємство «Комплекс з вивозу побутових відходів». У другій половині січня роботи цьому підприємству додається через масову утилізацію новорічних ялинок. Їх забирають від смітєвих контейнерів у міських дворах і везуть у спеціальні пункти (див. рис. 3). Для вивезення ялинок використовують сміттєвози, самоскиди, бункеровози. У мікрорайонах працюють мобільні бригади, які звозять ялинки на місця складування, де за допомогою дробарок проводиться їх переробка. На початку 2021 року було організовано три пункти утилізації ялинок в Індустріальному, Слобідському та Немишлянському районах міста [5].

У європейських країнах вивіз та утилізація використаних хвойних дерев відбувається за подібними схемами. В цьому приймають участь і муніципальні служби і приватні підприємства. Так в Британії та Ірландії муніципалітети пропонують програми збору ялинок, де їх можна зібрати та переробити спеціалізованими службами. У період з 2 по 16 січня відкриті спеціальні пункти збору ялинок для їх переробки [4].

Детальніше розглянемо європейський досвід збору використаних ялинок на прикладі Німеччини. У першій половині січня по всій країні проводиться



Рис. 1-2. Продаж різдвяних ялинок у Німеччині, грудень 2024 р.



Рис. 3. Збір та утилізація ялинок в м. Харкові, січень 2021 р.

збір різдвяних ялинок. Мешканці міст виносять використані ялинки (звичайно очищені від мішури, гачків для кульок або штучного снігу) з осель і складають прямо на вулиці. Найчастіше кілька різдвяних ялинок розміщуються разом на узбіччі дороги на добре видному місці (див. рис. 4-5). Компанії з вивезення сміття встановлюють дату, коли різдвяні ялинки будуть безкоштовно забрані муніципальною службою прибирання відповідного регіону і розміщують інформацію на веб-сайті. (наприклад, в першу суботу після 6 січня). Різдвяні ялинки слід ставити на узбіччі тільки ввечері напередодні збору, оскільки викинуті задовго до збору,

вони можуть бути розкидані вітром, що ускладнює рух транспорту і становить небезпеку для учасників дорожнього руху. Збирають дерева в означений день вранці.

Головне, вчасно виставити ялинку для централізованого збору. До або після дати збору, можна безоплатно здати свою ялинку, тільки особисто привізши її в центр переробки [9].

Незаконна утилізація ялинок може коштувати чималі гроші. Як показано в табл. 1, залежно від федеральної землі за викидання ялинок у лісі або в непризначених для цього місцях передбачено штраф до кількох сотень євро [10].

У деяких містах можливо викидати ялинки в контейнери для органічних відходів або сміттеві баки, або залишати їх поруч із відповідними контейнерами. Але як правило, викидати різдвяну ялинку разом з органічними відходами не дозволяється, оскільки стовбури та гілки не підходять для ферментації на біогазових установках, куди зазвичай потрапляють органічні відходи. У сільській місцевості жителі самостійно відвозять різдвяні ялинки до найближчого центру переробки [9].

Збирання та вивезення твердих побутових відходів з території населених пунктів на звалища чи сміттєпереробні підприємства здійснюється спеціальними автомобілями – сміттєвозами.



Рис. 4-5. Виставлені для утилізації ялинки на вулицях німецького міста, початок січня 2024 р.

**Розмір штрафу за незаконне викидання різдвяних ялинок  
у непризначених місцях в різних регіонах Німеччини**

| Федеральна земля         | Штраф за одну ялинку | Штраф за 2 та більше ялинок |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Баден-Вюртенберг         | 25 – 50 €            | 50 – 300 €                  |
| Баварія                  | 50 €                 | 80 – 320 €                  |
| Берлін                   | немає                | немає                       |
| Бранденбург              | немає                | немає                       |
| Бремен                   | 50 – 100 €           | 100 – 500 €                 |
| Гамбург                  | 100 €                | 100 – 500 €                 |
| Гессен                   | 30 – 50 €            | 50 – 200 €                  |
| Мекленбург-Поморанія     | 40 – 100 €           | 100 – 500 €                 |
| Нижня Саксонія           | 40 – 100 €           | 100 – 500 €                 |
| Північний Рейн-Вестфалія | 5 – 30 €             | 50 – 200 €                  |
| Рейланд-Пфальц           | 25 – 50 €            | 50 – 305 €                  |
| Саарланд                 | 100 – 300 €          | 100 – 500 €                 |
| Саксонія                 | 25 – 50 €            | 50 – 200 €                  |
| Саксонія-Анхальт         | немає                | немає                       |
| Шлезвіг-Гольштейн        | 30 €                 | 50 – 200 €                  |
| Тюрінгія                 | 30 – 50 €            | 50 – 20                     |



*Рис. 6-7. Муніципальний збір деревних відходів за допомогою мобільного прес-компактора та спецтранспорта, Західна Німеччина, 2024 р.*

При складуванні і транспортуванні будь-яких відходів дуже важливою їх характеристикою виявляється їх щільність, компактність. У деяких випадках зменшити об'єм відходів шляхом ущільнення необхідно безпосередньо на місці їх збору, для чого у розвинених країнах використовують мобільні прес – компактори, наприклад на рис. 6-7. Сучасні мобільні прес – компактори можуть суміщатися з різними типами вантажних і транспортувальних пристроїв.

Для ущільнення деяких типів відходів, зокрема, деревини доцільно застосовувати шнекові прес – компактори, які не тільки ущільнюють, але і додатково подрібнюють відходи перед переміщенням у контейнер. Це дозволяє значно збільшити щільність спресованої маси. Продуктивність підвищується на 20...50% [3].

Важливим аспектом є підвищення обізнаності громадськості про необхідність правильної утилізації та можливості вторинного використання ялинок. Цього можна досягти за допомогою інформаційних кампаній, залучення громадськості та підтримки місцевих ініціатив [4].

#### **Утилізація та використання відходів хвойних дерев.**

Спочатку слід зазначити, що з часом набуває популярності, особливо у приватному секторі, ідея прикрашати на свята ялинки, що ростуть на подвір'ї як об'єкт ландшафтного дизайну. Це поширено в європейських країнах, а останнім часом і у нас. Якщо ялинка має не порушене коріння, її можна пересадити. Багато міні-ялинок продають у горщиках. Після свят їх виймають та висаджують у дворі [11]. Використання живих дерев, що ростуть на подвір'ї

чи у горщику, є оптимальним варіантом, який знімає проблему їх подальшої утилізації.

За допомогою сучасних методів біоконверсії з біовідходів різного походження, у тому числі деревини, одержують різноманітну продукцію – високоякісне органічне добриво, білкові та вітамінні кормові добавки, альтернативні джерела енергії тощо.

Розглянемо детальніше, як можна переробляти та використовувати відходи з хвойних дерев.

**Компостування.** Органічні і харчові відходи: гній, тирса, опале листя, піддаючись природним процесам розкладання, перетворюються в компост (перегній). Компост є цінним органічним добривом для удобрення полів у сільському господарстві, в садівництві та в формуванні ландшафтів. Компост запобігає вимивання мінеральних речовин, утримує вологу, покращує аерацію ґрунтів, захищає рослини від впливу згубних ґрунтових мікроорганізмів [3].

Однією з сучасних екологічно чистих та високорентабельних біотехнологій є технологія вермикомпостування. Поживним субстратом для дощових черв'яків є різні органічні відходи рослинництва, тваринництва, побутові відходи, осади стічних вод. Метод вермикультивування дозволяє трансформувати різні відходи у повноцінний білок тваринного походження, придатний для використання у годівлі тварин та птахів, а також у зернистий біогумус [12].

Слід зазначити, що хвойні голки перегнивають дуже повільно, природний процес їхньої переробки може тривати до п'яти років. Щоб прискорити його, хвою краще укладати в компостну яму упереміш із листям та іншими рослинними відходами. Поки компост дозріває, його потрібно періодично перемішувати і зволожувати. Для цього підійде розчин будь-якого мікробіологічного добрива. Він допоможе прискорити процес розкладання органічної сировини. Так термін приготування перегною на основі хвої можна зменшити до двох років. Застосовувати компост слід тільки після його повного дозрівання.

**Мульчування.** Полягає в тому, що шар органічної речовини розміщується біля основи рослини, щоб забезпечити її поживними речовинами та ізолювати коріння. Це поширений метод захисту рослин від морозів. Хвоя також може бути використана для захисту рослин від заморозків, допоможе знищити бур'яни, а також утримати вологу [11]. Ялицева мульча – чудове добриво для рослин, які люблять кислий ґрунт. У країнах Західної Європи соснову або ялинкову хвою цінують як екологічно чистий засіб від слимаків, які в умовах м'якого вологого клімату проявляють цілорічну активність і є суттєвою проблемою для землеробів і садоводів. Німці, які мають придомові ділянки або дачі (т.зв. Kleingarten), зняту з гілок хвою зберігають в сухому місці, а навесні розкидають її навколо тих рослин, на які особливо люблять нападати слимаки на ділянці [10]. Під мульчею з хвої равликів і слимаків відлякують ефірні сполуки, що містяться в сосно-

вих і ялинових голках. Також в ній рідко виникає цвіль та інші грибки.

**Отримання альтернативних джерел енергії.** В приватних будинках, де є піч або камін, можна топити їх різдвяною ялинкою. Щоб під час горіння не утворювався небезпечний дим і сажа, деревина має бути повністю сухою, перш ніж вона потрапить у піч [10].

З деревини можна також отримувати паливні гранули (пелети) – тверде біопаливо у вигляді подрібнених відходів від деревообробки, а також сільськогосподарського виробництва, які спресовані під високим тиском у циліндричні гранули. Сировиною для виробництва пелет може слугувати різноманітний рослинний матеріал, зокрема, висушена деревина: тріски, залишки лісової деревини, обрізані гілки, стебла рослин, стружка від роботи деревообробних верстатів тощо. Перевагами пелет як палива є безпека та екологічна чистота (порівняно з мазутом та вугіллям), низький вміст золи, високий показник енергоконцентрації (висока щільність і майже відсутня волога) тобто висока енергетична цінність, зручність у транспортуванні.

Крім пелет відходи деревини використовують для виготовлення палива у вигляді брикетів. Брикетування є більш простим способом отримання біопалива, у порівнянні з виробництвом пелет. Основною сировиною для виробництва паливних брикетів є деревина (хвойні та листяні породи), торф, відходи рослинництва. Завдяки високому тиску при пресуванні, брикети по енергетичним властивостям є схожими на кам'яне вугілля. При горінні брикети не поширюють неприємного запаху, виділяють, порівняно з вугіллям, менше шкідливих речовин. Завдяки тривалому горінню (до 4 годин) брикети можуть ефективно використовуватися для опалення приватних помешкань, виробничих об'єктів (ферм, складських та промислових приміщень), а також в камінах [3].

На цей час головними імпортерами пелет у світі є країни Європейського союзу, а виробництво гранул сконцентроване передусім у країнах, багатих лісовими ресурсами, такими як США чи Канада. Лідерами з виготовлення пелет у Європі є Швеція (функціонує приблизно 30 заводів, які виробляють близько 900.000 т пелет за рік) та Фінляндія (200 тис. т пелет на рік).

Основні потенційні споживачі пелет та паливних брикетів на Україні – це приватні будинки, малі підприємства, школи, лікарні, передусім у сільській місцевості, багатоквартирні і малоповерхові будинки з автономним опаленням [3].

У Києві новорічні дерева, принесені до пунктів утилізації, комунальники з допомогою спеціального обладнання переробляють на щепу. Її в подальшому використовуватимуть на території столичних парків і скверів. Зокрема, такою мульчею підсипають лунки вічнозелених рослин, щоб корені не замерзли взимку і ґрунт не пересихав у спеку. Надлишки щепи вико-



ристовують для опалення об'єктів «Київзеленбуду», де встановлені твердопаливні котли. Усі ці процеси – замкнений цикл виробництва [6].

В Німеччині після збору ялинки зазвичай подрібнюють на тріску на електростанціях, що працюють на біомасі. Цю деревну тріску потім перетворюють на паливо для центрального опалення та отримання електроенергії або піддають подальшій переробці на заводах із виробництва компосту [9].

*Вироблення медичних, косметичних засобів, біодобавок.* Інгаляції з хвою сосни та смереки мають бактерицидний, протизапальний, розслаблюючий та відхаркувальний ефект під час застудних захворювань за рахунок високого вмісту фітонцидів та ефірних олій [10]. Гілочки з хвою можна застосовувати для ванн. Такі ванни сприяють зміцненню нервової системи, поліпшенню сну та імунітету, а також підвищують опірність організму інфекціям.

*Годування тварин у зоопарках, розплідниках і центрах розведення.* Такі тварини, як лані, кози, віслюки і коні, буквально обожають поїдати гілки місцевих ялин і смерек. Крім копитних, люблять ласувати зеленими гілочками слони і капібари. Різдвяні ялинки, які утилізуються як корм для тварин, мають бути необробленими, залишатися зеленими і досить соковитими. Багато міських зоопарків згодовують своїм мешканцям невикористані та свіжі ялинки, які залишилися з передріздвяного розпродажу [10].

Хвоя багата на вітамін С, каротин і корисні амінокислоти, тому багато тварин – як у природному середовищі існування, так і в зоопарках – люблять поласувати колючими гілочками. Новорічними ялинками звірі можуть користуватися до півроку.

У Харкові місцем, де із задоволенням приймуть хвойні дерева після свят, є Екопарк Фельдмана. Ті ялинки, які не продані, йдуть на корм тваринам, здебільшого копитним, а також на прикрасу вольєрів і збагачення середовища проживання. А старі ялинки, які прикрашали під час свят, як і дерева, які частково обсіпалися і підсохли, після подрібнення й перемелення використовуються як м'яка підстилка у вольєрах. Для копитних і гризунів гілки, багаті на ароматичні смоли, вітаміни та мікроелементи, – цінна харчова добавка. Хижаки, примати, птахи радіють новим відчуттям і запахам. Наприклад, великі котятчі точать кігті об кору, птахи використовують маленькі гілки та голки як будівельний матеріал. Примати люблять шукати ласощі, заховані серед гілок. Перш ніж привезти ялинку до екопарку, харків'ян просять зняти з неї сторонні предмети: залишки дошки, дроту та іграшок [7, 8].

Однак на початок 20-х років екопарк являв собою єдине місце в Харкові, куди можна здавати різдвяні ялинки, щоб вони отримали друге життя. Більше жодних пунктів прийому вживаних живих дерев від харків'ян у місті, по суті, і немає. Зокрема, у харківському зоопарку використані ялинки від мешканців не приймають через те, що

на них можуть бути залишки ялинкових іграшок, дошки, різних прикрас, штучного снігу, ароматизаторів тощо. Такі ялинки не годяться для збагачення середовища і для тварин не підходять. Інша справа – ялинки від реалізаторів, що не були розпродані. Такі у зоопарку приймають із задоволенням (див. рис. 8). У 2020 році від міста до зоопарку доправили близько 200 непроданих сосен, які згодовували вихованцям. Соснова хвоя є доповненням до основного раціону оленів, козуль і верблюдів. Слони з цікавістю ставляться до ялинок. Стружка і тирса йде на підстилку у вольєрах [7, 8].



Рис. 8. Використані ялинки у вольєрі слона в Харківському зоопарку [8]

#### Головні висновки

1. Як рослинні біовідходи, використані хвойні дерева являють собою природний ресурс, що не має сторонніх до біосфери компонентів, токсичних і стійких до розкладу. Утилізація цих відходів не пов'язана із суттєвою екологічною небезпекою та відповідними затратами, а навпаки, пропонує різні можливості та варіанти щодо вторинного використання.

2. Основні напрямки утилізації хвойних дерев: виготовлення компосту, мульчування, опалення приміщень, виготовлення пелетів і брекетів.

3. Сезонність утворення відходів з використаних хвойних дерев водночас і робить простішою їх утилізацію, і зумовлює певні складнощі.

4. Предмети, якими прикрашають різдвяні та новорічні дерева, можуть вироблятися як з природних так і з штучних матеріалів. Вони можуть містити екологічно небезпечні токсичні компоненти, викликати травми та пошкодження. Відповідно, виробництво екологічних та безпечних ялинкових іграшок та прикрас, у тому числі їстівних, є дуже перспективним напрямком, має розвиватися і пропонуватися.

5. Навіть найефективніше використання відходів хвойних дерев не знімає проблему їх вирубання у великій кількості перед сезоном зимових свят. Тому для збереження лісонасаджень необхідно в рамках екологічної просвіти населення пропонувати використовувати штучні різдвяні ялинки або купувати ялинки в горщиках, які після свят можна садити у ґрунт. Також необхідно регулярно висаджувати нові хвойні дерева.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Дану роботу можна використовувати при проведенні просвітницької діяльності, навчально-методичної роботи, розробці заходів з охорони хвойних дерев, а також на її основі проводити подальші дослідження щодо ефективної утилізації та повторного використання відходів деревини.

### Література

1. Закон України Про відходи. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 14.02.25)
2. Закон України Про управління відходами. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 14.02.25)
3. Утилізація та рекуперація відходів. Навчальний посібник / В.М. Кропивний, О.В. Медведева, А.В. Кропивна, О.В. Кузик // Загальна редакція В.М. Кропивного. – Кропивницький: ЦНТУ, Електронне видання, 2020. – с. 440. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/03aeba13-9fcb-443e-9e18-5d73a597a4f/content> (дата звернення: 30.04.24)
4. The Ecological Significance and Secondary Use of Christmas Trees After the New Year: New Year celebration with environmental responsibility and sustainable development. URL: <https://irishblogs.ie/serious-citizen/feed/secondary-use-of-christmas-trees> (дата звернення: 17.02.25)
5. У Харкові розповіли, що буде з викинутими на смітник ялинками. GX новинний портал 22 січня 2021 р. URL: <https://gx.net.ua/ru/obshchestvo/region/v-harkove-rasskazali-chto-budet-s-vybrosheymi-na-musorku-elkami-foto.html> (дата звернення: 25.02.24)
6. «Друге життя новорічних дерев»: скільки ялинок цього року здали на утилізацію в Києві. Суспільне новини. 2 лютого 2024 р. URL: <https://susplne.media/675686-drugye-zitta-novorichnih-derev-silki-alinok-cogoric-zdali-na-utilizaciu-v-kievi/> (дата звернення: 14.02.25)
7. Куди подіти використану ялинку. Вечірній Харків 15.01.2022 р. URL: <https://vecherniy.kharkov.ua/news/190360/> (дата звернення: 25.02.24)
8. Куди після свят подіти ялинку в Харкові. Kharkiv today. 3 січня 2020 р. URL: <https://2day.kh.ua/ru/news/kuda-posle-prazdnikov-det-elku-v-kharkove> (дата звернення: 12.02.25)
9. Weihnachtsbäume werden abgeholt. Die Weihnachtsbaumsammlung findet am 13. Januar 2024 statt. URL: <https://www.edg.de/de/aktuelles/news/news/kostenlose-weihnachtsshybaumsammlung.htm> (дата звернення: 10.02.2024)
10. Weihnachtsbaum entsorgen – so geht's nachhaltig! Energievoll. Umwelt & Region. URL: <https://www.badenova.de/blog/weihnachtsbaum-nachhaltig-entsorgen/#:~:text=Meistens%20werden%20Christb%C3%A4ume%20nach%20ihrer,umgewandelt%20oder%20in%20Kompostieranlagen%20weiterverarbeitet> (дата звернення: 10.02.2024)
11. How to reuse your Christmas tree – 5 innovative uses in your yard beyond the festive season. URL: <https://www.homesandgardens.com/gardens/how-to-reuse-your-Christmas-tree> (дата звернення: 17.02.25)
12. Зайцева В.Г., Нестеренко О.В., Чернишенко Г.О., Самохвалова А.І. Вермикультура, її значення у вирішенні екологічних проблем та поліпшенні умов сільського господарства // Науковий вісник будівництва. – 2020. – № 101 (3). – С. 222–228. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/issue/archive> (дата звернення: 14.02.25)



---

# ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ

---

УДК 504.3+355.4(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.55>

## ВПЛИВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЕКОСИСТЕМИ: ОЦІНКА ЗБИТКІВ ТА ШЛЯХИ ВІДНОВЛЕННЯ

Борисенко О.Б.<sup>1</sup>, Кривохижа Є.М.<sup>2</sup>, Чорноштан Т.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
майд. Свободи, 4, 61022, м. Харків

<sup>2</sup>Західноукраїнський національний університет  
вул. Львівська, 11, 46009, м. Тернопіль

<sup>3</sup>Яготинський інститут Приватного акціонерного товариства  
«Вищий навчальний заклад «Міжрегіональна Академія управління персоналом»  
вул. Поштова, 61, 07700, м. Яготин  
[ye.kryvokhyzha@ukr.net](mailto:ye.kryvokhyzha@ukr.net), [cornostangtamara@gmail.com](mailto:cornostangtamara@gmail.com)

У статті розглянуто наслідки військових конфліктів для екосистем України, з особливим фокусом на обсяги екологічних збитків, спричинених бойовими діями та діяльністю, пов'язаною з військовою технікою. Встановлено, що максимального руйнування зазнали екологічні зони на півночі та сході країни. В ході дослідження було виявлено, що військові дії спричинили як прямі пошкодження (зокрема, деградацію ґрунтів, руйнування рослинного покриву, загибель фауни), так і непрямі, як-от забруднення ґрунтів, води та повітря токсичними субстанціями, що призвело до довгострокових екологічних проблем. Виявлено, що понад 1,2 мільйона гектарів земель природно-заповідного фонду знаходяться у зонах з підвищеною небезпечкою забруднення вибухонебезпечними предметами, що ставить під загрозу можливість їх відновлення. Підкреслено важливість застосування передових геоінформаційних систем для точного оцінювання руйнувань та розроблення дієвих заходів щодо реабілітації екосистем. Сформульовано комплексний метод відновлення уражених територій, який включає демінування, рекультивування ґрунтів, висадження нових деревних насаджень, відновлення лісових масивів та відтворення гідрологічного режиму, спрямований на збереження водного балансу та біорізноманіття. Висловлено пропозицію залишити ушкоджені природні зони в межах їхнього існуючого заповідного статусу, якщо вони не втратили своєї природоохоронної цінності, а також додати до природно-заповідного фонду нові території після їх очищення. Зазначено, що для виконання запропонованих заходів знадобиться від двох до п'яти років, в залежності від ступеня ушкодження та обсягу робіт, але це має критичне значення для збереження екологічної стабільності та відновлення природних умов України після завершення бойових дій. Наголошено на необхідності використання міждисциплінарного підходу, що інтегрує екологічні, техногенні та соціально-економічні аспекти, для ефективної реабілітації постраждалих екосистем в умовах воєнної агресії. Стаття закладає фундамент для подальших досліджень з екологічної реконструкції та сталого розвитку природних територій країни. *Ключові слова:* військові дії, екологічні збитки, реабілітація екосистем, геоінформаційні системи, біорізноманіття, заповідні території.

**Impact of military actions on ecosystems: damage assessment and paths to recovery. Borysenko O., Kryvokhyzha Ye., Chornostan T.**

The article examines the consequences of military conflicts for the ecosystems of Ukraine, with a special focus on the volume of environmental damage caused by hostilities and activities related to military equipment. It was established that the most extensive destruction was suffered by ecological zones in the north and east of the country. The study revealed that military actions caused both direct damage (in particular, soil degradation, destruction of vegetation cover, death of fauna) and indirect damage, such as contamination of soil, water and air with toxic substances, which led to long-term environmental problems. It was found that more than 1.2 million hectares of nature reserve lands are located in areas with an increased risk of contamination by explosive objects, which jeopardizes the possibility of their restoration. The importance of using advanced geographic information systems for accurate assessment of damage and development of effective measures for ecosystem rehabilitation is emphasized. A comprehensive method for restoring affected areas has been formulated, which includes demining, soil reclamation, planting new tree plantations, restoring forests and recreating the hydrological regime, aimed at preserving the water balance and biodiversity. It is proposed to leave damaged natural areas within their existing protected status, if they have not lost their environmental value, and to add new areas to the nature reserve fund after their cleaning. It is noted that the implementation of the proposed measures will take from two to five years, depending on the degree of damage and the scope of work, but this is of critical importance for maintaining ecological stability and restoring natural conditions in Ukraine after the end of hostilities. The need to use an interdisciplinary approach that integrates ecological, technogenic and socio-economic aspects for the effective rehabilitation of damaged ecosystems in conditions of military aggression is emphasized. The article lays the foundation for further research on ecological reconstruction and sustainable development of the country's natural areas. *Key words:* military operations, ecological damage, ecosystem rehabilitation, geographic information systems, biodiversity, protected areas.

**Постановка проблеми.** Сучасні збройні конфлікти, зокрема повномасштабні військові дії, що тривають на території України, формують серйозні екологічні виклики, які мають комплексний вплив на всі сфери життя суспільства. Війна завдає значної шкоди природним екосистемам через руйнування їхньої структури, забруднення ґрунтів токсичними речовинами, знищення водних ресурсів, забруднення повітря і масове скорочення популяцій флори та фауни. Наслідки таких дій, що порушують екологічну рівновагу, залишаються відчутними протягом тривалого часу, створюючи додаткові загрози для природного середовища, сільськогосподарського виробництва, енергетичної безпеки, водопостачання та, що найважливіше, для здоров'я населення. У світлі необхідності післявоєнного відновлення країни особливої уваги набуває проблема розробки дієвих методик для оцінки збитків, завданих екосистемам, а також побудови ефективних стратегій, спрямованих на поступове відновлення природного середовища. Унікальність цієї проблеми полягає у складності врахування всіх аспектів, таких як тривалість військових дій, характер і масштаб використання зброї, регіональні особливості постраждалих територій, а також соціально-економічний контекст, який визначає можливості для відновлення.

**Актуальність дослідження.** Актуальність поточного дослідження визначається нагальною потребою у проведенні комплексної оцінки збитків, заподіяних екосистемам, створенні ефективних механізмів їх відновлення та розробці довгострокових стратегій екологічної безпеки, що утворює основу для сталих процесів екологічного відродження України, зміцнення її природоресурсного і економічного потенціалу, забезпечення сталого розвитку та підвищення рівня екологічної відповідальності.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження безпосередньо пов'язане з актуальними науковими завданнями екологічної науки, зокрема із вивченням впливу військових дій на природні екосистеми, що набуває особливого значення у контексті глобальної екологічної безпеки та сталого розвитку. Практична значущість цієї роботи полягає в обґрунтуванні способів оцінки екологічних збитків, створенні ефективних програм відновлення природного середовища та інтеграції цих підходів у державну політику подальшого післявоєнного відновлення України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найавантійші групи досліджень впливу бойових дій на природні екосистеми охоплюють цілу низку важливих напрямів, зокрема аналіз масштабів впливу військових дій на природні ресурси, вивчення процесів зниження біорізноманіття, забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами тощо. Як зазначають Войтюк Д., Гроза Д. [2], військові конфлікти залишають довготривалий негативний вплив на ліси,

які мають не лише екологічну, а й стратегічну функцію і такі результати є актуальними для України, де лісові території зазнали значних пошкоджень через бойові дії та замінування. Українські науковці, зокрема Корольова В., Даниль А. [4], Шевченко О., Пронь О., Чеботарьова І. [17], у своїх дослідженнях вказують на суттєві екологічні втрати, яких зазнали природоохоронні території країни. Вони наголошують, що об'єкти природно-заповідного фонду, розташовані у зонах активних бойових дій, стикаються як із прямими руйнуваннями природних ландшафтів, так і з опосередкованим забрудненням ґрунтів та вод токсичними речовинами, а також відзначають і програми проведення комплексної рекультивації та моніторингу для відновлення екологічного стану забруднених територій.

Окрему увагу в дослідженнях приділено проблемі змін гідрологічного режиму, що виникають унаслідок військових дій. Згідно із висновками від Нікітченко І., Прокопенко Н., Шведчикова І. [10], Цимбалюк К. [16], бойові дії викликають суттєве забруднення водних об'єктів, таких як річки та озера, що порушує їхній природний баланс. Науковці пропонують впроваджувати інноваційні методи гідрологічного відновлення, зокрема штучне обводнення висушених територій та постійний контроль за якістю води.

У свою чергу, Македон В. В., Байлова О. О. [7], Вест А. [20] акцентують пошуки на новій ролі сучасних цифрових технологій, у процесі аналізу змін екосистем та розробки заходів для їх відновлення. У своїй роботі вони підкреслюють, що міждисциплінарний підхід до оцінки екологічних збитків є необхідним для ефективного планування подальших відновлювальних заходів.

*Метою статті* є дослідження і оцінка впливу бойових дій на українські екосистеми, визначення розміру завданих екологічних втрат, а також розробка дієвих програм повоєнного відновлення навколишнього середовища.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У статті приділено увагу недостатньо дослідженим аспектам впливу активних військових дій на всі види екосистем, включаючи і довгострокові наслідки для біорізноманіття, механізми інтеграції оцінки збитків в екологічну політику, а також розробку практичних рекомендацій щодо очікуваного далі відновлення постраждалих територій з урахуванням специфіки регіонів та сучасних викликів екологічної безпеки.

**Новизна.** Дослідження у цьому напрямку є не лише засобом для ґрунтового аналізу наслідків війни для екосистем, але й важливим кроком для формування науково обґрунтованих рекомендацій, що сприятимуть зменшенню екологічних втрат, мінімізації ризиків майбутніх загроз і впровадженню дієвих заходів з реабілітації природного середовища. Розробка таких підходів має вирішальне значення не

лише для екологічної безпеки держави, але й для досягнення стратегічних цілей інтеграції України в європейський простір, де екологічні стандарти і принципи сталого розвитку є важливими критеріями взаємодії.

#### Методологічне або загальнонаукове значення.

Методологічне підґрунтя дослідження ґрунтується на всебічному аналізі наслідків військових дій для екосистем України з акцентом на комплексне вивчення техногенних впливів на природні екосистеми, і сам підхід дозволяє досліджувати як безпосередні, так і опосередковані наслідки бойових дій на природні ресурси. Аналіз охоплює вивчення наслідків фізичних руйнувань, таких як вирви від вибухів, зруйновані меліоративні системи, інфраструктурні утворення, створені для військових потреб, та техногенні об'єкти, що виникають на місцях бойових дій. Паралельно досліджуються опосередковані наслідки, включаючи забруднення ґрунтів і вод токсичними речовинами, втрату рослинного покриву, погіршення стану біорізноманіття та зміну екологічного балансу.

Оцінка територій, що зазнали пошкоджень, базується на геопросторовому аналізі із застосуванням сучасних технологій, таких як інтерактивні карти забруднених і замінованих зон, розроблені ДСНС України, що сформувало можливості визначення реальних масштабів екологічних втрат, виявити найбільш уразливі зони та окреслити пріоритетні заходи для їх подальшого відновлення.

**Виклад основного матеріалу.** Згідно з даними інтерактивної карти (рис. 1), загальна площа тимчасово окупованих територій України становить близько 110 тис. км<sup>2</sup>, що відповідає приблизно 18% від загальної площі країни на початок 2022 року. Враховуючи ці дані, можна припустити, що площа територій, які потенційно можуть зазнати негативного впливу внаслідок бойових дій, перевищує 25%. Цей показник стає ще вищим, якщо врахувати території, які, хоча й не перебували під окупацією, регулярно зазнають обстрілів або використовуються для створення оборонних укріплень, зокрема в прикордонних районах із білоруссю [1, 11].

Згідно зі звітом Оперативного управління з документування екологічних злочинів, на сьогодні в Україні вже постраждало понад 3 млн га екосистемного простору, що становить майже третину загального фонду країни. Значна частина цих екосистем втрачена назавжди через масштабні пошкодження або згорання, спричинені воєнними діями. Відновлення екосистем на територіях, які зазнали такого впливу, потребуватиме не менше 20–30 років, навіть за умови активної діяльності з рекультивації та насадження нових дерев. Однак загрози для українських екосистем не обмежуються лише втратами площ [12]. Найбільше від впливу бойових дій страждають ліси, розташовані у північних та східних регіонах України, таких як Київська, Чернігівська, Житомирська, Сумська, Харківська, Луганська та Донецька області. Окрім фізичних пошкоджень,

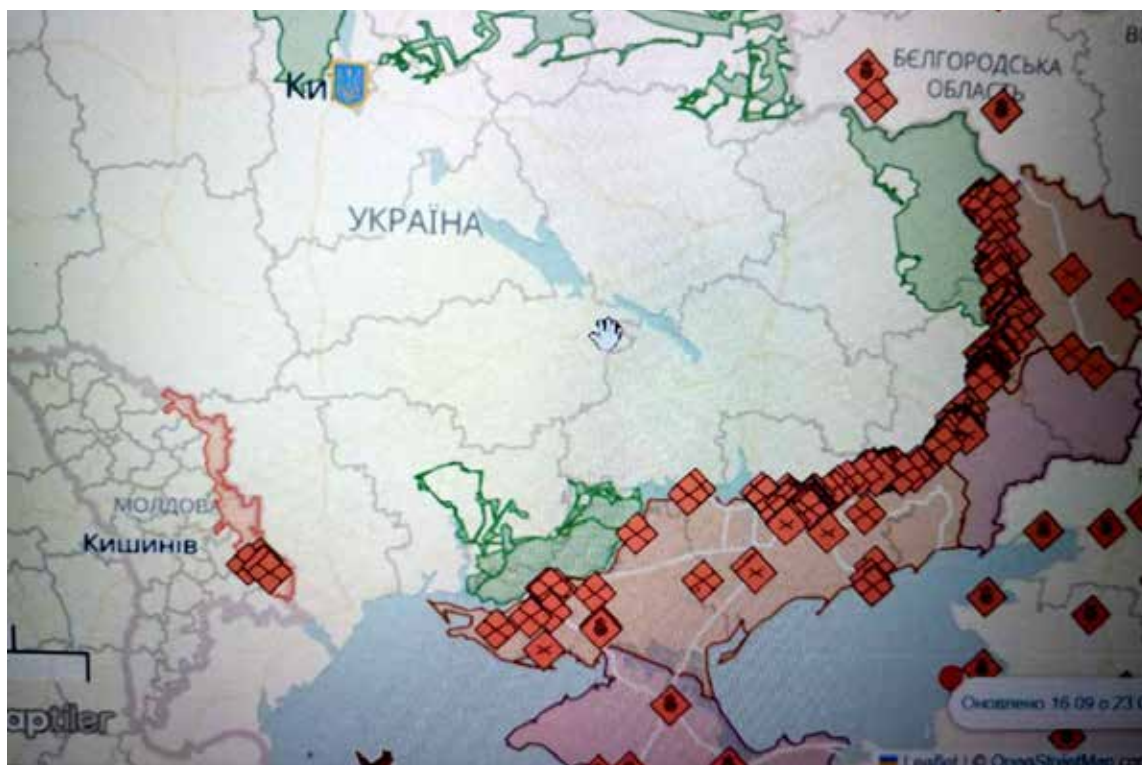


Рис. 1. Інтерактивна карта окупації території України та військового екосистем (вересень 2024 р.) [1]

ці регіони стикаються з екологічними наслідками, зокрема забрудненням ґрунтів, деградацією біорізноманіття та зміною природних процесів, що ускладнює можливості їх природного відновлення [11].

Унаслідок російської військової агресії серйозних збитків зазнали близько 800 об'єктів природно-заповідного фонду України загальною площею ~1,25 млн га. З них понад 500 територій, загальна площа яких становить 0,80 млн га, наразі перебувають під тимчасовою окупацією, що створює високий ризик їх деградації або повного знищення. Серед таких об'єктів – численні біосферні та природні заповідники, включно з Асканією-Новою, Чорноморським біосферним заповідником, Казантипським, Опускським і Карадазьким заповідниками, а також численні національні природні парки, такі як Великий Луг, Приазовський, Джарилгацький тощо. Ці унікальні території, які є важливими центрами збереження біорізноманіття, наразі перебувають під загрозою непоправних втрат [18].

Російські окупаційні війська використовують заповідні території саме для військових цілей, що призводить до їх цілеспрямованого руйнування. Зокрема, в Приазовському національному природному парку в Запорізькій області був облаштований військовий полігон, де обстріли й вибухи снарядів знищують природні ландшафти, рослинність і забруднюють ґрунти й водні ресурси. Такі дії руй-

нують здатність рослинності поглинати вуглекислий газ, що спричиняє збільшення концентрації парникових газів в атмосфері та, відповідно, сприяє глобальному потеплінню [6]. Крім того, руйнування верхнього шару ґрунту викликає ерозію, зменшує здатність ґрунтів утримувати вологу та провокує тривалі посухи, тоді як забруднення ґрунтів і вод токсичними речовинами створює довготривалі екологічні загрози (рис. 2) [15].

За даними ДП «Ліси України», найбільші площі замінованих екосистем зосереджені в Київській (>75 тис. га), Харківській (>42 тис. га), Донецькій (>13 тис. га) та Миколаївській (>10,5 тис. га) областях. Наявність вибухонебезпечних предметів не лише становить загрозу для місцевого населення, а й спричиняє деградацію екосистем.

У період активних бойових дій природні екосистеми України зазнають значного техногенного впливу, який посилюється використанням військової техніки та зброї, що спричиняє масштабне забруднення повітря, ґрунтів і вод небезпечними хімічними речовинами. Ці процеси руйнують природні умови існування багатьох видів, знижують біорізноманіття та негативно впливають на функціонування екосистем у цілому. Найбільша загроза природним територіям спостерігається у східних регіонах України, які постраждали найбільше від інтенсивних бойових дій (рис. 3).

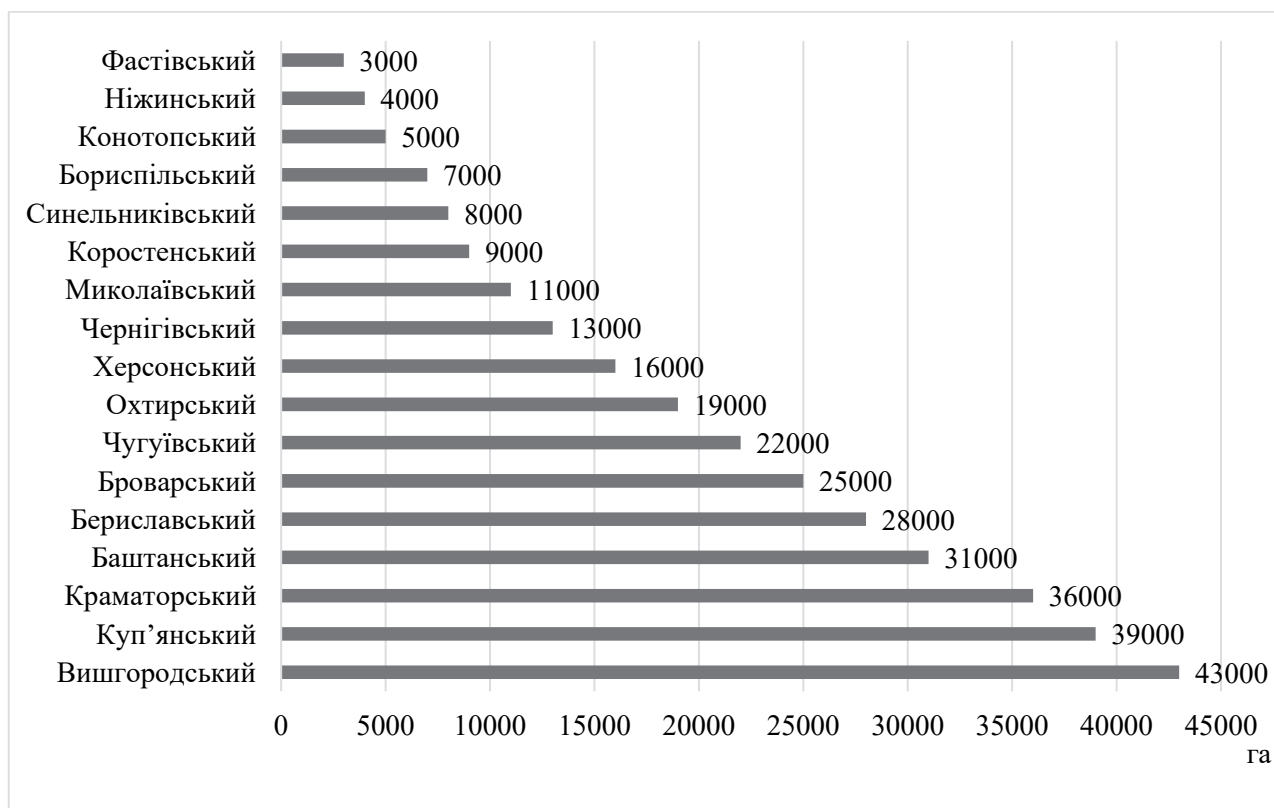


Рис. 2. Площа замінованих екосистем у межах адміністративних районів України внаслідок військових дій (вересень 2024 року) [11]

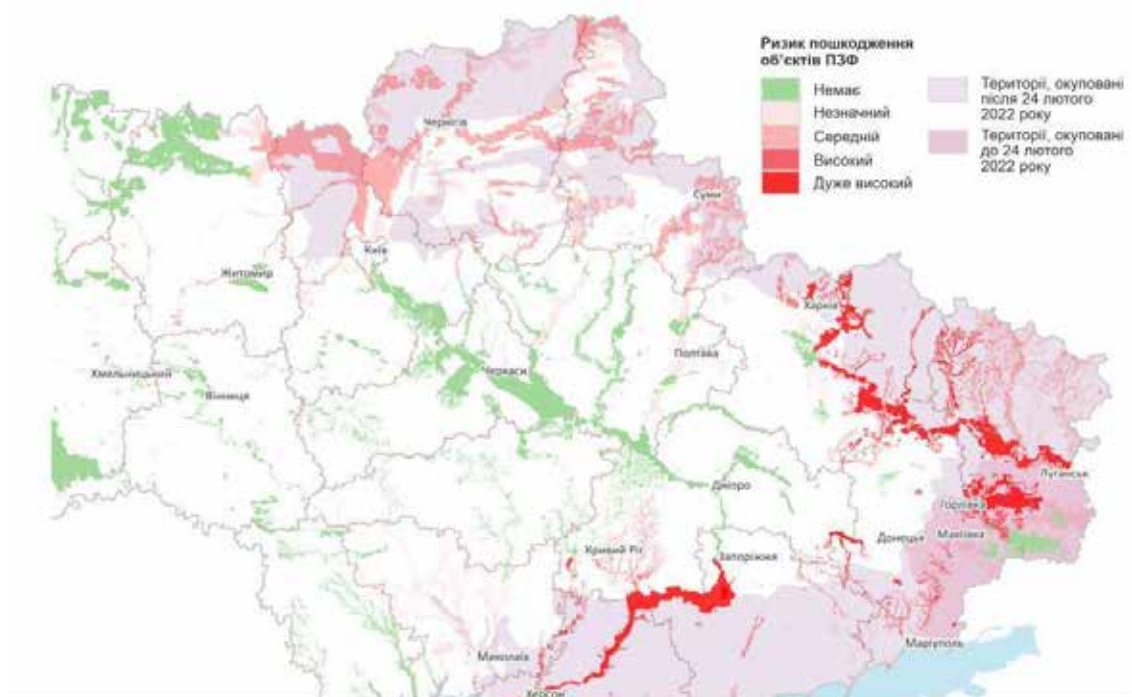


Рис. 3. Оцінка ризиків руйнування екосистем України в зонах ведення військових дій [8]

Для оцінки площі та кількості екосистем, що опинилися у зоні військових дій, було використано інтегративну карту, розроблену Сервісом протимінної діяльності ДСНС України, яка дозволяє визначати території, потенційно забруднені вибухонебезпечними предметами [5, с. 19]. Згідно з аналізом геопросторових даних, на окупованих територіях та у зонах активних бойових дій зафіксовано 1567 екосистем, які зазнали негативного впливу російської агресії, що становить 16,7% від загальної кількості екосистем у межах України (табл. 1). Потенційно забрудненими є близько 1,2 млн га земель природно-заповідного фонду, або 25,1% від усієї площі природоохоронних територій країни. Крім того, починаючи з 2014 року, 132 екосистеми залишається повністю або частково окупованим [14, 15].

Природні екосистеми України страждають як від прямого, так і опосередкованого впливу військових дій. Прямий вплив включає загибель рослинності, тварин та мікроорганізмів, руйнування родючого шару ґрунту, зміни мікрорельєфу та проникнення забруднюючих речовин. Наприклад, пряме попадання снарядів призводить до фізичного руйнування екосистем, винищення фауни та флори, а також пожеж, що спричиняють додатковий тепловий вплив і посилюють руйнівні наслідки для природного середовища (табл. 1) [3].

Руйнування екосистем в Україні відбувається через прямі та опосередковані наслідки військових дій. Прямі наслідки включають фізичне знищення рослинності та тваринного світу, порушення родючого шару ґрунту та деградацію ландшафтів.

Опосередковані наслідки, такі як забруднення повітря та води токсичними речовинами, створюють довготривалий вплив на екосистеми та їхню здатність до самовідновлення [19, с. 51]. Екологічні збитки, завдані військовими діями на екосистеми України, можна оцінити за допомогою такої формули:

$$\sum_{i=1}^n (T_i + N_i + I_i + C_i + O_i) \times m \quad (1)$$

де:

$T$  – витрати, необхідні для відновлення порушених природних територій;

$N$  – витрати, пов'язані з очищенням та відновленням природних ресурсів, які зазнали забруднення шкідливими речовинами;

$I$  – витрати на інфраструктурні роботи, такі як розмінування територій та рекультивация ґрунтів;

$C$  – витрати, які формуються для боротьби з хімічним забрудненням водних зон та інших територій, які постраждали через активні військові дії;

$O$  – витрати на очищення повітря та технічні заходи його подальшого забезпечення;

$i$  – кількість заходів;

$m$  – коефіцієнт зростання витрат.

Нами обґрунтовано ряд заходів відновлення екосистем України після припинення бойових дій (табл. 2).

Відновлення постраждалих екосистем потребує багаторівневого та довготривалого підходу. Першочерговим завданням є розмінування територій, що є складним і тривалим процесом. Наступним етапом стає оцінка стану ґрунтів для визначення



Таблиця 1

**Оцінка природних і екологічних показників екосистем України, постраждалих унаслідок військових дій та розташованих у межах небезпечних зон і тимчасово окупованих територій [9, 13]**

| Назва екосистемної одиниці               | Загальна площа екосистемних одиниць (га) | Оціночна кількість, шт. | Екосистеми в межах небезпечних зон |                | Екосистеми на окупованих територіях |                |
|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
|                                          |                                          |                         | Площа, га                          | Кількість, шт. | Площа, га                           | Кількість, шт. |
| Природний заповідник                     | 101835,8                                 | 10                      | 15616,7                            | 6              | 56952,5                             | 7              |
| Біосферний заповідник                    | 406479,7                                 | 3                       | 367638,7                           | 3              | -                                   | -              |
| Нац. природний парк                      | 447540,5                                 | 19                      | 297107,8                           | 17             | 15405,5                             | 3              |
| Регіональні ландшафтні паркові зони      | 246794,9                                 | 18                      | 138569,2                           | 17             | 92,4                                | 1              |
| Заказники                                | 576665,1                                 | 877                     | 361390,7                           | 813            | 123858,9                            | 67             |
| Заповідне урочище                        | 25115,2                                  | 113                     | 20487,5                            | 111            | 608,3                               | 2              |
| Пам'ятка природи                         | 10250,9                                  | 431                     | 7749,5                             | 385            | 2489,3                              | 46             |
| Ботанічний сад                           | 1248,5                                   | 5                       | 60,5                               | 2              | 1188                                | 2              |
| Дендрологічний парк                      | 446,6                                    | 7                       | 444,4                              | 7              | -                                   | -              |
| Зоологічний парк                         | 53,9                                     | 4                       | 49,5                               | 3              | -                                   | -              |
| Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва | 20790                                    | 84                      | 1355,20                            | 68             | 425,70                              | 15             |
| Разом:                                   | 1818510                                  | 1567                    | 1210470                            | 0              | 201020,6                            | 0              |

Таблиця 2

**Шляхи відновлення екосистем України після закінчення бойових дій**

| № | Захід                                                                    | Мета                                            | Відповідальні органи                                                                     | Орієнтовний термін виконання | Очікувані результати                                      |
|---|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1 | Залишити пошкоджену / заміновану територію в наявному охоронному статусі | Збереження природоохоронного значення           | Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, місцеві органи влади        | 2-3 роки                     | Збереження цінних природоохоронних територій              |
| 2 | Провести заходи менеджменту для відновлення екологічних умов             | Відновлення тимчасово пошкоджених екосистем     | Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, природоохоронні організації | 3-5 років                    | Відновлення екосистем до стану, наближеного до первинного |
| 3 | Скасувати статус природно-заповідного фонду та оголосити новий об'єкт    | Заміна втраченої цінності екосистеми            | Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, наукові установи            | 1-2 роки                     | Збереження площ та цінності природоохоронних територій    |
| 4 | Долучати до складу природно-заповідного фонду заміновані ділянки         | Розширення територій природно-заповідного фонду | Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, ДСНС                        | 3-5 років                    | Розширення природоохоронних територій                     |
| 5 | Відновлення гідрологічного режиму                                        | Поліпшення водного балансу                      | Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, місцеві органи влади        | 2-4 роки                     | Зменшення деградації земель, поліпшення екосистем         |

Джерело: сформовано автором

ступеня їх деградації. Подальша рекультивація передбачає висаджування нових дерев, боротьбу з ерозійними процесами та відновлення рослинного покриву.

**Висновки.** Проведений аналіз показав, що найбільших руйнувань унаслідок бойових дій зазнали

екосистеми північних та східних регіонів України та було надано ґрунтовну оцінку прямим наслідкам негативного впливу на екологічну стійкість окремих територій України, і визначено ускладнюючі процеси їхнього майбутнього природного відновлення. У дослідженні обґрунтовано необхідність активного

використання геоінформаційних технологій, які дозволяють точно оцінити масштаби завданих екологічних збитків, виявити ризики та розробити ефективні заходи для реабілітації пошкоджених природних територій. Пропонується комплексний підхід до відновлення екосистем, який передбачає проведення таких заходів, як розмінування територій, рекультивація ґрунтів, відновлення лісових масивів та регенерація водних ресурсів.

Розроблено низку рекомендацій, спрямованих на збереження та відновлення екосистем України,

і зокрема, запропоновано залишати пошкоджені чи заміновані території, що не втратили своєї природоохоронної цінності, у межах існуючого заповідного статусу. Крім того, рекомендовано долучати до природно-заповідного фонду території, які були забруднені чи заміновані, після їх повного очищення та відновлення. Серед таких заходів – відновлення гідрологічного режиму, запобігання ерозійним процесам ґрунтів, а також висаджування нових дерев, що сприятиме покращенню водного балансу і збереженню біорізноманіття.

### Література

1. Вплив воєнних дій на дику природу України. URL: <https://uwecworkgroup.info/uk/impact-of-military-action-on-ukraines-wild-nature/> (дата звернення 15.01.2025)
2. Войтюк Д. В., Гроза Д. В. Наслідки впливу військових дій на стан навколишнього природного середовища. *Grail of Science*. 2023. № 28. С. 122–126. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.09.06.2023.19>.
3. Державний контроль за станом довкілля під час війни. 2022. Електронний ресурс. URL: <http://epl.org.ua/announces/derzhavnyj-kontrol-za-stanom-dovkillya-pid-chasvijnny/> (дата звернення: 16.01.2025).
4. Корольова В. В., Даниль А. І. Вплив військової агресії на екологічну ситуацію в Україні. *Legal Bulletin*. 2024. № 4(14). С. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.31732/2708-339X-2024-14-A7>.
5. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2023. № 27. С. 15–22. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02>.
6. Македон В.В., Михайленко О.Г. Управління внутрішніми інвестиційними проєктами в регіональному промисловому кластері підприємств. *Підприємництво та інновації*. 2022. (25). С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>.
7. Македон В. В., Байлова О. О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2023. Випуск 47. С. 16–26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.
8. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екодія. URL: <https://ecoaction.org.ua/> (дата звернення: 16.01.2025).
9. Наслідки російської військової агресії для довкілля України – Всеукраїнська екологічна ліга. Головна – Всеукраїнська екологічна ліга. URL: <https://www.ecoleague.net/pro-vel/tematychni-napriamy-diialnosti/vplyv-voiennykh-dii-na-dovkillia> (дата звернення: 15.01.2025)
10. Нікітченко І.В., Прокопенко Н.Ю., Шведчикова І.О. Вплив військових конфліктів на навколишнє середовище та екологію. Електронний ресурс. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/84593128.pdf> (дата звернення: 16.01.2025).
11. Офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/>. (дата звернення: 16.01.2025).
12. Пацев І. С., Барабаш О. В., Пацева І. Г. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. № 5(50). С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.16>.
13. Перга, Т. Ю. Екологічні наслідки війни Росії проти України. *Війна проти України: ДУ «Інститут всесвітньої історії НАН України»*. URL: <https://ivinas.gov.ua/viina-rf-protyukrainy/ekolohichni-naslidky-viiny-rosii-proty-ukrainy.html> (дата звернення: 16.01.2025).
14. Роман Л. Ю. Аналіз екологічних загроз об'єктів ПЗФ України у воєнний період. *Екологічні науки*. 2022. № 3(42). С. 84–88.
15. Фондові дані Державного підприємства «Ліси України». URL: <https://e-forest.gov.ua>
16. Цимбалюк К. Вплив військового конфлікту на екологічний стан водних ресурсів України. *Екологічний вісник*. 2024. № 18. С. 10. DOI: <https://doi.org/10.18372/2786-8168.18.18537>.
17. Шевченко О. В., Пронь О. С., Чеботарьова І. В. Вплив повномасштабних бойових дій на стійкість територій до кліматичних змін. *Економіка та суспільство*. 2024. № 67. С. 106–112. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-106>.
18. Щорічний огляд російсько-українська війна: вплив на довкілля. 2024. URL: <https://www.openforest.org.ua/wp-content/uploads/2024/11/2-e-vydannia-ukr-rosijsko-ukrainska-vijna-vplyv-na-dovkillia.pdf>
19. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. no 2(13(128)). p. 47–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>.
20. West A. J. Forests and National Security: British and American Forestry Policy in the Wake of World War I. *Environmental History*. 2003. Vol. 8. No. 2. Pp. 270–293.



УДК 502.521

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.56>

## ОЦІНКА ВПЛИВУ НАСЛІДКІВ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ҐРУНТИ

Сакун А.О., Кутковий Д.О.

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 62002, м. Харків

Antonina.Sakun@khpi.edu.ua, Denys.Kutkovyi@mit.khpi.edu.ua

Україна володіє унікальним ґрунтовим покривом, оскільки понад 60% її території займають чорноземні ґрунти, які мають високий рівень родючості.

Військові конфлікти завдають значної шкоди навколишньому середовищу, зокрема ґрунтовому покриву. Наслідки бойових дій включають механічне руйнування ґрунтів, забруднення важкими металами, нафтопродуктами, вибуховими речовинами та іншими токсичними сполуками. Такі процеси суттєво змінюють фізико-хімічні властивості ґрунтів, порушуючи їх структуру, водний баланс і біологічну активність.

Забруднення, спричинене військовими діями, може зберігатися протягом тривалого періоду, ускладнюючи використання земель для сільськогосподарства та інших видів господарської діяльності. Важливим завданням екологічної безпеки є оцінка рівня деградації ґрунтів у зонах бойових дій та розробка заходів для їх ремедіації. Системний підхід до вивчення впливу військових дій на ґрунти включає проведення геохімічних досліджень, моніторинг рівня забруднення, розробку технологій очищення та відновлення екосистем.

У статті проведено аналіз основних факторів, що впливають на стан ґрунтів внаслідок військових дій. Зокрема, розглянуто хімічне, фізичне та біологічне забруднення, а також наслідки застосування вибухових речовин та бронетехніки. Окрім цього, досліджено вплив пожеж, що виникають унаслідок обстрілів, на деградацію ґрунтів, поширення токсичних речовин і порушення балансу екосистем.

Результати огляду показують, що військові дії призводять до довготривалої деградації ґрунтового покриву, зниження родючості та збільшення ризиків для здоров'я людей та біорізноманіття. Окрім цього, військові дії можуть сприяти зміні у складі ґрунтових мікроорганізмів, що впливає на природні процеси ґрунтоутворення та колообіг елементів. *Ключові слова:* оцінка впливу на довкілля, забруднення ґрунтів, наслідки військових дій.

### Assessment of the impact of military actions on soils. Sakun A., Kutkovyi D.

Ukraine has a unique soil cover, as more than 60% of its territory is occupied by chernozem soils, which have a high level of fertility.

Military conflicts cause significant damage to the environment, particularly to the soil cover. The consequences of hostilities include mechanical destruction of soils, contamination with heavy metals, petroleum products, explosives, and other toxic compounds. These processes significantly alter the physicochemical properties of soils, disrupting their structure, water balance, and biological activity.

Pollution caused by military actions can persist for a long time, complicating the use of land for agriculture and other economic activities. An important task of environmental security is to assess the level of soil degradation in combat zones and develop measures for their remediation. A systematic approach to studying the impact of military actions on soils includes conducting geochemical studies, monitoring pollution levels, and developing technologies for cleaning and restoring ecosystems.

The article analyzes the main factors affecting soil conditions as a result of military actions. In particular, chemical, physical, and biological pollution are examined, as well as the consequences of using explosives and armored vehicles. Additionally, the impact of fires caused by shelling on soil degradation, the spread of toxic substances, and ecosystem balance disruption is studied.

The review results show that military actions lead to long-term soil degradation, reduced fertility, and increased risks to human health and biodiversity. Moreover, military actions can contribute to changes in the composition of soil microorganisms, which affects natural soil formation processes and the biogeochemical cycle of elements. *Key words:* environmental impact assessment, soil contamination, consequences of military actions.

**Постановка проблеми.** Військові дії спричиняють негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема на ґрунти. Руйнування інфраструктури, застосування важкої техніки, вибухи, використання хімічної зброї та потрапляння нафтопродуктів у ґрунт призводять до його деградації, забруднення та зниження родючості.

Однією з ключових проблем є забруднення ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами, токсичними залишками боєприпасів, що може мати довготривалі наслідки для сільськогосподарських угідь і природних екосистем. Також зміна структури ґрунту через механічний вплив (воронки від вибухів, траншеї, окопи) призводить до ерозійних процесів,

що ускладнює відновлення територій після завершення бойових дій.

Дослідження впливу військових дій на ґрунти є важливим для оцінки екологічних наслідків, розробки методів рекультивації та створення ефективних стратегій відновлення постраждалих територій. Відсутність системного моніторингу стану ґрунтів після військових конфліктів ускладнює оцінку шкоди та вироблення раціональних заходів з її мінімізації.

Таким чином, актуальним є проведення комплексної оцінки наслідків військових дій на ґрунтовий покрив, виявлення основних факторів впливу та розробка практичних рекомендацій для екологічного відновлення уражених територій.

**Актуальність дослідження.** Збройні конфлікти спричиняють значні руйнування природних екосистем та мають довгострокові наслідки для сільського господарства, водних ресурсів і здоров'я населення.

Ґрунти виконують важливі екосистемні функції, такі як збереження родючості, фільтрація води, накопичення органічної речовини та підтримка біорізноманіття. Однак під час бойових дій відбувається їхнє фізичне руйнування, забруднення важкими металами, токсичними речовинами, вибуховими речовинами та продуктами горіння. Також спостерігається зміна хімічного складу ґрунту, що ускладнює його використання у сільськогосподарських та природоохоронних цілях.

З огляду на зростаючу кількість збройних конфліктів у світі, необхідність розробки ефективних методів оцінки та відновлення ґрунтів після військових дій стає вкрай важливою. Відсутність комплексних досліджень щодо екологічних наслідків бойових дій ускладнює прийняття управлінських рішень щодо рекультивації уражених територій.

Таким чином, дослідження оцінки впливу військових дій на ґрунти є актуальним не лише з наукової точки зору, а й у контексті екологічної безпеки, збереження природних ресурсів та розробки стратегій відновлення земель після військових конфліктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Можна виділити такі аспекти забруднення ґрунтів, як фізичне руйнування, хімічне забруднення, наслідки потрапляння вибухових речовин, важких металів та паливно-мастильних матеріалів, а також методи рекультивації пошкоджених земель.

– *Дослідження фізичних змін ґрунтів* вказують на значне порушення структури ґрунтів унаслідок механічного впливу військової техніки, вибухів та інженерних споруд. Зокрема, в [1–4] зазначено, що утворення воронки від вибухів, траншей і окопів призводить до змін у мікрорельєфі, що ускладнює природне відновлення ґрунту та сприяє розвитку ерозійних процесів.

– Окремо можна виділити *дослідження забруднення ґрунтів важкими металами* (свинець, кадмій, ртуть, мідь), які містяться у боєприпасах, вибухових речовинах і військового обладнанні. У роботах [2, 6, 7] наголошується, що вміст цих елементів у ґрунті після військових конфліктів суттєво перевищує допустимі норми, що створює загрозу для сільського господарства та здоров'я населення.

– У публікаціях [5–7] висвітлюються *питання екотоксикології та впливу військових забруднень на біологічні процеси у ґрунті*. Зокрема, йдеться про зниження чисельності ґрунтових мікроорганізмів, що беруть участь у розкладі органічної речовини та підтримці родючості ґрунтів.

– Автори [8–9] пропонують *методики оцінки екологічних ризиків та можливості відновлення деградованих земель*. До них належать агротехнічні, фізико-хімічні та біологічні методи рекультивації.

Зокрема, використання фіторе mediaції (очищення ґрунту за допомогою рослин) розглядається як один із перспективних способів усунення токсичних забруднень.

**Мета роботи.** Комплексна оцінка впливу військових дій на стан ґрунтів, визначення основних факторів їх руйнування та забруднення, а також розробка рекомендацій щодо відновлення і рекультивації деградованих земель.

**Результати дослідження.** Заміновані землі, воронки від вибухів, зсуви, випалені ділянки та ерозійні процеси спричиняють тривале погіршення стану навколишнього середовища. На сьогодні вважається, що 30% території знаходиться в зоні підвищеного ризику для ведення сільськогосподарської діяльності. До негативних наслідків руйнування ґрунтового покриву в умовах війни належать: поверхневе забруднення, механічні пошкодження, а також фізичне й хімічне засмічення [10].

У регіонах, що зазнали значних наслідків інтенсивних бойових дій, виникають серйозні побоювання щодо екологічної безпеки земельних ресурсів і можливості їх подальшого використання. Фіксуються суттєві негативні зміни як у стані, так і в родючості ґрунтів. Зростає кількість свідчень про руйнівний вплив, який підриває стійкість геоекосистем.

У умовах, спричинених війною, питання збереження навколишнього середовища стає дедалі актуальнішим, особливо в регіонах, де природні ресурси зазнають значного впливу через інтенсивні бойові дії. Харківщина – один із таких постраждалих регіонів. Її землі відіграють важливу роль у сільському господарстві. Основу ґрунтового покриву області становлять родючі чорноземи, що є значним плюсом для врожайності та ефективного використання земель (рис. 1).

Пожежі, спричинені бойовими діями, є одним із перших наслідків воєнно-техногенного впливу, що згодом призводить до розвитку водної та вітрової ерозії. На вигорілих територіях часто відбувається вимивання гумусових речовин, а також утворюється гідрофобний шар, який перешкоджає проникненню води в ґрунт [11].

Часто спостерігається утворення потоків сміття та неглибоких зсувів. Окрім цього, пожежі, незалежно від їхнього походження, спричиняють додаткове забруднення ґрунтів токсичними сполуками, зокрема поліароматичними вуглеводнями, що утворюються в процесі горіння [12].

Хімічний вплив військових дій змінює природні характеристики ґрунтового покриву через забруднення, що виникає внаслідок застосування зброї та військової техніки. Тривала військова активність сприяє формуванню локальних воєнно-техногенних геохімічних аномалій, які містять широкий спектр вибухових і токсичних речовин, що може призвести до невизначеної заборони на використання цих земель [13–15].



Рис. 1. Фотоприклади військових конфліктів на території Харківщини

Під час стрільб використовуються боєприпаси, що містять різні види пороху та вибухових речовин, при згорянні яких утворюються такі сполуки, як азот, сажа, вуглеводні, свинець, двоокис марганцю та інші шкідливі похідні. Вони негативно впливають як на здоров'я людини, так і на стан навколишнього середовища. Наприклад, вибух одного 115-мм осколково-фугасного снаряду, спорядженого гексогеном, спричиняє утворення близько 4000 літрів газів, що містять продукти згорання цієї вибухової речовини. Близько 30% цих газів розсіюється в атмосфері, тоді як основна їх частина, зокрема важкі фракції та метали, осідає у ґрунті.

**Висновки.** Оцінка впливу військових дій на ґрунти є важливою для визначення масштабів екологічного забруднення та розробки ефективних методів відновлення. Основні загрози, пов'язані з військовими конфліктами, включають фізичне руйнування ґрунтового покриву, хімічне забруднення важкими металами та токсичними речовинами, а також зниження біологічної активності ґрунту. Використання сучасних методів оцінки, таких як лабораторний аналіз, геоінформаційні системи та біоіндикація,

дозволяє отримати точні дані про стан забруднення. Для відновлення постраждалих територій необхідно застосовувати комплексний підхід, що включає агрохімічні, біологічні та фізико-хімічні методи рекультивації.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку екологічно безпечних і економічно доцільних технологій відновлення ґрунтів, що дозволить мінімізувати негативні наслідки військових дій для довкілля та сприяти стійкому розвитку постконфліктних територій.

ґрунти, забруднені вуглеводнями, стають джерелом токсичних газів і пилу, які розповсюджуються повітрям і завдають серйозної шкоди ґрунтовому біорізноманіттю. Сполуки, такі як бензол, толуол, етилбензол і ксиліл, що виділяються зі свіжозабруднених ґрунтів, можуть спричиняти хронічні негативні наслідки для здоров'я населення. Потрапляючи в ґрунт, вуглеводні можуть частково або повністю заповнювати його поровий простір, блокуючи потік повітря і води. Це погіршує дихання кореневих систем рослин, порушує життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів і ускладнює забезпечення біоти вологою.

### Література

1. Богданець В.А., Носенко В.Г. Індикатори сталого розвитку безпеки використання земель та оцінка розвитку деградаційних процесів ґрунтового покриву з використанням геоінформаційних моделей. Землеустрій, кадастр та моніторинг земель, 2022. № 3, С. 83–92.
2. Бутенко Є.В., Кузнецова О.В., Сохацька М.С. До питання оцінки наслідків негативного впливу бойових дій на землях територіальних громад Донецької області. Землеустрій, кадастр та моніторинг земель, 2023. № 2, С. 92–103.
3. Полозенцева В. О., Юрченко А. І. Щодо впливу бойових дій на стан ґрунтів Донецької області. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення.: Зб. статей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 15–16 вересня 2022р. УКРНДІЕП, 2022. С. 246–252.

4. Кононенко В.П. Новікова Л. В. Вплив регіональних збройних конфліктів на міжнародну екологічну безпеку. Альманах міжнародного права. 2020. № 24. С. 214–221.
5. Гесць В.М. Про оцінку економічних втрат України внаслідок збройної агресії РФ: Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 30 березня 2022 року. Вісник Національної академії наук України. 2022. № 5. С. 30–38.
6. Нонік Л.Ю., Пацева І. Г., Пічкур Т. В. Розроблення стратегії управління відходами руйнацій в умовах воєнного стану. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*. 2023. № 4. С. 40–47.
7. Зайцев Ю.О., Грищенко О.М., Романова С.А., Зайцева І.О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської області. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. С. 136–149.
8. Наумчук В.В. Стратегії відновлення та рекультивації земель після воєнних конфліктів. Актуальні проблеми економіки. № 7 (277), 2024. С. 239–248.
9. Лісова Т.В. Відновлення земель: окремі теоретичні питання. Науковий вісник Херсонського державного університету. № 1 (1), 2018. С. 138–141.
10. Грузенський В. В. Проблеми та перспективи правового регулювання відновлення земель і ґрунтів України, що постраждали внаслідок збройної агресії Російської Федерації. *Юридичний науковий електронний журнал*. № 5, 2024. С. 249–251.
11. Потіп М.М. Протидія забрудненню та за-сміченню земельних ресурсів: правові аспекти. *Юридичний науковий електронний журнал*. № 7, 2023. С. 151–157.
12. Місінкевич Л.Л., Місінкевич А.Л. Правові проблеми охорони та відновлення земель під час дії воєнного стану в Україні. *Університетські наукові записки*. № 5–6 (89–90), 2022. С. 27–34.
13. Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем / за ред. Чайки Т.О. Полтава: ПП «Астроя», 2023. 308 с.
14. Камінський В.Ф., Ткаченко М.А., Коломісць Л. П. Методичні рекомендації щодо відновлення земель сільськогосподарського призначення, порушених внаслідок воєнних дій. Київ: ННЦ «ІАЕ», 2023. 84 с

---

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

---

**Андрєєва Олена Юрїївна (Житомир)** – доктор сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

**Бабенко Володимир Миколайович (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Бабенко Михайло Григорович (Дніпро)** – кандидат сільськогосподарських наук, провідний науковий співробітник, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

**Бєдункова Ольга Олександрівна (Рівне)** – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування;

**Бобровська Ольга Дмитрівна (Запоріжжя)** – магістр II медичного факультету, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

**Бондаренко Лідія Ігорівна (Київ)** – аспірантка кафедри екології та туризму, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

**Борисенко Олексій Борисович (Харків)** – аспірант кафедри фізичної географії та картографії, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

**Боровська Галина Олександрівна (Одеса)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

**Босюк Альона Сергіївна (Харків)** – доктор філософії, старший викладач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Браславська Оксана Володимирівна (Умань)** – доктор педагогічних наук, професор кафедри географії, геодезії та землеустрою, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

**Бредун Віктор Іванович (Полтава)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

**Бриндзя Ірина Володимирівна (Дрогобич)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

**Буднік Ігор Петрович (Малин)** – кандидат сільськогосподарських наук, викладач, Малинський фаховий коледж;

**Бузіна Ірина Миколаївна (Харків)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, Державний біотехнологічний університет;

**Бурмак Андрій Петрович (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичного матеріалознавства та термічної обробки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Василенко Ольга Миколаївна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Вергеліс Вікторія Ігорівна (Вінниця)** – асистент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

**Вигера Сергій Михайлович (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я природи та якості харчових ресурсів, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Видра Наталія Миколаївна (Черкаси)** – заступник генерального директора з дослідження фізичних та хімічних факторів, Державна установа «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України»;

**Вихівська Катерина Миколаївна (Львів)** – аспірант кафедри цивільної безпеки, Національний університет «Львівська політехніка»;

**Власенко Олег Васильович (Київ)** – науковий співробітник, аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Войцицький Володимир Михайлович (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Волошина Наталія Олексіївна (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та туризму, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

**Волощук Ганна Дмитрівна (с. Центральне)** – кандидат біологічних наук, провідний науковий співробітник лабораторії патентно-кон'юнктурних досліджень, економіки та інтелектуальної власності, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Гаврюшенко Ганна Володимирівна (Полтава)** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри хімії, географії та наук про Землю, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

**Галактіонов Микола Сергійович (Полтава)** – аспірант кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

**Гарбар Олександр Васильович (Житомир)** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Гаць Анастасія Костянтинівна (Київ)** – аспірантка кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Глушак Дмитро Дмитрович (Івано-Франківськ)** – аспірант кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

**Гнєзділова Вікторія Ігорівна (Івано-Франківськ)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

**Голота Володимир Володимирович (Черкаси)** – ад'юнкт кафедри технології захисту навколишнього середовища, Інститут навчально-наукового інституту управління та безпеки населення Національного університету цивільного захисту України;

**Гончарук Віталій Володимирович (Умань)** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

**Гордій Наталя Михайлівна (Кам'янець-Подільський)** – кандидат біологічних наук, доцент, старший викладач кафедри біології та екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

**Грицик Олег Миколайович (Умань)** – кандидат економічних наук, доцент кафедри географії, геодезії та землеустрою, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

**Гудим Надія Георгіївна (Дніпро)** – здобувачка кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Даус Марія Євгенівна (Одеса)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності, екології та хімії, Одеський національний морський університет;

**Демидов Олександр Анатолійович (с. Центральне)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік Національної академії аграрних наук, директор, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Джамал Бахлулович Рахметов (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи (інноваційний розвиток), завідувач відділу культурної флори, Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка;

**Діденко Дарина Володимирівна (Київ)** – магістр кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Довбиш Олена Борисівна (Київ)** – науковий співробітник Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Дрегваль Ігор Володимирович (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Дубляк Андрій Володимирович (Івано-Франківськ)** – аспірант кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

**Єгорова Оксана В'ячеславівна (Черкаси)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

**Єсіпова Наталія Борисівна (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Жицька Людмила Іванівна (Черкаси)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

**Журавльов Дмитро Васильович (Дніпро)** – здобувач кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Іванюк Тетяна Миколаївна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

**Іващенко Ірина Вікторівна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

**Іващенко Тарас Григорович (Київ)** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Ілюк Наталя Анатоліївна (Київ)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри мікробіології, сучасних біотехнологій, екології та імунології, Інститут біомедичних технологій Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

**Іщук Оксана Василівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Кавчук Ірина Михайлівна (Івано-Франківськ)** – аспірант кафедри лісового і аграрного менеджменту, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

**Кагукіна Анастасія Максимівна (Житомир)** – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Климчук Олександра Олександрівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

**Клімкіна Ірина Іванівна (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент, провідний науковий співробітник, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

**Ключевич Михайло Михайлович (Житомир)** – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри здоров'я природи та якості харчових ресурсів, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Ковальчук Ірина Ігорівна (Житомир)** – кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Ковтун Тетяна Ігорівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

**Ковтунов Олександр Володимирович (Київ)** – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Колічева Наталія Леонідівна (Запоріжжя)** – кандидат медичних наук, доцент, в. о. завідувача кафедри мікробіології, вірусології та імунології, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

**Коломісць Людмила Василівна (Кропивницький)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, охорони навколишнього середовища та здорового способу життя, Центральнотехнічний національний технічний університет;

**Корнієнко Валентина Іванівна (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, директор Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Коссак Григорій Михайлович (Дрогобич)** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

**Котюк Віктор Сергійович (Житомир)** – аспірант кафедри технологій у рослинництві, Поліський національний університет;

**Котюк Людмила Анатоліївна (Житомир)** – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології, Поліський національний університет;

**Кривохижа Євген Михайлович (Тернопіль)** – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, професор кафедри агробіотехнологій, Західноукраїнський національний університет;

**Кричун Дмитро Миколайович (Кропивницький)** – синоптик II категорії відділу метеорологічних прогнозів, Авіаційна метеорологічна станція цивільна «Кропивницький» Кіровоградського обласного центру з гідрометеорології;

**Крупей Кристина Сергіївна (Запоріжжя)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри мікробіології, вірусології та імунології, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

**Крючкова Валерія Валеріївна (Харків)** – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Кузнєцов Павло Миколайович (Рівне)** – аспірант кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування;

**Купчак Руслан Володимирович (Івано-Франківськ)** – аспірант кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

**Кутковий Денис Олегович (Харків)** – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Куценко Андрій Олексійович (Київ)** – бакалавр кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Лавріненко Вікторія Михайлівна (Київ)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та туризму, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

**Лелюшок Сергій Володимирович (Київ)** – аспірант кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;



**Ліфер Валентин Євгенович (Харків)** – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Люленко Світлана Олександрівна (Умань)** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри біології та здоров'я людини, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

**Мазур Ольга Вікторівна (Вінниця)** – асистент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

**Маковецька Олена Олексіївна (Одеса)** – старший викладач кафедри хімії та екології, Одеська державна академія будівництва та архітектури;

**Мамченко Віталій Юрійович (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Маркіна Людмила Миколаївна (Київ)** – доктор технічних наук, професор кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Мартиненко Василь Валентинович (Київ)** – доктор філософії (екологія), старший науковий співробітник відділу охорони ландшафтів, збереження біорізноманіття і природозаповідання, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

**Мартінова Надія Валентинівна (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, завідувач лабораторії природної флори, Ботанічний сад Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

**Махняк Андрій Ярославович (Львів)** – аспірант кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка»;

**Мележик Ольга Вікторівна (Київ)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри мікробіології, сучасних біотехнологій, екології та імунології, Інститут біомедичних технологій Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

**Мельниченко Галина Михайлівна (Івано-Франківськ)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

**Мислюк Ольга Олександрівна (Черкаси)** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

**Мідик Світлана Вікторівна (Київ)** – кандидат ветеринарних наук, старший дослідник, завідувач науково-дослідного відділу моніторингу безпеки продукції агропромислового комплексу Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Мовчан Валентина Олексіївна (Київ)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри мікробіології, сучасних біотехнологій, екології та імунології, Інститут біомедичних технологій Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

**Можарівська Інна Анатоліївна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я природи та якості харчових ресурсів, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Мороз Вікторія Вікторівна (Житомир)** – аспірантка кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Моторна Тетяна Василівна (Одеса)** – аспірант кафедри водних біоресурсів та аквакультури, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

**Нагурський Олег Антонович (Львів)** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри цивільної безпеки, Національний університет «Львівська політехніка»;

**Небикова Тетяна Андріївна (Умань)** – старший викладач кафедри біології та здоров'я людини, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

**Недострелова Лариса Василівна (Одеса)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

**Нечипоренко Дмитро Ігорович (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Новожилова Тетяна Борисівна (Харків)** – доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Олійник Тетяна Петрівна (Одеса)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії та екології, Одеська державна академія будівництва та архітектури;

**Павлишак Ярослава Ярославівна (Дрогобич)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

**Папач Володимир Володимирович (Черкаси)** – генеральний директор, Державна установа «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України»;

**Парахненко Владислав Геннадійович (Умань)** – доктор філософії з наук про Землю, викладач кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

**Пацева Ірина Григорівна (Житомир)** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Пикало Сергій Володимирович (с. Центральне)** – кандидат біологічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Плюйко Олександра Богданівна (Дніпро)** – студентка I курсу магістратури біолого-екологічного факультету, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Подзерей Роман Вікторович (Умань)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

**Прокоф'єв Олег Милославович (Одеса)** – кандидат географічних наук, завідувач кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

**Пронь Олександр Володимирович (Київ)** – заступник головного інженера, аспірант кафедри екології, Державний університет «Київський авіаційний інститут»;

**Разно Микола Русланович (Харків)** – здобувач, аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Рильський Олександр Федорович (Запоріжжя)** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

**Різничук Надія Іванівна (Івано-Франківськ)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

**Рожі Томас Адальбертович (Умань)** – викладач кафедри географії, геодезії та землеустрою, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

**Романюта Єлизавета Володимирівна (Одеса)** – студентка I курсу магістратури, Архітектурно-художній інститут Одеської державної академії будівництва та архітектури;

**Руденко Валерій Петрович (Чернівці)** – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри економічної географії та екологічного менеджменту, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;

**Руденко Степан Валерійович (Дніпро)** – кандидат географічних наук, докторант кафедри зоології та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Савицький Антон Юрійович (Дніпро)** – студент III курсу біолого-екологічного факультету, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Сакун Антоніна Олегівна (Харків)** – доктор філософії в галузі екології, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Сараненко Інна Іванівна (Херсон)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри географії та екології, Херсонський державний університет;

**Світельський Микола Михайлович (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Сергійчук Наталія Миколаївна (Київ)** – старший викладач кафедри мікробіології, сучасних біотехнологій, екології та імунології, Інститут біомедичних технологій Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»;

**Слюсар Микола Вікторович (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Сопов Дмитро Сергійович (Полтава, Одеса)** – доктор філософії з наук про Землю, доцент, завідувач кафедри хімії, географії та наук про Землю, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»; доцент кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру, Одеський державний аграрний університет;

**Сопова Надія Валеріївна (Харків)** – старший викладач кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру, Державний біотехнологічний університет;

**Сорочинська Олена Леонідівна (Київ)** – кандидат історичних наук, доцент, в. о. завідувача кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій;

**Стасевич Сергій Павлович (Львів)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка»;

**Стефанюк Світлана Василівна** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри садівництва та овочівництва імені професора Гулька І.П., Львівський національний університет природокористування;

**Строкаль Віта Петрівна (Київ)** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Тихомирова Тетяна Сергіївна (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Ткачук Анна Олександрівна (Київ)** – бакалавр кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Ткачук Олександр Петрович (Вінниця)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

**Тютюнник Оксана Сергіївна (Кам'янець-Подільський)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри біології та екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

**Феденко Юрій Миколайович (Київ)** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Фельдман Даниїл Вікторович (Дніпро)** – студент II курсу магістратури біолого-екологічного факультету, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Хайнус Дмитро Дмитрович (Харків)** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру, Державний біотехнологічний університет;

**Харитонов Микола Миколайович (Дніпро)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

**Харченко Михайло Володимирович (с. Центральне)** – кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Хижняк Світлана Володимирівна (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Хоменко Олена Михайлівна (Черкаси)** – кандидат біологічних наук, доцент, завідувачка кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

**Чередниченко Ірина Василівна (Полтава)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри хімії, географії та наук про Землю, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

**Чернишенко Ганна Олександрівна (Київ)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри ветеринарії та тваринництва, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля;

**Чорноштан Тамара Миколаївна (Яготин)** – кандидат філософських наук, директор, доцент кафедри загальноосвітніх дисциплін, Яготинський інститут Приватного акціонерного товариства «Вищий навчальний заклад «Міжрегіональна Академія управління персоналом»;

**Чумаченко Валерія Вікторівна (Одеса)** – аспірантка кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

**Чухній Олег Юрійович (Тернопіль)** – аспірант кафедри міжнародних економічних відносин, Західноукраїнський національний університет;

**Швець Марина Василівна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

**Шевченко Валентина Григорівна (Київ)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та туризму, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

**Шестопалов Олексій Валерійович (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Юровчик Володимир Геннадійович (Луцьк)** – кандидат географічних наук, викладач циклової комісії з базової та фундаментальної підготовки, Луцький фаховий коледж рекреаційних технологій і права;

**Юрченко Тетяна Василівна (с. Центральне)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувачка відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Яцишен Анатолій Олегович (Одеса)** – викладач кафедри військової підготовки, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова.

Наукове видання

# ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

1(58)

- **Теоретична екологія**
- **Екологічна освіта**
- **Природно-заповідний фонд України**
- **Загальні проблеми екологічної безпеки**
- **Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття**
- **Зміна клімату**
- **Екологічний моніторинг**
- **Екологія земельних ресурсів**
- **Екологія водних ресурсів**
- **Екологія і виробництво**
- **Екологія агровиробництва**
- **Управління відходами**
- **Екологічні наслідки воєнних дій**

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](http://www.ecoj.dea.kiev.ua)  
e-mail: [info@ecoj.dea.kiev.ua](mailto: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](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Підписано до друку 28.02.2025. Формат 64х84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.  
Ум. друк. арк. 41,85. Тираж 100. Замовлення № 0225/148.  
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета