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

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

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

5(56)

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

УДК 502+504

Друкується за рішенням Вченої Ради
Державної екологічної академії післядипломної освіти
та управління (№ 5-24 від 12.11.2024)

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. : Видавничий дім «Гельветика», 2024. – № 5(56). – 290 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
Іващенко 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 No 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 (091 – Біологія), природничих наук (101 – Екологія, 103 – Науки про Землю) та технічних наук (183 – 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)

© Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2024

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО.....9

Бондар О.І., Салій І.В., Мостицький А.В., Литвиненко М.П., Кокул С.В., Квасюк В.Я., Машина П.В. Екологічно чисті холодоагенти в теплових насосах з використанням низькопотенційного тепла шахтних вод.....9

Бондар О.Б., Цицюра Н.І., Дух О.І., Воробець С.Б., Лемега Н.М. Методичні підходи до оцінки екологічних переваг та потенціалу відновлюваних джерел енергії в Україні.....16

Власенко О.В., Зудіков А.О., Копаниця О.Б. Аналіз технологій очищення стічних вод підприємства гірничо-металургійного комплексу.....23

Вовк В.М., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Замула І.В., Кірейцева Г.В. Верифікація енвайроментологічних показників деревинних пелет як інструмент вуглецевого менеджменту.....34

Карпій С.Є., Тарабан Є.В., Бєлоконь К.В., Манідіна Є.А. Управління будівельними відходами на території Запорізької області в умовах війни.....40

Ямелинець Т.С. Оцінка впливу на довкілля для об'єктів вітрової енергетики: приклад Данії.....47

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....51

Сухарев С.М., Черевко Х.М. Можливості використання аборигенних видів риб Закарпаття як індикаторів стану річкових екосистем.....51

Шевчук Л.М., Билина Л.В., Васільєва Л.А., Герасимчук О.Л. Молюски родини Sphaeriidae (mollusca: bivalvia) суббасейну Прип'яті: екосистемний підхід до управління водними ресурсами.....60

ЕКОЛОГІЯ АГРОВИРОБНИЦТВА.....68

Невмержицька О.М., Плотницька Н.М., Гурманчук О.В., Криворучко В.І., Гуменюк А.О. Ефективність застосування фунгіцидів у системі захисту ріпаку озимого від хвороб.....68

Петровська М.А., Петровський С.В., Попик О.О. Стан і перспективи розвитку органічного виробництва у Вінницькій області.....73

Толмачова А.В., Барсукова О.А., Куришина В.Ю., Черняков М.П. Вплив природно-кліматичних факторів на формування продуктивності картоплі в Лісостеповій зоні України.....80

Чернишенко Г.О., Єрмакович І.А. Перспективи розвитку органічного землеробства та виробництва в ЄС та в окремих європейських країнах.....87

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ.....93

Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Валерко Р.А. Напрями та тенденції гуманітарного розмінування як теми бібліометричного аналізу наукометричної бази даних наукових публікацій Web of Science.....93

Коваленко Ю.О. Вплив воєнних дій і розмінування на озерну екосистему околиць міста Бородянка (Київська область).....99

Сахновська В.М., Ткаченко Т.М. Забезпечення екологічної безпеки об'єктів водовідведення під час військових дій.....105

ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ.....110

Руденко С.В., Руденко В.П., Руденко С.С., Пахомов О.Є. Екосистеми Кримських гір та Українських Карпат: порівняльний аналіз.....110

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.....115

Бойко Д.Ю., Клевакін А.А., Крупєй К.С. Staphylococcus lugdunensis: антагоністична активність та стійкість до протимікробних препаратів.....115

Василенко О.М. Вплив іонів цинку та кадмію на кумулятивні та трофологічні показники ставковика озерного.....121

Іваненко М.К., Притула Н.М. Біорізноманіття флори Великого Лугу до створення Каховської ГЕС.....127

Іващенко І.В., Рахметов Д.Б., Котюк Л.А., Грицюк Н.В., Бакалова А.В. Фітохімічні особливості *Helenium aromaticum* (Hook.) L. H. Bailey за умов інтродукції в Центральному Поліссі України……133

Маренков О.М., Єрух М.М. Структура популяції та оцінка репродуктивних показників гірчака європейського *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782) Запорізького (Дніпровського) водосховища……138

Мельник-Шамрай В.В., Орлов О.О., Жуковський О.В., Курбет Т.В., Краснов В.П., Іванюк Р.О., Весельський О.О. Сучасне радіоактивне забруднення тканин і органів дуба звичайного у вологих сугрудах лісів Житомирського Полісся……144

Некрасова К.О., Коплик Я.В. Віталітетна структура популяцій *Stipa pennata* L. та *Astragalus cicer* L. у складі лучно-степових фітоценозів природного заповідника «Михайлівська цілина»……153

Причепа М.В., Коваленко Ю.О. Видовий склад та розподіл охоронюваних хребетних тварин у РЛП «Приірпіння» (Київщина)……160

Фіцайло Т.В. Чагарникова рослинність Шацького національного природного парку……168

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ……176

Адамова Г.В. Комплексний підхід до забезпечення екологічної безпеки в системі «АДС» в умовах цифровізації……176

Сержантова Ю.Ю., Марченко О.І., Зеленчук І.Д. Використання новітніх технологій для моніторингу та збереження довкілля: роль дронів, супутників та штучного інтелекту……182

Хохлов А.В., Хохлова Л.Й. Використання рослинних біоактивованих композитів для очищення нафтозабруднених ґрунтів……189

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ……193

Кагукіна А.М., Пацева І.Г. Графічний аналіз закономірностей сезонних температурних коливань та концентрації забруднювачів атмосфери міського середовища……193

УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ……198

Крайнюков О.М., Кривицька І.А., Найдьонова О.Є., Лукаш М.С., Лукаш К.М. Впровадження методу біотестування задля оцінки небезпечних властивостей відходів……198

Крючкова В.В., Тихомирова Т.С., Чікірякін К.В. Сталий підхід до управління текстильними відходами: досвід Чехії та перспективи його використання в Україні……203

ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ……211

Лукіша В.В., Ковальова Н.І. Заказний режим в природно-заповідному фонді України: становлення та проблеми функціонування……211

ЗМІНА КЛІМАТУ……217

Андреєва О.Ю., Мартинчук І.В., Корма О.М., Марчук Д.О., Докійчук Ю.В. Зміни кліматичних показників, що впливають на стійкість лісів Волинського і Житомирського Полісся……217

Шевченко О.В., Балабух В.О. Вплив зміни клімату на природно-сільськогосподарське районування території України……222

БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА……232

Русакова Т.І. Оцінка потенційного ризику здоров'ю населення при забрудненні повітря формальдегідом……232

ПИТАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ……238

Боженко А.Л. Право сталого розвитку як вид екологічного права при забезпеченні сталого розвитку України у повоєнний час……238

Бондар О.І., Мілєхін П.О., Шевченко Р.Ю. Науково-практичні основи розроблення місцевої схеми формування екологічної мережі територіальної громади……245

Лисиця А.В., Лико Д.В., Портухай О.І., Лико С.М., Логвиненко І.П. Антропогенне навантаження на басейни основних річок Рівненщини як загроза сталого розвитку регіону……256

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ.....263

Belokon K.V., Malovanyy M.S., Proskurnin O.A. The improvement of the automated monitoring system for atmospheric air quality in the city of Zaporizhzhia.....263

Дунаєвська О.Ф., Зимароєва А.А., Іщук О.В., Сокульський І.М., Піціль А.О. Особливості та результати проведення радіоекологічного моніторингу для забезпечення екологічної безпеки в сучасних умовах.....269

ЕКОПУБЛІЦИСТИКА.....273

Волошин В.С. Чи існує непереборний антагонізм в екосистемі «планета Земля»?.....273

РЕЦЕНЗІЇ.....282

Чумаченко С. Рецензія на монографію «Підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації резервуарів зберігання рідких вуглеводнів при сейсмічних навантаженнях: теорія та практика» кандидата технічних наук, доцента Сєрікової О.М.....282

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....284

CONTENTS

ECOLOGY AND PRODUCTION.....9

Bondar O., Salii I., Mostytskyi A., Lytvynenko M., Kokul S., Kvasyuk V., Mashyna P. Environmentally clean refrigerants in heat pumps using the low potential heat of mine waters.....9

Bondar O., Tsytsiura N., Dukh O., Vorobets S., Lemeha N. Methodological approaches to assessing the environmental benefits and potential of renewable energy sources in Ukraine.....16

Vlasenko O., Zudikov A., Kopanytsia O. Analysis of wastewater treatment technologies of a mining and metallurgical complex enterprise.....23

Vovk V., Tsyhanenko-Dziubenko I., Zamula I., Kireitseva H. Verification of environmental parameters of wood pellets as a carbon management tool.....34

Karpiy S., Taraban Ye., Belokon K., Manidina Ye. Construction waste management in the Zaporizhzhia region during the war.....40

Yamelynets T. Environmental impact assessment for wind energy objects: example of Denmark.....47

ECOLOGY OF WATER RESOURCES.....51

Sukharev S., Cherevko Kh. Possibilities of using native fish species of Transcarpathia as indicators of the state of river ecosystems.....51

Shevchuk L., Bylyna L., Vasilieva L., Herasymchuk O. Molluscs of the family Sphaeriidae (mollusca: bivalvia) of the Pripyat sub-basin: an ecosystem approach to water resources management.....60

ECOLOGY OF AGRICULTURAL PRODUCTION.....68

Nevmerzhytska O., Plotnytska N., Hurmanchuk O., Kryvoruchko V., Humeniuk A. The effectiveness of fungicide use in the system of protection of winter rapeseed from diseases.....68

Petrovska M., Petrovskyi S., Popyk O. State and prospects of organic production development in the Vinnytsia region.....73

Tolmachova A., Barsukova O., Kuryshyna V., Chernyakov M. The influence of natural and climate factors on the formation of potato productivity in the Forest-Steppe zone of Ukraine.....80

Chernyshekno H., Yermakovych I. Prospects for the development of organic farming and production in the EU and individual European countries.....87

ENVIRONMENTAL IMPLICATION OF MILITARY ACTIONS.....93

Herasymchuk L., Patseva I., Valerko R. Directions and trends in humanitarian demining as a topic for bibliometric analysis of the Web of Science scientometric database of scientific publications.....93

Kovalenko Yu. Impact of military actions and demining on the lake ecosystem in the vicinity of Borodyanka city (Kyiv region).....99

Sakhnovska V., Tkachenko T. Ensuring environmental safety of wastewater systems during military operations.....105

THEORETICAL ECOLOGY.....110

Rudenko S., Rudenko V., Rudenko S., Pakhomov O. Ecosystems of Crimean Mountains and Ukrainian Carpathians: a comparative analysis.....110

PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY.....115

Boiko D., Klevakin A., Krupiei K. Staphylococcus lugdunensis: antagonistic activity and resistance to antimicrobial agents.....115

Vasylenko O. Influence of zinc and cadmium ions on cumulative and trophology indicators of *Lymnaea stagnalis*.....121

Ivanenko M., Prytula N. Biodiversity of the flora of the Great Meadow prior to the construction of the Kakhovka hydroelectric station.....127

Ivashchenko I., Rakhmetov D., Kotiuk L., Hrytsiuk N., Bakalova A. Phytochemical features of Helenium aromaticum (Hook.) L.H. Bailey under the conditions of introduction in the Central Polissya of Ukraine.....133

Marenkov O., Yerukh M. Population structure and assessment of reproductive performance of the European bitterling Rhodeus amarus (Bloch, 1782) in the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir.....138

Melnyk-Shamrai V., Orlov O., Zhukovskyi O., Kurbet T., Krasnov V., Ivaniuk R., Veselskyi O. Modern radioactive contamination of tissues and organs of the common oak in the wet sugrud forests of Zhytomyr Polissia.....144

Nekrasova K., Koplyk Ya. Vitality *s*tructure of *Stipa pennata* L. and *Astragalus cicer* L. populations in meadow-steppe phytocenoses of the Nature Reserve Mykhailivska Tsilyna.....153

Prychepa M., Kovalenko Yu. Species composition and distribution of protected vertebrates in the RLP "Pryirpinnya" (Kyiv region).....160

Fitsailo T. Shrub vegetation of the Shatsk National Nature Park.....168

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL PROTECTION.....176

Adamova H. A comprehensive approach to ensuring environmental safety in the "CRE" system in the context of digitalization.....176

Serzhantova Yu., Marchenko O., Zelenchuk I. Using the latest technologies for environmental monitoring and preservation: the role of drones, satellites and artificial intelligence.....182

Khokhlov A., Khokhlova L. The use of vegetable bioactivated composites for cleaning oil-contaminated soils.....189

GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES.....193

Kahukina A., Patseva I. Graphical analysis of patterns of seasonal temperature fluctuations and concentrations of urban air pollutants.....193

WASTE MANAGEMENT.....198

Krainiukov O., Krivitska I., Naidonova O., Lukash M., Lukash K. Implementation of the biotesting method for assessing hazardous properties of waste.....198

Kriuchkova V., Tykhomyrova T., Chikiriakin K. Sustainable approach to textile waste management: the experience of the Czech Republic`s experience and prospects of its use in Ukraine.....203

NATURE RESERVE FUND OF UKRAINE.....211

Lukisha V., Kovaleva N. The reservation regime in the nature reserve fund of Ukraine: formation and problems of functioning.....211

CLIMATE CHANGE.....217

Andreieva O., Martynchuk I., Korma O., Marchuk D., Dokiichuk Yu. Changes in climatic indicators affecting the stability of the forests of Volyn and Zhytomyr Polissia. Andreieva O.I.,.....217

Shevchenko O., Balabukh V. The impact of climate change on the natural and agricultural zoning of Ukraine.....222

BIOLOGICAL SAFETY.....232

Rusakova T. Assessment of potential risk to population health from formaldehyde air pollution.....232

SUSTAINABLE DEVELOPMENT ISSUES.....238

Bozhenko A. The sustainability law as a type of environmental law in ensuring the sustainable development of Ukraine in the post-war period.....238

Bondar O., Milehin P., Shevchenko R. Scientific and practical basis of the development of the local scheme for the formation of the Ecological Network of the territorial community.....245

Lysytsya A., Lyko D., Portukhai O., Lyko S., Lohvynenko I. Anthropogenic load on the basins of the main rivers of the Rivne region is a threat to the sustainable development of the region.....256

ENVIRONMENTAL MONITORING.....263

Belokon K., Malovanyy M., Proskurnin O. The improvement of the automated monitoring system for atmospheric air quality in the city of Zaporizhzhia.....263

Dunaievska O., Zymaroeva A., Ischuk O., Sokulskyi I., Pitsil A. Features and results of radioecological monitoring to ensure environmental safety in modern conditions..... 269

ENVIRONMENTAL PUBLICISM..... 273

Voloshyn V. Is there an insurmountable antagonism within the "Planet Earth" ecosystem?..... 273

REVIEWS..... 282

Chumachenko S. Review of the monograph "Increasing the level of environmental safety of liquid hydrocarbon storage tanks under seismic loads: theory and practice" by Sierikova O.M., PhD in Engineering, Associate Professor..... 282

AUTHORS' CREDENTIALS..... 284

УДК 621.577.012-837: 536.24
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.1

ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ХОЛОДОАГЕНТИ В ТЕПЛОВИХ НАСОСАХ З ВИКОРИСТАННЯМ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОГО ТЕПЛА ШАХТНИХ ВОД

Бондар О.І.[1], **Салій І.В.**[1], **Мостицький А.В.**[2], **Литвиненко М.П.**[3], **Кокул С.В.**[4], **Квасюк В.Я.**[2], **Машина П.В.**[5]
[1]Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
[2]Науково-виробниче підприємство «Дніпро «МТО»
вул. Верховної Ради, 22, 02094, м. Київ
[3]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Берестейський, 37, 03056, м. Київ
[4]Одеський національний технічний університет
вул. Канатна, 112, 65039, м. Одеса
[5]Інженерна компанія «Івік»
вул. Крамського, 14/34, 03115, м. Київ
dei205@ukr. netamostitskiy@gmail.com, mashina@ivik.com

Вивчені теоретичні та практичні дослідження, пов'язані із заміною традиційних холодоагентів (синтетичних), що використовуються у теплових насосах, на екологічно чисті суміші вуглеводнів. Такий захід зумовлений зменшенням впливу на довкілля парникових газів та збільшенням енергоефективності теплових насосів.

Тема переходу від традиційних методів використання корисних копалин до впровадження енергоефективних технологій на сьогодні досить актуальна. Саме таким критеріям відповідають теплові насоси, в яких коефіцієнт перетворення електроенергії COP у теплову енергію збільшується в рази.

Теплові насоси, що працюють по зворотному циклу Карно, поглинають тепло, отримане з навколишнього середовища, та передають його споживачу завдяки роботі стиснення у компресорі. Перспективним є розроблення теплових насосів, що отримуватимуть теплову енергію не з навколишнього середовища, а, наприклад, з використанням тепла шахтних вод. Тоді кількість тепла переданого від низько-потенційного джерела, збільшиться, а енерговитрати зменшаться, що сприятиме поліпшенню коефіцієнту перетворення COP.

Окрім запропонованого переходу на використання суміші вуглеводнів, проведені дослідження ефективності низькопотенційного тепла шахтних вод. Дані проаналізовані та занесені до таблиць з відповідними розрахунками.

Мета наукової праці – означення перспектив застосування теплових насосів в Україні та підвищення їх енергоефективності. Проаналізовано існуючий досвід застосування теплових насосів, а також перспективи використання їх у різних сферах.

Зроблено теоретичний розрахунок ефективності використання суміші природніх газів замість синтетичного холодоагенту R32, представлено результати випробувань, які демонструють, що використання сумішевого холодоагенту на основі природніх газів має низку переваг, зокрема, підвищений COP, зниження енерговитрат, а також тисків, підвищення кінцевої температури. *Ключові слова:* тепловий насос, енергозбереження, екологічно чисті холодоагенти, суміш природніх газів, вуглеводневий холодоагент, низько потенційне тепло шахтних вод, COP.

Environmentally clean refrigerants in heat pumps using the low potential heat of mine waters. Bondar O., Salii I., Mostytskyi A., Lytvynenko M., Kokul S., Kvasyuk V., Mashyna P.

Currently, a relevant topic is the transition from traditional methods of using fossil fuels to the implementation of energy-efficient technologies. Heat pumps meet such criteria, where the coefficient of conversion of electricity (COP) into thermal energy exceeds six.

Heat pumps, operating on the reverse Carnot cycle, absorb heat from the surrounding environment and transfer it to the consumer through compression work in the compressor. A promising direction is the development of heat pumps that will derive heat not from the surrounding environment but for example, from the heat of mine waters. In this case, the amount of heat transferred from the low-potential heat source will increase, and energy consumption will decrease, leading to an improved COP.

This article presents theoretical and practical research on replacing traditional refrigerants used in heat pumps with environmentally friendly hydrocarbon mixtures. This transition is driven by the reduction of greenhouse gas emissions and the increase in energy efficiency of heat pumps.

In addition to the proposed transition to hydrocarbon mixtures, studies have been conducted on the efficiency of using low-potential heat from mine waters. Data analysis is present in tables.

The article's goal was to determine the prospects for the application of heat pumps in Ukraine and to improve their energy efficiency. The existing experience with heat pumps and their potential use in various sectors were analyzed.

The study also includes a theoretical calculation of the efficiency of using a mixture of natural gases instead of the synthetic refrigerant R32. The results of the tests show that using a blended refrigerant based on natural gases has several advantages, such as increased COP, reduced energy consumption, lower pressures, and higher final temperatures. *Key words:* heat pump, energy saving, environmentally friendly refrigerants, mixture of natural gases, hydrocarbon refrigerant, low potential heat of mine waters, COP.

Постановка проблеми. На сьогодні використання викопних паливних ресурсів для обігріву приміщень та гарячого водопостачання, наприклад, у котельних, призводить до забруднення навколишнього середовища продуктами горіння. Шкідливі викиди продуктів згоряння поділяють за ступенем небезпеки (токсичності) на п'ять класів: надзвичайно небезпечні (бенз(а)пірен, V_2O_5); небезпечні (NO_2, H_2S, летка зола при масовій частці CaO не менше 35%); помірно небезпечні (NO, SO_2, SO_3, сажа, летка зола при масовій частці CaO менше 35%, неорганічний пил); малонебезпечні (NH_3, CO); безпечні (N_2, O_2, CO_2, H_2O) [1].

У сфері опалення приміщень важливим напрямком є застосування теплових насосів, що замінюють традиційні котельні. Вони не лише ефективні у використанні, але й не потребують великих затрат на установку та обслуговування. Проте одним із істотних недоліків цього напрямку є вплив на глобальне потепління – як наслідок використання синтетичних холодильних агентів.

Для розв'язання такої проблеми виникає необхідність використання екологічно чистіших альтернативних холодильних агентів. Світова практика засвідчує, що перехід до холодоагентів, що містять природній газ, дозволяє підвищити енергоефективність систем опалення та зменшити їхній негативний вплив на довкілля.

До таких холодоагентів відносяться: бутан, ізобутан, пропан та інші, що мають високий потенціал теплової енергії та можуть успішно використовуватися у теплових насосах, що дозволить замінити синтетичні холодоагенти. Такий перехід стане позитивним явищем у напрямку сталого розвитку та збереження екологічної рівноваги нашої планети.

Актуальність роботи. Енерго – та ресурсозбереження, охорона довкілля – це пріоритетні напрямки розвитку досліджень у сфері використання паливно-енергетичних ресурсів.

У промисловому комплексі України споживання природного газу нині ще залишається у пріоритеті. Більшість енергетичних проблем країни розв'язується завдяки використанню природного газу як джерела енергії. Зважаючи на енергетичну кризу, актуальним стає питання оптимального використання енергоресурсів та впровадження передових технологій із енергозбереження. Застосування паро-компресійних теплових насосів з використанням сумішевого холодоагенту, що містить природні гази, за низькотемпературних режимів сприятиме ефективнішому використанню електроенергії та захисту навколишнього середовища, оскільки це зменшить теплове забруднення, а також кількість шкідливих викидів від продуктів згоряння.

Актуальності наукової праці додає й такий факт; Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України спільно з Проектом енергетичної безпеки USAID (ПЕБ) підписали 28 листопада 2023 року Меморандум про взаєморозуміння, який має на меті відновлення, реформування та розвиток енергетичної і муніципальної інфраструктури громад, забезпечення енергетичної стійкості, включаючи, зокрема, розвиток розподіленої генерації енергії з інтегрованою когенерацією, використання відновлюваної енергії та біопалив і модернізацію централізованого теплопостачання [2].

Мета дослідження – визначення перспектив застосування теплових насосів в Україні та підвищення їх енергоефективності за рахунок використання сумішей природніх газів у якості холодоагентів з урахуванням наявних у регіонах джерел низько-потенційного тепла шахтних вод, навколишнього середовища та скидного тепла підприємств.

Сучасний стан проблематики. Застосування теплових насосів, крім енергетичних переваг, зумовлює зменшення забруднення навколишнього середовища та скорочення шкідливих викидів в атмосферу.

Варто зазначити, що найвищий енергоощадний ефект забезпечується від впровадження теплових насосів, у яких тепловий насос поєднується з додатковим низько-потенційним джерелом тепла.

Тепло, що виробляється тепловими насосами, застосовується для опалення та гарячого водопостачання житлових, промислових та громадських споруд, а також для технологічних потреб. У «Концепції розвитку паливно-енергетичного комплексу України на 2006-2030 роки» прогнозується, що виробництво теплової енергії за рахунок теплових насосів до 2030 року буде еквівалентне використанню 20 млн. тон умовного палива в рік [3].

Нині працюють лише одиничні системи опалення, що використовують теплові насоси. І хоча дослідження у цій галузі проводяться давно, масштаби та сфери найефективнішого застосування теплових насосів не визначені, а роботи, пов'язані з розробкою і впровадженням їх в промислову енергетику, перебувають на стадії окремих досліджень і практичних застосувань. Це пов'язано з низкою чинників, зокрема:

– відсутність демонстраційних працюючих теплових насосів;
– широкої реклами їх використання;
– серійного виробництва теплових насосів.

Крім того, у розвинутих країнах світу впровадження теплових насосів відбувається за значної

державної підтримки у вигляді введення двох-ставкового тарифу на електроенергію, виділення субсидій при купівлі теплового насосу, податкових чи кредитних пільг тощо. Щодо напрямків застосування теплових насосів в Україні, то перспективними є такі:

– в Україні з промисловими і комунально-побутовими стічними водами скидається близько 70 тис. МВт/рік теплоти, яка може використовуватися у теплових насосах для теплопостачання комунальних і промислових об'єктів;

– електростанції (у тому числі й атомні) скидають для охолодження воду з температурою 30°С, яку також можна використати в системах теплових насосів;

– крім того, необхідно збільшити використання низькопотенційної енергії тепла землі, річок та морів [4].

На прикладі Київської ТЕЦ-5 був проведений аналіз можливостей використання теплового насоса та визначений його економічний ефект від такого використання у спільній роботі науково-дослідної лабораторії Інституту гідромеханіки НАН України, НТУУ «КПІ» та Королівського технологічного інституту (КТІ, Стокгольм, Швеція) [5]. Для зменшення споживання природного газу на ТЕЦ-5 було запропоновано використовувати низькопотенційне тепло води охолодження конденсатора та інших теплових стоків за допомогою теплових насосів.

Економія органічного палива за допомогою теплових насосів відбувається за рахунок корисного застосування скидного низькопотенційного тепла, що дасть можливість виробляти теплову енергію для потреб централізованого теплопостачання, охолоджувати воду до температури природного джерела та зменшити вплив на біологічні організми річки. Це дасть можливість отримати приблизно 200 Гкал/год теплової енергії.

Дослідниками Інституту технічної теплофізики НАН України, Національного аграрного університету України та Морської Академії Щецина (Польща) був проведений ексергетичний та економічний порівняльний аналіз традиційного і теплонасосного теплопостачання [6].

У якості об'єкта локального теплопостачання був розглянутий комплекс житлових будинків, для якого сумарна потреба в теплоті складає 3 МВт. Аналіз проводився на базі трьох систем традиційного теплопостачання на основі бойлерів, у яких джерелами енергії були: електроенергія; рідке паливо; газ; тепловий насос і сонячний колектор.

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок, що ефективність тепло-насосної системи трохи перевищує ефективність на рідкому паливі. Аналіз впливу зміни ККД бойлерів на результати вибору системи теплопостачання показує, що з використанням бойлерів старих конструкцій (η = 65%) теплонасосна система однозначно виявляється ефективнішою. При використанні бойлерів нових конструкцій система стає більш ефективною, ніж тепловий насос, однак слід враховувати додаткову вартість заходів щодо збереження рідкого палива. Розбіжність у результатах аналізу для системи на газі і теплонасосної системи у 2,6% не істотна, тому таке теплопостачання може бути серйозною альтернативою тепловому насосу.

Порівняльний аналіз, який передбачає зміну цін на паливо, демонструє переваги тепло-насосної системи теплопостачання. Зі зміною цін на енергоносії теплові насоси стали актуальними для України. Їхнє використання для опалення та гарячого водопостачання окремих будівель чи їх груп у геокліматичних умовах України має широкі перспективи, особливо з огляду на переваги теплових насосів порівняно з традиційними, джерела енергії яких через активне використання вичерпуються, зростають витрати на їх видобування або придбання та переробку та які мають негативні наслідки для довкілля.

Теоретичні розрахунки. Моделювання ґрунтується на проведенні розрахунків, пов'язаних із термодинамічним циклом. У даному випадку розглядаються тільки ключові компоненти теплового насоса: компресор, конденсатор, розширювальний клапан та випарник. Для спрощення моделі були внесені такі припущення:

– обидва теплообмінники (конденсатор і випарник) вважаються ізобарними;

– випробувальна установка в цілому вважається адіабатичною по відношенню до навколишнього середовища;

– зміна термодинамічного стану в розширювальному клапані відбувається ізоентальпійним чином.

Розглянемо типові величини, характерні для теплового насоса, що застосовується для відновлення тепла.

Для розрахунку теоретичних циклів теплового насосу задаємось наступними значеннями температур навколишнього середовища +2°С, нагріву теплоносія 70°С, температура шахтних вод, що використовуються для підігріву холодної частини теплового насосу 19°С. Розрахунки проводились за формулою 1, а дані COP та тисків всмоктування і нагнітання занесено в таблицю 1.

Теоретичний COP теплового насосу розраховано за формулою 1:

$$COP = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} \qquad (1)$$

де h_1 – ентальпія в точці всмоктування в компресор, h_2 – ентальпія в точці теоретичного стиснення в компресорі, h_3 – ентальпія в точці стиснення в компресорі.

З таблиці 1 видно, що COP у теоретичних розрахунках теплового насосу на суміші не сильно відрізняється від синтетичного холодоагенту R32. При

Таблиця 1

Теоретичні показники циклів теплових насосів

Холодоагент	Без підігріву			З підігрівом		
	Тиск нагнітання, МПа	Тиск всмоктування, МПа	COP	Тиск нагнітання, МПа	Тиск всмоктування, МПа	COP
R32	4,87	0,58	2,93	4,86	1,1	4,02
Суміш на природніх газах	1,06	0,086	3,03	1,06	0,18	4,24

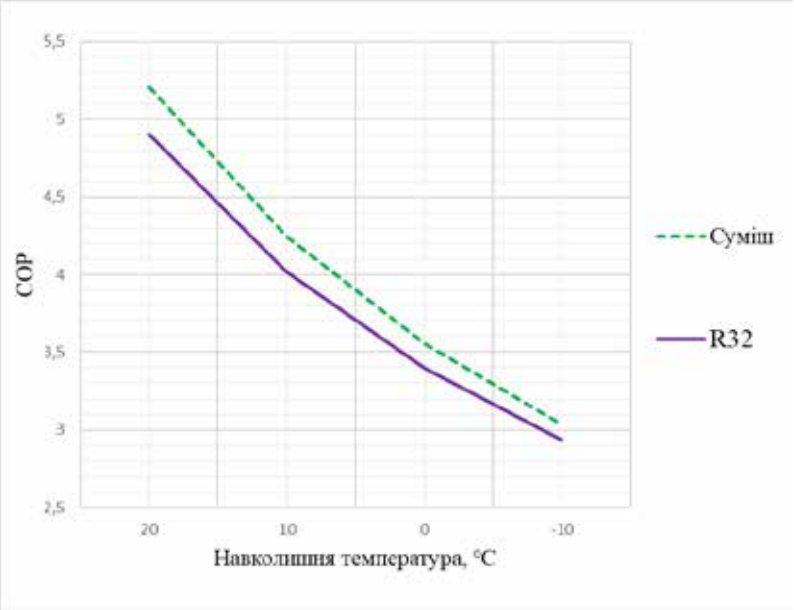


Рис. 1. Залежність COP від температури навколишнього середовища

цьому тиск R32 перевищує 4,87 МПа, що на практиці не можливо реалізувати, а тиски на пропані майже в 2,5 рази вище, ніж на сумішевих холодоагентах, що дозволяє догрівати теплоносій до 70°С.

Значення COP для сумішевого холодоагенту з використанням теплоти шахтних вод не в значній мірі перевищує показники синтетичних холодоагентів.

При порівняні даних видно, що COP при використанні тепла надлишкових шахтних вод 30% вище, ніж в циклі з використанням тепла навколишнього середовища. Також використання синтетичних холодоагентів R32 неможливе через високі робочі тиски нагнітання, що не дає змоги їх використовувати в сучасному обладнанні теплового насосу.

Значення COP для розрахованих холодоагентів занесені на рис. 1 при температурі нагріву води до 70°С та зміні температури навколишнього середовища від +20°С до -10 °С. Як видно з графіку, показники COP для циклу теплового насосу на сумішах перевищують COP для циклу на синтетичних холодоагентах у всьому діапазоні температур навколишнього середовища.

Наведений графік на рисунку 2 підтверджує, що використання зеотропних сумішей при однакових температурах нагріву води дозволяє знизити тиски нагнітання, у порівнянні з холодоагентом R32.

Результати випробувань. Після теоретичних розрахунків було розроблено стенд для випробувань холодоагентів, схема якого наведена на рис. 3.

Результати досліджень зводилися до пошуку реперних точок теплового насосу для синтетичного холодоагенту R32 та сумішевого холодоагенту на природніх газах для перевірки розрахунків та підтвердження ефективності.

На стенді були проведені випробування R32 та сумішевого холодоагентів при встановленій температурі навколишнього середовища 10°С. Дані випробувань представлені на графіку рис. 4.

Як видно з графіку, COP теплового насосу на холодоагенті, що містить суміш природніх газів, перевищував свій синтетичний аналог майже у 2 рази при температурах нагріву води до 40°С.

Під часу нагріву води до 60°С тепловий насос на R32 не працював через перевищення тисків нагнітання, що були більше 3,5 МПа, а це майже в 4 рази

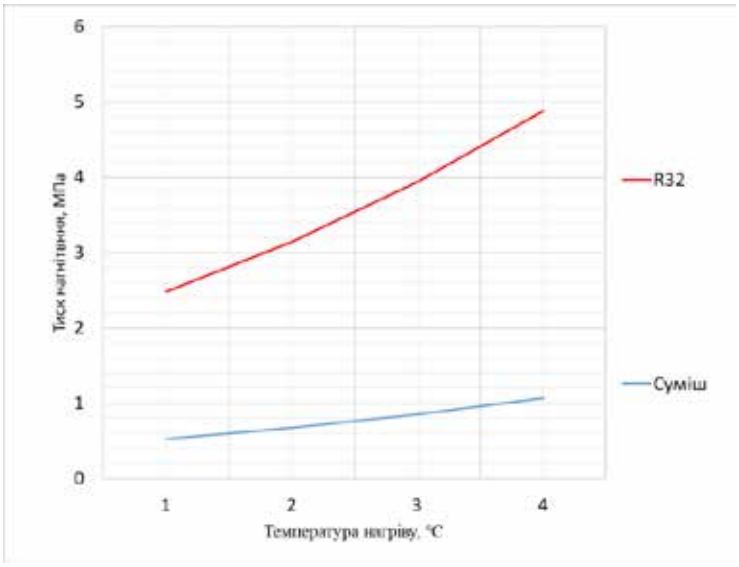


Рис. 2. Залежність тиску нагнітання від температури нагріву

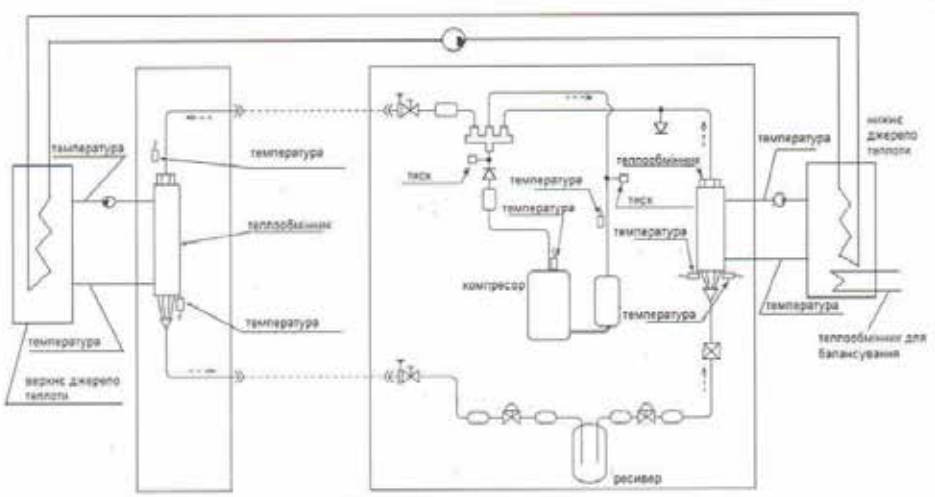


Рис. 3. Схема випробувального стенду теплового насосу

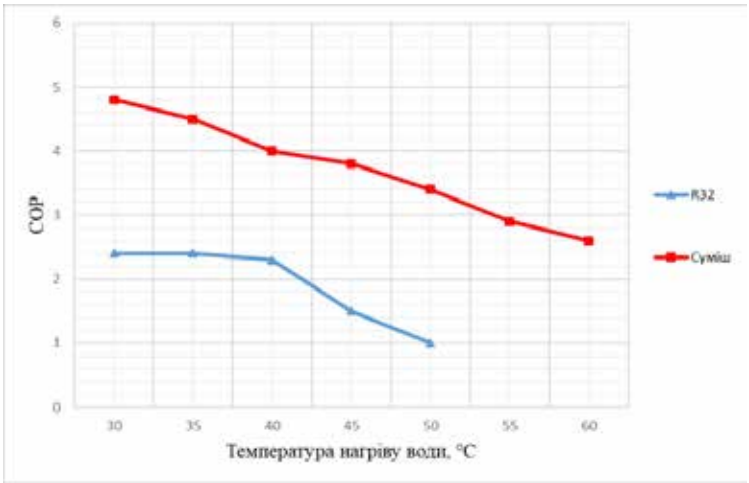


Рис. 4. Результати випробувань холодоагентів на випробувальному стенді теплового насосу

більше, ніж тиск нагнітання на сумішевому холодоагенті. При цьому тепловий насос на сумішевому холодоагенті мав високі показники COP.

Наступними були проведені випробування теплового насосу на холодоагентах R32 та суміші природніх газів, при заданих наступних умовах: температура низько-потенційного джерела тепла встановлювалась 12,15, та 20°С. За даних температурах тепловий насос підігрівав теплоносій до температур від 35 до 60°С. У таблицю 2 занесено основні параметри циклу теплового насосу, які були отримані під час проведення досліджень, а саме: температура нагріву води, COP, тиск всмоктування і нагнітання, температура входу і виходу

Таблиця 2

Результати випробувань теплового насоса на R32 та холодоагенту, що містить природні гази

Температура нагріву води, °С	R32						Суміш природніх газів					
	COP	$P_н$ бар	$P_{вс}$ бар	$t_{вх}$ води °С	$t_{вих}$ води °С	Температура шахтної води, °С	COP	$P_н$ бар	$P_{вс}$ бар	$t_{вх}$ води °С	$t_{вих}$ води °С	Температура шахтної води, °С
60	-	-	-	-	-	-	3,3	7,15	1,68	55,4	60,2	12
	-	-	-	-	-	-	3,4	7,22	1,86	55,1	59,3	15
	-	-	-	-	-	-	3,7	7,2	2,2	55,3	60,1	20
55	2,9	37,7	8,7	50,2	55,2	12	3,8	6,83	1,72	50,4	55,6	12
	3,0	35,6	8,7	48,3	53,0	15	3,9	6,87	1,9	48,1	53,0	15
	3,2	38,1	10,0	49,9	55,2	20	4	6,81	2,15	49,7	55,2	20
50	3,1	33, 7	8,0	45,7	50,2	12	3,9	6,55	1,72	45,5	50,5	12
	3,3	33,6	8,6	45,3	50,2	15	4,1	6,52	1,9	45,1	50,2	15
	3,7	34,1	9,9	50,0	44,6	20	4,5	6,5	2,1	50,0	44,4	20
45	3,7	29,7	8,0	40,4	45,1	12	4,5	5,8	1,77	40,2	45,2	12
	3,9	30,2	8,8	40,2	45,3	15	4,7	5,81	1,95	40,0	45,3	15
	4,3	30,7	9,7	39,6	45,3	20	5,1	5,82	2	38,9	44,8	20
40	4,2	26,4	7,8	35,2	40,0	12	5	5,33	1,66	35,0	40,1	12
	4,6	27,2	8,7	35,7	39,9	15	5,4	5,33	1,95	34,3	39,9	15
	4,7	28,0	9,5	32,4	40,8	20	5,7	5,33	2.3	32,2	40,8	20
35	4,8	22,8	8,3	28,9	34,8	12	5,6	4,05	1,78	28,7	34,8	12
	4,8	24,8	8,5	31,1	37,9	15	5,6	4,05	1,89	30,9	37,9	15
	4,9	27,8	8,3	29,8	35,6	20	6,3	5,3	2,2	30,3	37,9	20

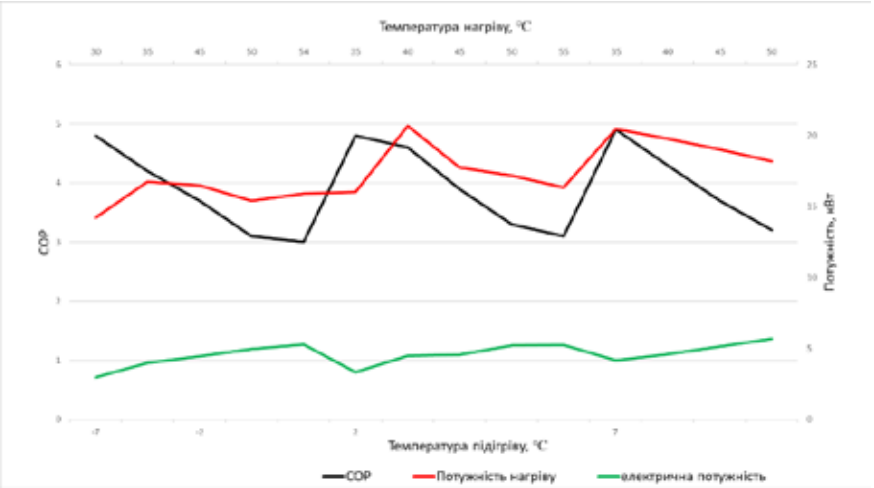


Рис. 5. Результати випробувань холодоагенту R32 на випробувальному стенді

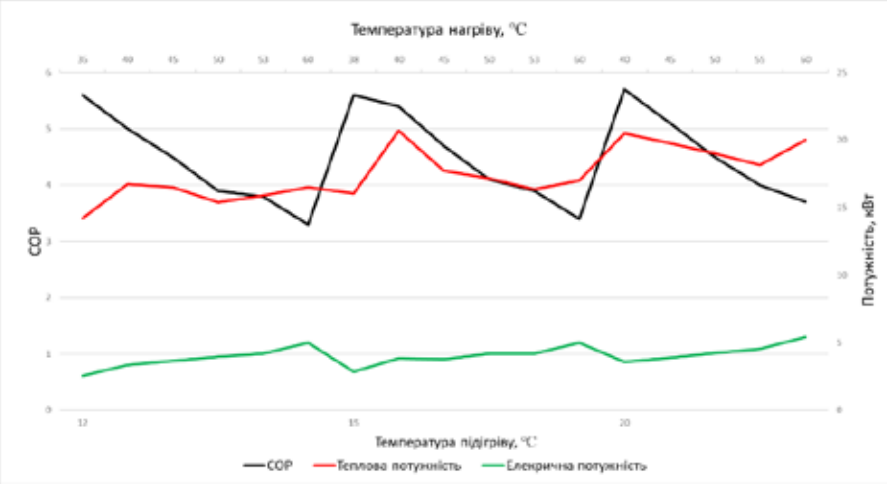


Рис. 6. Результати випробувань холодоагенту, що містять природні гази на випробувальному стенді

води в теплообмінник, температура підігріву низькопотенційного теплоносія.

На графіках рис. 5 та рис. 6 представлені результати випробувань R32 та сумішевого холодоагенту при температурах низько-потенційного тепла (12, 15, 20°С) та температури нагріву теплоносія від 35 до 60°С. Графіки демонструють дані щодо COP, потужності нагріву (кВт) та електричної потужності (кВт).

Висновки. Використання сумішевого холодоагенту на основі природніх газів з підігрівом теплом шахтних вод дає можливість значно підвищити енергоефективність теплового насосу порівняно з нині існуючими, широко розповсюдженими у всьому світі, тепловими насосами на синтетичних холодоагентах.

Додатковий перегрів холодоагенту за рахунок використання шахтних вод при температурі 20°С дає приріст COP у майже на 30 відсотків для сумішевих холодоагентів порівняно з циклом теплових насосів на синтетичних холодоагентах.

Література

1. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А. Котельні установки : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2016. 185 с.
2. Мінінфраструктури разом з USAID реформуватимуть сектор центрального теплопостачання. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/mininfrastruktury-razom-z-usaid-reformuvatymut-sektor-tsentralnoho-teplopostachannia
3. Наказ Міністерства палива та енергетики № 288 (v0288558-05) від 29.06.2005 «Про результати розширеного засідання колегії Мінпаливенерго від 24 червня 2005 року». URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0288558-05#Text
4. Сліпець І. В. Ринок теплових насосів в Україні та світі. URL: https://ukrinterm.com.ua/images/nova-tema/st_18.pdf
5. Бутузов В.А. Перспективи використання теплових насосів. *Пром енергетика*. 2005. № 10. С 5–7.
6. Долинский А.А., Драганов Б.Х., Морозюк Т.В. Альтернативне теплопостачання на базі теплових насосів: критерії оцінки. *Промислова теплотехніка*. 2007. № 6. С. 67–71.

УДК 620.9:502/504
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.2

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ ПЕРЕВАГ ТА ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Бондар О.Б.[1], **Цицюра Н.І.**[2], **Дух О.І.**[2], **Воробець С.Б.**[1], **Лемега Н.М.**[3]
[1]Західноукраїнський національний університет
вул. Львівська, 3, 46009, м. Тернопіль
[2]Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія
вул. Ліцейна, 1, 47003, м. Кременець
[3]Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79007, м. Львів
olexandr.bondar91@gmail.com, smaragds@ukr.net, nadiia.lemega@lnu.edu.ua

У статті розглядаються екологічні переваги та потенціал використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні, зокрема сонячної, вітрової енергетики, гідроенергетики та біомаси. Відновлювані джерела енергії є ключовими для сталого розвитку, оскільки їх використання сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля, зниженню викидів парникових газів і скороченню залежності від викопного палива. Однак кожен із видів ВДЕ має свої екологічні особливості та виклики, що необхідно враховувати при оцінці їхнього впливу на природу та під час планування енергетичних стратегій.

Для оцінки екологічних переваг ВДЕ було використано систему критеріїв, яка включає: зменшення викидів парникових газів, вплив на біорізноманіття, споживання природних ресурсів та довготривалу стійкість. Оцінка за цими критеріями виконувалася за п'ятибальною шкалою, що дозволило глибше проаналізувати вплив різних джерел енергії на довкілля та визначити їх екологічний потенціал для сталого розвитку. Результати показують, що сонячна та вітрова енергетика мають найвищі показники у зниженні викидів парникових газів і найменший негативний вплив на довкілля. Сонячна енергія, завдяки розвитку технологій, має високий потенціал застосування навіть у регіонах із помірним сонячним випромінюванням, що значно розширює її географічну доступність.

Гідроенергетика також позитивно впливає на скорочення викидів CO_2, однак має певні екологічні обмеження, оскільки створення водосховищ може змінювати природні річкові екосистеми, впливати на міграцію водних організмів та спричиняти викиди метану. Біомаса є вуглецево нейтральним джерелом, проте її стійкість залежить від наявності природних ресурсів, що необхідні для вирощування біомаси, а також від контролю за конкуренцією з продовольчими культурами.

Дослідження демонструє, що сонячна та вітрова енергетика мають найвищий потенціал розвитку завдяки високій екологічній ефективності та тривалій стабільності. Гідроенергетика залишається надійним джерелом енергії для регіонів із великим запасом водних ресурсів, однак вимагає ретельного управління з метою зменшення шкоди для місцевих екосистем. Біомаса, у свою чергу, має значний потенціал для відновлення та утилізації органічних відходів, але потребує раціонального використання для зниження негативного екологічного впливу.

Відновлювані джерела енергії потребують системного підходу для інтеграції в енергетичну систему країни, що включає екологічні, економічні та соціальні аспекти їх використання. Використання нових технологій, зокрема систем зберігання енергії та інтелектуальних мереж, може підвищити ефективність ВДЕ та забезпечити стабільне енергопостачання в умовах зростаючого попиту. Стратегічне впровадження ВДЕ сприятиме екологічній рівновазі, зниженню парникових викидів та зміцненню енергетичної незалежності України в рамках глобальної енергетичної трансформації. *Ключові слова:* відновлювані джерела енергії, екологічна оцінка, сталий розвиток, сонячна енергетика, вітрова енергетика, гідроенергетика, біомаса, зниження викидів, біорізноманіття, економічна ефективність.

Methodological approaches to assessing the environmental benefits and potential of renewable energy sources in Ukraine. Bondar O., Tsytsiura N., Dukh O., Vorobets S., Lemeha N.

This article discusses the environmental benefits and potential of renewable energy sources (RES) in Ukraine, including solar, wind, hydropower and biomass. Renewable energy sources are key to sustainable development, as their use helps to reduce the negative impact on the environment, lower greenhouse gas emissions and reduce dependence on fossil fuels. However, each type of RES has its own environmental features and challenges, which should be taken into account when assessing their environmental impact and planning energy strategies.

To assess the environmental benefits of RES, a system of criteria was used, which includes: reduction of greenhouse gas emissions, impact on biodiversity, consumption of natural resources and long-term sustainability. These criteria were assessed on a five-point scale, which allows for a deeper analysis of the environmental impact of different energy sources and determination of their environmental potential for sustainable development. The results show that solar and wind energy have the highest rates of greenhouse gas emission reduction and the least negative impact on the environment. Solar energy, due to the spread of technology, has a high potential for use even in regions with moderate solar radiation, which significantly expands its geographical availability.

Hydropower also has a positive impact on reducing CO_2 emissions, but has certain environmental limitations, as the creation of reservoirs can alter natural river ecosystems, affect the migration of aquatic organisms and cause methane emissions. Biomass is a carbon-neutral source, but its sustainability depends on the availability of natural resources needed to grow biomass, as well as on controlling competition with food crops.

The study shows that solar and wind power have the highest development potential due to their high environmental efficiency and long-term stability. Hydropower remains a reliable source of energy for regions with abundant water resources, but requires careful management to reduce damage to local ecosystems. Biomass, for its part, has significant potential for the recovery and utilisation of organic waste, but needs to be used rationally to reduce negative environmental impacts.

Renewable energy sources require a systematic approach to be integrated into the country's energy system, including environmental, economic and social aspects of their use. The use of new technologies, such as energy storage systems and smart grids, can increase the efficiency of RES and ensure a stable energy supply in the face of growing demand. Strategic implementation of renewable energy sources will contribute to ecological balance, reduce greenhouse gas emissions and strengthen Ukraine's energy independence as part of the global energy transformation. *Key words:* renewable energy sources, environmental assessment, sustainable development, solar energy, wind energy, hydropower, biomass, emission reduction, biodiversity, economic efficiency.

Постановка проблеми. Сучасний світ стикається з великими викликами у забезпеченні енергетичної незалежності та екологічної стійкості [5]. Основну частину енергії у багатьох країнах, включно з Україною, все ще забезпечують викопні види палива, що значно навантажують екосистеми та сприяють посиленню кліматичних змін через високий рівень викидів парникових газів [4]. Використання викопного палива призводить до забруднення повітря, погіршує стан здоров'я населення та негативно впливає на довкілля [1, 14]. У зв'язку з цим виникає потреба в пошуку й активному впровадженні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), які сприятимуть підтримці екологічної рівноваги та забезпеченню сталого розвитку країни.

Актуальність дослідження. Відновлювані джерела енергії [13] є вкрай актуальними для України, яка прагне досягти енергетичної незалежності та мінімізувати негативний вплив на природне середовище [6]. Використання ВДЕ, таких як сонячна [7], вітрова [2], гідроенергетика [4] та біомаса [13], відкриває широкі можливості для значного зменшення викидів CO_2, що позитивно впливає на екосистеми та здоров'я людей. На тлі глобальної енергетичної кризи, що супроводжується зростанням цін на викопні ресурси та їх зменшенням, дослідження екологічних переваг ВДЕ стає особливо важливим. Це надає можливість Україні створити ефективну енергетичну стратегію, орієнтовану на сталий розвиток.

Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження відновлюваних джерел енергії тісно переплітається з глобальними екологічними та енергетичними завданнями, які ставлять за мету досягнення енергетичної безпеки, скорочення викидів парникових газів і зниження негативного впливу на біорізноманіття. Зокрема, ВДЕ розглядаються як ключовий елемент у реалізації Паризької угоди та інших міжнародних екологічних ініціатив. Україна має можливість впроваджувати сучасні технології та методики оцінки екологічного потенціалу ВДЕ, що допоможе знизити енергетичну залежність, підвищити економічну стабільність і створити нові робочі місця в секторі зеленої енергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові дослідження та публікації підтверджують значний потенціал ВДЕ для забезпечення сталого розвитку України [8]. Так, дослідження інституту відновлюваної енергетики НАН України [6] та звіти міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) свідчать про високу екологічну ефективність сонячної та вітрової енергетики [9] у зниженні викидів CO_2 [11]. Важливий внесок робить і глобальна рада з вітрової енергетики (GWEC), яка підкреслює перспективи розвитку цього напрямку. Проте, незважаючи на вагомі здобутки, екологічні аспекти ВДЕ потребують подальшого дослідження, особливо з урахуванням унікальних природних умов України.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Незважаючи на великий обсяг досліджень, є аспекти, що потребують додаткового розгляду. Це, зокрема, детальне вивчення впливу ВДЕ на біорізноманіття, а саме потенційні негативні наслідки для екосистем від розташування сонячних та вітрових електростанцій. Також є потреба вивчити тривалу стійкість різних типів ВДЕ у специфічних умовах клімату та ресурсів України. Означена стаття присвячена розгляду цих аспектів, пропонуючи шляхи їх вирішення і рекомендації для подальшого впровадження ВДЕ в Україні.

Метою дослідження є оцінка екологічних переваг і викликів застосування відновлюваних джерел енергії в Україні для підтримки сталого розвитку, враховуючи зниження викидів парникових газів, вплив на біорізноманіття, раціональне використання природних ресурсів та забезпечення довготривалої стійкості.

Матеріали і методи досліджень.

1. Для оцінки екологічних переваг відновлюваних джерел енергії використовується авторська методика на підставі основних критеріїв.

Зниження викидів парникових газів – оцінка того, наскільки ефективно джерело енергії сприяє зменшенню викидів CO_2 та інших парникових газів.

Вплив на біорізноманіття – визначає, яким є вплив джерела на природні екосистеми, рослинний і тваринний світ.

Використання природних ресурсів – аналізує, які обсяги ресурсів, зокрема землі, води та мінералів, потрібні для експлуатації джерела.

Довготривала стійкість – характеризує стабільність і надійність джерела енергії в перспективі тривалого використання.

Для кожного критерію застосовується п'ятибальна шкала, що дозволяє ретельно оцінити еко-

логічні переваги та недоліки джерела енергії. Детальний опис кожного рівня наведено нижче:

Зниження викидів парникових газів

1/5: Джерело спричиняє значні викиди парникових газів у процесі виробництва чи експлуатації.

2/5: Викиди суттєві, але нижчі, ніж у традиційних джерелах енергії.

3/5: Викиди помірні, але все ж відчутні на різних етапах використання.

4/5: Викиди відсутні або мінімальні, але можливі незначні на окремих етапах, таких як виготовлення або переробка матеріалів.

5/5: Джерело є повністю екологічним та не спричиняє викидів парникових газів під час експлуатації.

Вплив на біорізноманіття

1/5: Джерело значно порушує екосистеми та спричиняє втрату біорізноманіття.

2/5: Відчутний негативний вплив на екосистеми, особливо у вразливих природних зонах.

3/5: Помірний вплив на екосистеми, який може бути контрольованим.

4/5: Негативний вплив є мінімальним і зосереджується у певних регіонах або видах.

5/5: Джерело має практично нульовий вплив на екосистеми та біорізноманіття.

Використання природних ресурсів

1/5: Джерело вимагає значних обсягів природних ресурсів, що може призводити до їх виснаження.

2/5: Ресурси використовуються у великих обсягах, що чинить значний тиск на довкілля.

3/5: Використання ресурсів є помірним і зазвичай збалансоване з їх відновленням.

4/5: Джерело раціонально використовує ресурси, що мінімізує його вплив на природу.

5/5: Використання ресурсів є мінімальним або відсутнім, що робить джерело максимально екологічним.

Довготривала стійкість

1/5: Джерело не є стійким у довгостроковій перспективі через можливе виснаження ресурсів або погіршення екологічних умов.

2/5: Довготривала стійкість обмежена залежністю від ресурсів чи зовнішніх факторів.

3/5: Стійкість можлива, але залежить від кліматичних та інших умов.

4/5: Джерело є стабільним у довготривалій перспективі, але частково залежить від певних умов.

5/5: Джерело абсолютно стійке та придатне для тривалого використання без обмежень.

2. Для оцінки потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в різних галузях економіки України застосовуються такі основні критерії:

Доступність ресурсу – аналізуємо наявність та поширення енергетичного ресурсу в конкретному регіоні.

Технологічна готовність – визначаємо рівень розвитку технологій, потрібних для впровадження та ефективного використання джерела енергії.

Вартість впровадження – фінансові витрати, пов'язані з установкою та експлуатацією систем для використання джерела.

Екологічний вплив – оцінюємо можливі екологічні наслідки для навколишнього середовища.

Економічна ефективність – визначаємо вигоду та рентабельність використання енергетичного джерела як у короткостроковому, так і в довгостроковому періоді.

Для детальної оцінки кожного джерела використовуємо п'ятибальну шкалу, що допомагає оцінити кожен критерій окремо. Нижче наведено детальний опис рівнів для кожного критерію.

1. Доступність ресурсу

1/5: Ресурс є дуже рідкісним або малодоступним, що робить його використання економічно невигідним.

2/5: Ресурс є, але в обмеженій кількості або з низькою якістю, що ускладнює його ефективне застосування.

3/5: Ресурс є доступним у помірних обсягах, але потребує додаткових витрат або зусиль для оптимального використання.

4/5: Ресурс досить поширений і забезпечує можливість його використання в енергетичній системі.

5/5: Ресурс дуже доступний, що дозволяє його широке використання без значних обмежень.

2. Технологічна готовність

1/5: Технології перебувають на початковому етапі або мало досліджені, що робить впровадження важким.

2/5: Технології доступні, але їхня ефективність невисока або вони потребують удосконалення.

3/5: Технології на середньому рівні розвитку, придатні до використання, але вимагають оптимізації.

4/5: Технології добре розвинені, але можуть потребувати адаптації до конкретних умов.

5/5: Технології є високоефективними, готові до масштабного застосування та перевірені на практиці.

3. Вартість впровадження

1/5: Дуже висока вартість впровадження, що робить проєкт економічно недоцільним без значної фінансової підтримки.

2/5: Значні витрати, які можуть бути виправдані лише за певних умов або за наявності додаткових ресурсів.

3/5: Помірні витрати, але можуть вимагати додаткових інвестицій або субсидій.

4/5: Витрати є прийнятними, що робить проєкт економічно вигідним у середньостроковій перспективі.

5/5: Низька вартість впровадження, що забезпечує швидке повернення інвестицій і фінансову вигоду.

4. Екологічний вплив

1/5 Використання джерела створює серйозні негативні наслідки для довкілля, наприклад, деградацію екосистем або виснаження ресурсів.

2/5: Джерело має значний вплив на довкілля, але існують методи зменшення негативних наслідків.

3/5: Джерело має помірний вплив на екосистеми, екологічні ризики є контрольованими.

4/5: Негативний вплив незначний, шкода для екосистем мінімальна.

5/5: Джерело екологічно безпечне, не шкодить довкіллю та може сприяти покращенню екологічної ситуації.

5. Економічна ефективність

1/5: Джерело є економічно невигідним, вимагає значних інвестицій без гарантованої окупності.

2/5: Економічна ефективність низька, вигоди обмежені або ризикові.

3/5: Джерело є помірно вигідним, але потребує довгострокових інвестицій для окупності.

4/5: Джерело є економічно вигідним, а інвестиції окупаються в середньостроковій перспективі.

5/5: Джерело дуже економічно вигідне, з швидкою окупністю інвестицій та стабільною фінансовою вигодою.

Результати досліджень. 1. Оцінка екологічних характеристик відновлюваних джерел енергії продемонструвала значні відмінності у їх впливі на навколишнє середовище, потребі в ресурсах та стійкості в довготривалій перспективі. Дослідження базується на чотирьох ключових критеріях: скорочення викидів парникових газів, вплив на біорізноманіття, споживання природних ресурсів та довготривала стабільність. Кожному з джерел енергії були присвоєні відповідні оцінки на основі їх екологічних характеристик (рис. 1).

Сонячна та вітрова енергетика отримали найвищі оцінки за ефективність зниження викидів парникових газів (5/5), адже під час їх використання не потрібно спалювати паливо, тому відсутні викиди CO_2 та інших забруднювальних речовин. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA) прогнозує [11], що значне використання сонячних технологій може скоротити світові викиди на 21% до 2050 року.

Значний внесок у скорочення викидів робить також вітрова енергетика, що підтверджено даними Global Wind Energy Council (GWEC) [9]. Гідроенергетика отримала оцінку 4/5, хоча в процесі роботи гідроелектростанції не генерують парникових газів, але під час створення водосховищ можливе виділення метану. Біомаса отримала нижчу оцінку (3/5), оскільки її спалювання виробляє CO_2, хоч цей процес частково нейтралізується тим, що рослини вбирають цей газ у процесі росту.

Вплив на біорізноманіття є вагомим критерієм, особливо для екосистем, що можуть постраждати від впровадження нових технологій. Найбільше загрожує біорізноманіттю гідроенергетика (2/5) – створення дамб та водосховищ змінює природні річ-

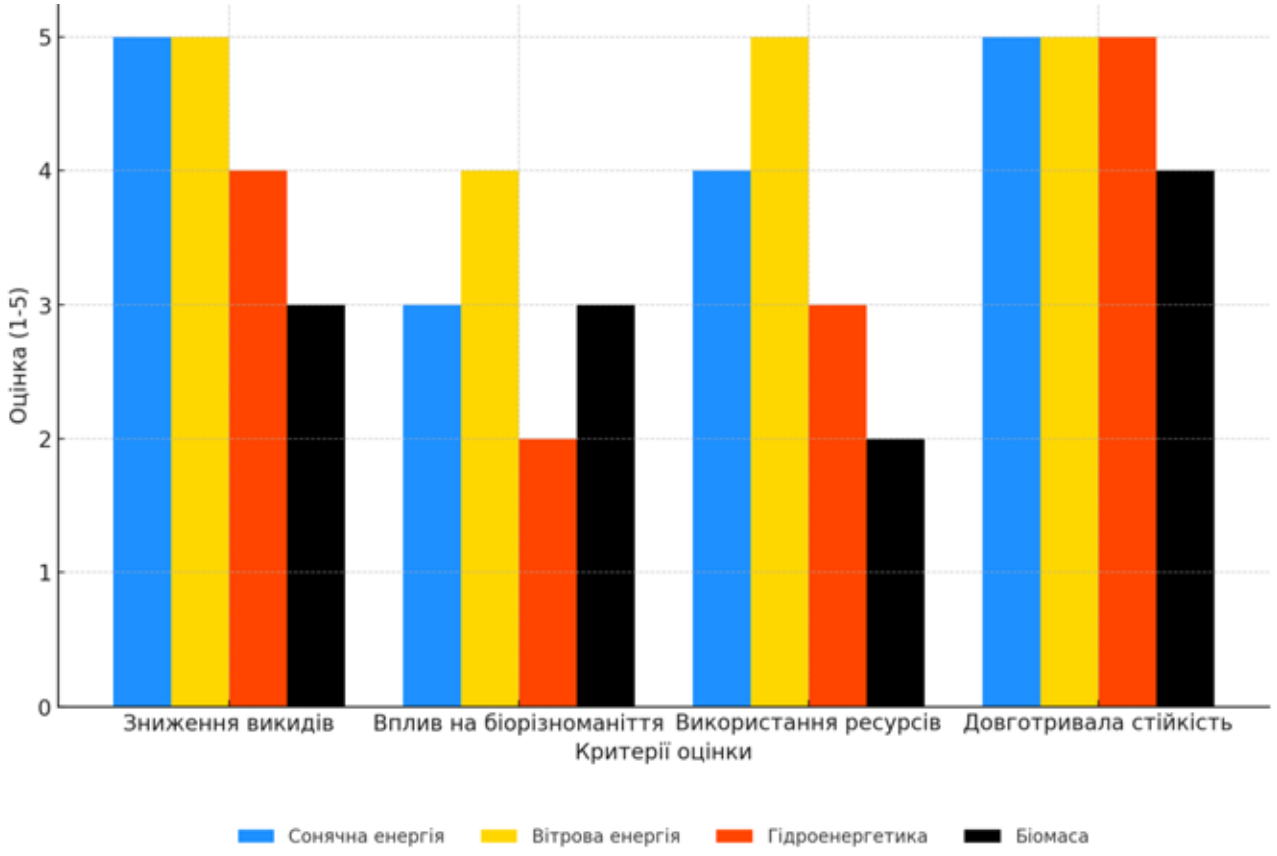


Рис. 1. Оцінка екологічних переваг для відновлювальних джерел енергії

кові екосистеми і може перешкоджати міграції риб та інших водних видів. Сонячна енергія (3/5) також може мати вплив, оскільки великі сонячні ферми займають значні площі землі, що може бути проблемою в регіонах із багатим біорізноманіттям. Вітрова енергія отримала оцінку 4/5 за мінімальний вплив на екосистеми, хоча турбіни становлять ризик для птахів і кажанів. Біомаса (3/5) може негативно впливати на біорізноманіття, оскільки для її виробництва часто використовуються монокультури, що скорочує природні середовища існування.

Вітрова енергетика є найбільш ефективною у споживанні природних ресурсів (5/5), адже вітер – це безкоштовний та невичерпний ресурс, який не потребує значних обсягів води або землі. Сонячна енергетика (4/5) теж ефективна, проте виготовлення панелей потребує рідкісних металів, видобуток яких може завдавати шкоди довкіллю. Гідроенергетика з оцінкою 3/5 потребує великої кількості води, що може бути проблемним у регіонах з обмеженими водними ресурсами. Крім того, водосховища займають значні площі, що також впливає на природу. Найнижчий бал отримала біомаса (2/5), оскільки вирощування культур для її отримання потребує багато води та земельних ресурсів, що може створювати конкуренцію з продовольчими культурами.

Сонячна, вітрова енергетика і гідроенергетика мають найвищу оцінку за довготривалу стійкість (5/5) завдяки їх невичерпності та можливості широкого впровадження нових технологій, що підвищують ефективність. Гідроелектростанції можуть працювати протягом десятиліть, забезпечуючи стабільне енергопостачання у регіонах з багатими водними ресурсами. Біомаса, з оцінкою 4/5, також є поновлюваним ресурсом, проте її стійкість залежить від якості ґрунту та доступності води. Вдосконалення технологій може підвищити ефективність біомаси, але головною проблемою залишається конкуренція з продовольчими культурами.

Отже, аналіз екологічних переваг різних джерел енергії свідчить, що сонячна і вітрова енергетика мають найвищий потенціал для скорочення викидів парникових газів та мінімального впливу на навколишнє середовище. Ці джерела можуть ефективно сприяти досягненню глобальних екологічних цілей, зокрема зниженню викидів CO_2, що передбачено Паризькою угодою. Гідроенергетика є стабільним джерелом, однак її вплив на річкові екосистеми та біорізноманіття вимагає ретельного регулювання. Біомаса також має значний потенціал для утилізації органічних відходів, проте для зменшення її екологічного впливу необхідне вдосконалення технологій.

Для ефективного впровадження відновлюваних джерел енергії необхідний інтегрований підхід, який враховує екологічні, економічні та соціальні аспекти. Застосування інноваційних технологій, таких як системи зберігання енергії та інтелектуальні мережі, може підвищити ефективність і стабільність енергопостачання в умовах зростаючого попиту.

2. *Аналіз оцінок потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в Україні* демонструє різноманітні аспекти ефективності кожного з видів енергетики. Розглянемо результати оцінювання за критеріями доступності ресурсу, технологічної готовності, вартості впровадження, екологічного впливу та економічної ефективності (рис. 2).

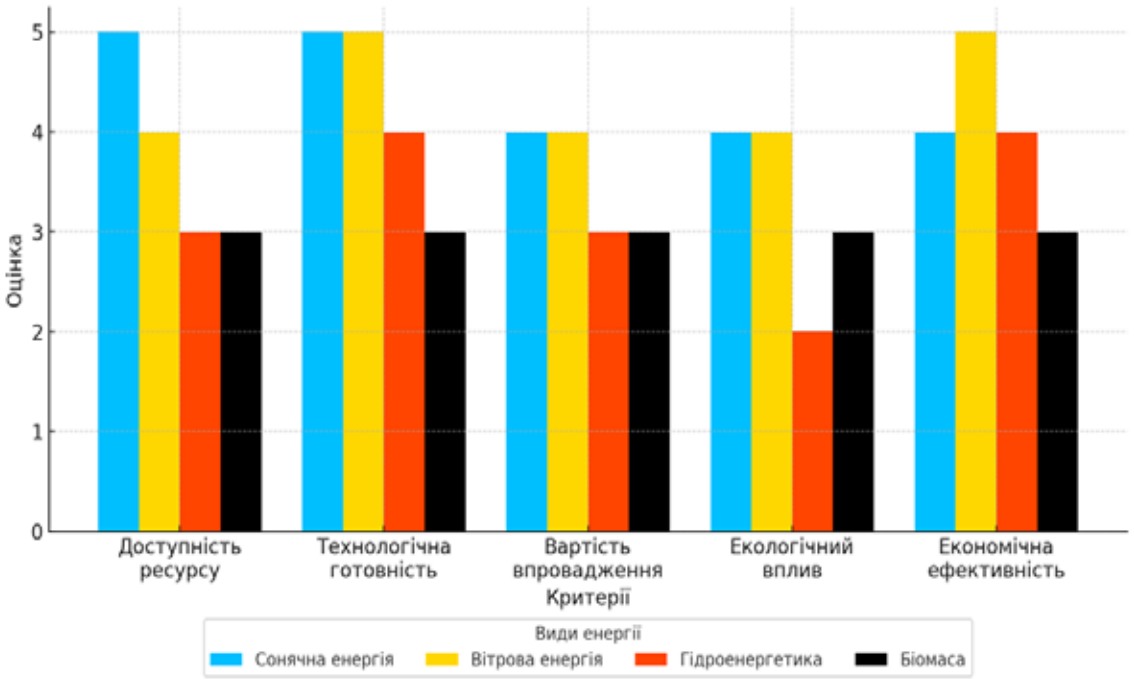


Рис. 2. Оцінка потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в Україні

Сонячна енергія (5/5) отримала максимальні оцінки завдяки широкій поширеності сонячного випромінювання, що робить її придатною для використання по всій території України. Вітрова енергетика (4/5) також має значний потенціал, особливо у районах із стабільними вітровими потоками. Гідроенергетика (3/5), навпаки, обмежена наявністю великих водних об'єктів, через що може бути використана тільки в певних регіонах. Біомаса (3/5) є більш доцільною у сільськогосподарських районах, але її доступність багато в чому залежить від наявності ресурсів для вирощування енергетичних культур.

Технології сонячної (5/5) та вітрової енергетики (5/5) є добре розвиненими та придатні для широкого використання, що дозволяє стабільно забезпечувати енергопостачання за рахунок цих джерел. Гідроенергетика (4/5) також має міцну технологічну основу, однак потребує значних інженерних ресурсів для спорудження великих станцій. Використання біомаси (3/5) обумовлене наявністю технологій для ефективного управління ресурсами, що може знижувати її результативність за певних умов.

Хоча початкові інвестиції у сонячну (4/5) та вітрову енергетику (4/5) досить високі, зниження вартості обладнання та подальший розвиток технологій роблять ці джерела дедалі економічно вигіднішими. Гідроенергетика (3/5) також потребує значних вкладень на початковому етапі, але може приносити економічні переваги у довгостроковій перспективі. Вартість виробництва енергії з біомаси (3/5) суттєво залежить від вартості сировини та витрат на транспортування, що може знижувати її економічну привабливість.

Сонячна (4/5) та вітрова енергетика (4/5) мають мінімальний вплив на довкілля, оскільки під час експлуатації не утворюють парникових газів. Це робить їх екологічно безпечними варіантами енергозабезпечення. Гідроенергетика (2/5), хоча й продукує чисту енергію, може негативно впливати на водні екосистеми через будівництво водосховищ. Використання біомаси (3/5), хоч і вуглецево нейтральне, може виснажувати земельні й водні ресурси, що підвищує екологічні ризики, особливо в процесі вирощування енергетичних культур.

Вітрова енергія (5/5) має найвищу економічну ефективність завдяки низьким експлуатаційним витратам та швидкій окупності інвестицій. Сонячна енергія (4/5) також є економічно привабливою через довгий термін служби сонячних панелей та невисокі витрати на їх обслуговування. Гідроенергетика (4/5) є стабільним джерелом енергії у довгостроковій перспективі, проте потребує значних початкових інвестицій. Біомаса (3/5) є вигідною у регіонах з доступними біоресурсами, але її рентабельність може знижуватися через високі витрати на сировину та транспортування.

Отже, сонячна та вітрова енергія мають найвищий потенціал для сталого розвитку в Україні завдяки високій екологічності, стабільній доступності ресурсів та економічній ефективності. Гідроенергетика (з оцінкою 4/5) може слугувати надійним джерелом для регіонів з великими водними ресурсами, хоча її вплив на екосистеми потребує додаткових заходів для зменшення екологічних ризиків. Біомаса (3/5) також має перспективи, особливо в сільськогосподарських районах, однак потребує вдосконалення технологій для зниження екологічного навантаження.

Головні висновки. Відновлювані джерела енергії, серед яких сонячна, вітрова, гідроенергетика та біомаса, мають значний потенціал для сталого розвитку енергетичної галузі України. Завдяки високій екологічності, стабільності ресурсної бази та економічній привабливості, сонячна та вітрова енергетика виступають перспективною альтернативою, здатною зменшити залежність від викопних палив. Гідроенергетика є стабільним джерелом для регіонів із багатими водними ресурсами, але її використання потребує екологічного контролю, щоб зменшити негативний вплив на довкілля. Біомаса також має потенціал, особливо для переробки органічних відходів, однак потребує технологічного вдосконалення для зниження конкуренції з харчовою промисловістю. Використання всіх видів відновлюваної енергетики вимагає комплексного підходу, що враховує як екологічні, так і економічні та соціальні аспекти. Це дозволяє ефективно використовувати доступні ресурси та забезпечити баланс між розвитком та охороною навколишнього середовища.

Аналіз потенціалу використання відновлюваних джерел енергії свідчить про найвищу результативність сонячної та вітрової енергетики у скороченні викидів парникових газів, зменшенні негативного впливу на біорізноманіття та високих показниках економічної ефективності. Хоча географічно гідроенергетика має обмежений діапазон застосування, вона здатна надійно забезпечувати енергопостачання у місцевостях з багатими водними ресурсами, тоді як біомаса може ефективно замикати цикли енерговиробництва при належному контролі. Ефективне впровадження відновлюваних джерел енергії потребує впровадження інноваційних рішень, як-от інтеграція інтелектуальних мереж та технологій зберігання енергії. Це сприятиме підвищенню надійності енергосистеми в умовах зростаючого попиту та забезпечуватиме природний баланс.

Література

1. Відновлювальні джерела енергії / С. Р. Боблях, В. С. Мельнійчук, В. С. Мельник, Р. М. Ігнатюк: монографія. Луцьк. Волинський національний університет ім. Лесі Українки. 2012. 227 с.
2. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
3. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики. Промислова теплотехніка. 2017, т. 39, № 2, с. 60-64. https://doi.org/10.31472/ihe.2.2017.09
4. Герасімов Є. Г., Герасимов Г. Г. Використання відновлювальних джерел енергії : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2023. 467 с.
5. Гідроенергетика є найбільшим джерелом відновлюваної енергії у світі Укргідроенерго. Веб-сайт. URL: https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/hidroenerhetyka-ye-naybilshym-dzherelom-vidnovlyuvanoyi-enerhiyi-u-sviti (дата звернення: 24.11.2024)
6. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Веб-сайт. URL: https://ive.org.ua/wp-content/uploads/ive-nanu-2013-info.pdf (дата звернення: 09.11.2024).
7. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2014. 340 с.
8. Формування парадигми розвитку потенціалу відновлювальної енергетики національного господарства України / І.Ю. Штулер, В.В. Іванова, О.В. Бєлякова, В.В. Грицик. Монографія. За наук. редакцією д-ра екон. наук, проф. Д.В. Солохи. Мукачево: Карпатська вежа, 2020. 132 с.
9. Global Wind Energy Council: GWEC. Веб-сайт. URL: https://gwec.net (дата звернення: 12.11.2024).
10. International Renewable Energy Agency. Веб-сайт. URL: https://www.irena.org (дата звернення: 12.11.2024).
11. Jafarian M., Assareh E., Ershadi A., Wang X. Optimal integration of efficient energy storage and renewable sources in hybrid energy systems: A novel optimization and dynamic evaluation strategy, Journal of Energy Storage, Volume 101, Part B, 2024, 113880, https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113880.
12. Tahir H. Optimization of energy storage systems for integration of renewable energy sources – A bibliometric analysis, Journal of Energy Storage, Volume 94, 2024, 112497, https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112497.
13. Vos R. Defining biomass: Which Types of Biomass Will Count as Renewable Energy Sources? Refocus, Volume 7, Issue 5, 2006,Pages 58-59, https://doi.org/10.1016/S1471-0846(06)70703-X.
14. X., Feng D., Wang J., Sui A. Integrating renewable energy systems: Assessing financial innovation, renewable energy generation intensity, energy transition and environmental regulation with renewable energy sources, Energy Strategy Reviews, Volume 56, 2024, 101567, https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101567.

УДК 628.47:504.064
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.3

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВА ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Власенко О.В.[1], **Зудіков А.О.**[2], **Копаниця О.Б.**[1]
[1]Державна екологічна Академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
[2]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро
olegvvvv@gmail.com

Розглядаються сучасні технології очищення стічних вод гірничо-металургійної галузі, зокрема механічні, хімічні, фізико-хімічні, термічні та біологічні методи. Кожен з них має свої переваги та обмеження, а також здатність ефективно очищати воду від різних типів забруднювачів, таких як метали, кислоти, нафтопродукти, солі, органічні речовини та суспендовані тверді частинки.

Механічні методи, зокрема, фільтрація та осадження, ефективні в видаленні нерозчинних забруднень, таких як пісок чи пил, але не здатні усувати розчинені речовини. Хімічні методи очищення, включаючи коагуляцію та флокуляцію, дають можливість досягти високого ступеня очищення води, зокрема від важких металів, кислот та органічних забруднювачів. Однак вони вимагають використання хімічних реагентів, що збільшує витрати, а також потребують додаткової обробки осаду, що утворюється в процесі.

Фізико-хімічні методи, такі як адсорбція, електроліз або обробка іонними обмінниками, можуть ефективно видаляти іони металів, органічні забруднювачі та нафтопродукти, що робить їх універсальними для очищення стічних вод. Водночас вони мають певні обмеження в умовах високих концентрацій забруднень. Термічні методи, що включають випарювання та піроліз, добре підходять для видалення органічних забруднювачів, однак вони потребують значних енергетичних витрат і спеціального обладнання.

Біологічні методи очищення, зокрема, аеробна та анаеробна обробка, ефективно розкладають органічні речовини, однак вони менш ефективні для видалення неорганічних забруднень і потребують стабільних умов для роботи.

Вцілому, стаття підкреслює важливість комплексного підходу до очищення стічних вод у гірничо-металургійній промисловості, що дозволяє поєднувати різні методи для досягнення максимальної ефективності у видаленні широкого спектра забруднювачів і забезпечення екологічної безпеки. *Ключові слова:* технології очищення стічних вод, гірничо-металургійний комплекс, забруднювачі, вплив на водні ресурси, забруднювачі.

Analysis of wastewater treatment technologies of a mining and metallurgical complex enterprise. Vlasenko O., Zudikov A., Kopanytsia O.

The article discusses modern wastewater treatment technologies used in the mining and metallurgical industries, specifically mechanical, chemical, physicochemical, thermal, and biological methods. Each of these methods has its own advantages and limitations, as well as the ability to effectively treat water contaminated by various pollutants, including metals, acids, petroleum products, salts, organic substances, and suspended solids.

Mechanical methods, such as filtration and sedimentation, are effective at removing insoluble contaminants like sand or dust but are not capable of eliminating dissolved substances. Chemical treatment methods, including coagulation and flocculation, allow for a high degree of water purification, especially for the removal of heavy metals, acids, and organic pollutants. However, these methods require the use of chemical reagents, which increases costs, and also necessitates further treatment of the resulting sludge.

Physicochemical methods, such as adsorption, electrolysis, or ion exchange, can effectively remove metal ions, organic pollutants, and petroleum products, making them versatile for wastewater treatment. However, they have certain limitations under conditions of high pollutant concentrations. Thermal methods, including evaporation and pyrolysis, are well-suited for the removal of organic contaminants but require significant energy input and specialized equipment.

Biological treatment methods, such as aerobic and anaerobic processes, are efficient at breaking down organic substances; however, they are less effective for removing inorganic pollutants and require stable operational conditions to function optimally.

In general, the article emphasizes the importance of a comprehensive approach to wastewater treatment in the mining and metallurgical industries, which combines various methods to achieve maximum effectiveness in removing a broad range of pollutants and ensuring environmental safety. *Key words:* wastewater treatment technologies, mining and metallurgical complex, pollutants, impact on water resources.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Забруднення водних ресурсів- це одна з найважливіших екологічних проблем сучасності. Гірничо-металургійна промисловість є одним з найбільших джерел стічних вод у світі, генеруючи приблизно 30% від загального обсягу стічних вод, що скидаються з промислових джерел. У деяких країнах, таких як Канада та Австралія, цей показник може досягати 50% від загальної кількості стічних вод у промисловому секторі.

Стічні води, що утворюються на таких підприємствах, містять високі концентрації важких металів, хімічних сполук, твердих частинок та органічних речовин, що робить їх небезпечними для навколиш-

нього середовища та здоров'я людини. Актуальність вивчення проблеми очищення стічних вод гірничо-металургійних підприємств полягає у необхідності запровадження ефективних технологій для зниження негативного впливу на довкілля та забезпечення раціонального використання водних ресурсів.

Особливої уваги потребує дослідження технологій очищення стічних вод, що утворюються в процесах видобутку та збагачення руд, плавлення металів та інших операцій. Це зумовлено тим, що ці води мають специфічний хімічний склад та можуть містити високі концентрації токсичних речовин, таких як мідь, свинець, кадмій, цинк та інші важкі метали.

Окрім того, промислові стоки можуть містити залишки хімічних реагентів, що використовуються для очищення та збагачення руди, а також органічні та неорганічні домішки. За даними Міжнародної ради з металургії (ICMM), близько 50% стічних вод з ГМК скидаються у водойми без належної обробки, що призводить до забруднення річок, озер і ґрунтових вод [6]. Відтак, проблема очищення стічних вод ГМК є важливою для збереження екосистем, водних ресурсів та забезпечення сталого розвитку.

У науковій літературі існує низка робіт, присвячених дослідженню технологій очищення стічних вод промислових підприємств, зокрема в гірничо-металургійному комплексі. Наприклад, Петров досліджує різні підходи до класифікації та обробки стічних вод у ГМК, акцентуючи увагу на методах коагуляції та фільтрації для видалення важких металів [6]. Робота Білоконя присвячена аналізу сучасних технологій очищення промислових стічних вод, таких як мембранні системи та біологічне очищення, що забезпечують більш глибоке видалення забруднень [2]. Шевченко розглядає новітні інноваційні підходи, включаючи використання зворотного осмосу та адсорбційних матеріалів, підкреслюючи їхню ефективність для очищення вод, що містять важкі метали та токсичні сполуки [7].

Актуальність дослідження також обумовлена глобальними тенденціями до зменшення впливу промислового виробництва на екосистеми. У світі посилюються вимоги до екологічних стандартів і впровадження циркулярної економіки, що включає переробку та повторне використання ресурсів, зокрема води. Згідно з даними Асоціації гірничих компаній (Mining Association), вартість очищення стічних вод у гірничо-металургійній промисловості становить близько 100 мільярдів доларів США на рік, зокрема на інвестиції в нові технології очищення та модернізацію існуючих систем [25]. Тому питання впровадження сучасних технологій очищення стічних вод на підприємствах ГМК є надзвичайно важливим для підвищення екологічної безпеки та стійкості цієї галузі.

Для досягнення мети дослідження використано такі методи: систематизація розрізнених знань про технології очищення стічних вод; збір інформації про стан питання, порівняння інформації з різних джерел; огляд нових знань із зазначенням тенденцій в розвитку цих знань; виділення нових напрямків досліджень в питаннях впровадження технологій; огляд перспективних ідей.

Виклад основного матеріалу. Стічні води – це води, що втратили свої природні властивості через використання в промислових, сільськогосподарських або побутових процесах, а також внаслідок контактів із забруднюючими речовинами. Вони можуть містити різноманітні забруднювальні речовини, такі як органічні сполуки, важкі метали, мінеральні частинки, а також патогенні мікроорганізми. Основна характеристика стічних вод – їх потенційна небезпека для екосистем та здоров'я людини, що зумовлює необхідність їх обробки перед скиданням у водні об'єкти [2].

У науковій літературі існує кілька підходів до визначення стічних вод, які варіюються залежно від контексту та специфіки галузі. Основні з них:

1. Екологічний підхід: Згідно з цим підходом, стічні води визначаються як води, які містять забруднюючі речовини, здатні завдати шкоди екосистемам, і їх скидання має бути контрольованим з екологічної точки зору [4].

2. Технологічний підхід: Тут стічні води трактуються як відпрацьовані води, що утворюються внаслідок промислових процесів. Вони повинні підлягати очищенню для відновлення якості води перед скиданням у водні об'єкти або повторним використанням [7].

3. Соціально-економічний підхід: У цьому контексті стічні води розглядаються як ресурс, який можна обробляти та повторно використовувати, що важливо в умовах обмежених водних ресурсів. Дослідники акцентують увагу на важливості раціонального використання стічних вод, що веде до зменшення витрат на водопостачання та очищення [3].

Стічні води гірничо-металургійного комплексу (ГМК) мають складний хімічний склад, що зумовлено технологічними процесами, такими як збагачення руд, плавлення металів, гідрометалургійні операції, а також використанням води для охолодження та промивки [3]. Основні компоненти стічних вод ГМК наведені в таблиці 1. Склад стічних вод може варіювати залежно від типу руд, технологічних процесів та використовуваних хімічних реагентів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Очищення стічних вод базується на їхньому хімічному складі, оскільки кожен тип забруднювача вимагає спеціалізованих технологій для ефективного видалення. Тому проаналізуємо основні методи очищення стічних вод з погляду на переваги, недоліки та ефективність видалення тих чи інших компонентів.

Механічні методи очищення є одними з найпростіших і найбільш широко використовуваних технологій для видалення нерозчинних домішок зі стічних

Таблиця 1

Хімічний склад стічних вод гірничо-металургійного комплексу за групами, компонентами, джерелами походження забруднювачів

Група забруднювачів	Компоненти	Джерело походження
Метали	Мідь, цинк, свинець, кадмій, нікель, залізо, марганець та інші важкі метали	Вилуговування з руди, знос обладнання, добавки в технологічних процесах
Кислоти та луги	Сульфатна кислота, соляна кислота, луги (наприклад, натрій гідроксид)	Процеси вилуговування металів, нейтралізація кислотних розчинів
Нафтопродукти	Масла, паливо, емульсії нафтопродуктів	Знос обладнання, витік мастил, промивка обладнання
Солі	Сульфати, хлориди, нітрати	Розчинення мінералів у воді, використання реагентів у технологічних процесах
Органічні речовини	Феноли, ціаніди, поверхнево-активні речовини, смоли	Процеси флотації, використання реагентів, розкладання органічних сполук
Суспендовані тверді речовини	Глина, пісок, шлам, металеві частинки	Знос обладнання, процеси подрібнення руди, відходи виробництва

Джерело: складене автором за даними [8, 10, 11]

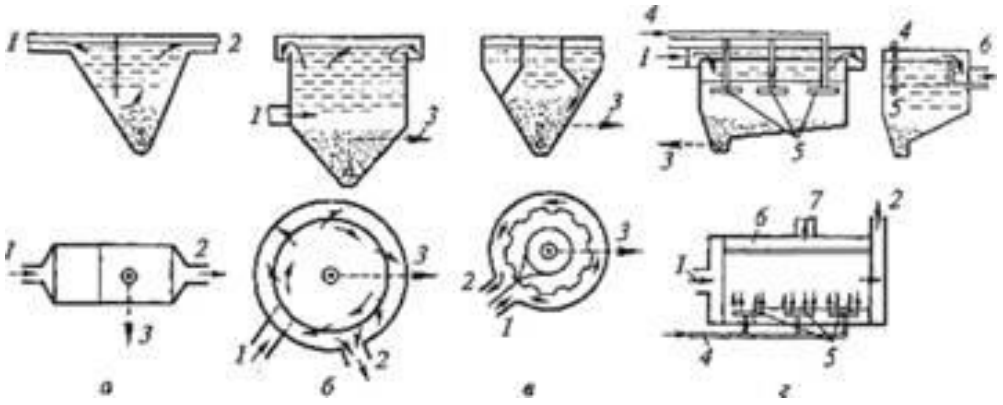


Рис. 1. Схеми пісколовок: а – вертикальна; б, в – горизонтальні з круговим рухом води; г – аеруючі; 1 – подаючий канал; 2 – відвідний канал; 3 – відведення піщаної пульпи; 4 – повітропровід; 5 – повітророзподільники; 6 – збірний канал спливаючих речовин; 7 – канал відводу спливаючих речовин

вод. Ці методи базуються на фізичних процесах і не потребують хімічних реагентів або біологічних реакцій. Механічні процеси ефективні для видалення великих часток та суспендованих твердих речовин.

Основні механічні методи:

1. Решітки та сита – затримують великі частки (пластик, каміння, рослинні залишки тощо).

2. Пісколовки – для видалення піску, грунту та інших мінеральних часток, які осідають під дією сили тяжіння.

3. Відстоювання – осадження суспендованих речовин у спеціальних відстійниках, що дозволяє їх зосередити на дні резервуарів.

4. Фільтрація – для відділення дрібних часток за допомогою фільтрувальних матеріалів.

5. Центрифугування – процес відокремлення твердих часток від рідини шляхом дії відцентрових сил.

Найбільш розповсюдженим є процес очищення води пісколовками, схемуи яких зображені на рисунку 1 [4].

Оскільки механічні методи очищення первинно призначені для видалення великих, нерозчинних частинок, їх ефективність щодо інших груп забруднювачів буде обмеженою або відсутньою (табл. 3).

Механічні методи очищення є важливим першим етапом, але вони не можуть повністю очистити стічні води від усіх забруднень. Наступними йдуть хімічні методи, які передбачають додавання різних реагентів для зміни хімічних властивостей забруднювачів та їх переведення в нерозчинну форму або безпечні сполуки. Ці методи широко застосовуються для видалення важких металів, нейтралізації кислот та лугів, окиснення органічних сполук та знищення патогенних мікроорганізмів.

Таблиця 2

Переваги та недоліки механічних методів очищення стічних вод ГМК

Переваги	Недоліки
Простота та відносно низька вартість впровадження та експлуатації	Обмежена ефективність для видалення дрібних або розчинених забруднювачів
Відсутність потреби у хімічних реагентах	Не можуть видалити органічні та токсичні хімічні речовини
Низьке енергоспоживання	Великі обсяги осаду, які потребують додаткової обробки або видалення
Висока надійність та стабільність роботи	Ефективність знижується при великій кількості дрібнодисперсних забруднювачів
Легкість у обслуговуванні	Вимагає регулярного очищення та утримання фільтрів, решіток тощо

Джерело: складене автором за даними [12, 14]

Таблиця 3

Ефективність очищення стічних вод ГМК механічними методами

Група забруднювачів	Ефективність очищення	Причина
Метали	Низька	Механічні методи видаляють лише металеві частинки, що є суспендованими у воді. Розчинені іони металів залишаються у воді.
Кислоти та луги	Низька	Механічні методи не впливають на кислотність або лужність води.
Нафтопродукти	Середня (для великих крапель)	Великі краплі нафтопродуктів можуть бути затримані в відстійниках, але дрібні емульсії залишаться у воді.
Солі	Низька	Солі є розчиненими речовинами і не затримуються механічними методами.
Органічні речовини	Середня (для великих молекул)	Великі органічні молекули, такі як волокна або шматки рослин, можуть бути затримані, але розчинені органічні речовини залишаться у воді.
Суспендовані тверді речовини	Висока	Механічні методи дуже ефективні для видалення піску, глини та інших нерозчинних частинок.

Джерело: складене автором за даними [15, 24]

Основні хімічні методи:

- Коагуляція та флокуляція-найбільш поширені: введення коагулянтів (наприклад, солей заліза або алюмінію) призводить до утворення пластівців, які захоплюють дрібні частинки забруднювачів і випадають в осад (рис. 2).

Нейтралізація: додавання кислот або лугів для нейтралізації кислого або лужного середовища стічних вод.

- Окиснення: застосування окисників (хлор, озон, перекис водню) для руйнування органічних сполук, знищення патогенних мікроорганізмів та окиснення неорганічних речовин.
- Відновлення: використання відновників (наприклад, сірководню) для переведення деяких сполук у менш токсичні форми.
- Осадження: додавання реагентів, які утворюють нерозчинні сполуки з забруднювачами, які потім видаляються шляхом фільтрування або відстоювання.
- Екстракція: перехід забруднювачів з водної фази в органічну, що дозволяє їх концентрувати та видаляти.

Загалом, хімічні методи дозволяють досягти високого ступеня очищення від широкого спектру забруднювачів, включаючи важкі метали, кислоти, луги, нафтопродукти та органічні сполуки (табл. 5). Коагуляція, флокуляція та осадження ефективно видаляють з води зважені речовини та колоїди, а окиснення та відновлення дозволяють перетворити шкідливі речовини на менш токсичні або нерозчинні сполуки.

Однак, слід зазначити, що хімічні методи не завжди є універсальними і можуть бути неефективними для видалення деяких стійких органічних забруднювачів. Окрім того, надмірне дозування реагентів може призвести до утворення нових, більш токсичних сполук або забруднення осаду.

Загалом, хімічні методи очищення є потужним інструментом для досягнення високого ступеня очи-

Рис. 2. Схема технологічного процесу очищення стічної води коагулянтами [4]

Таблиця 4

Переваги та недоліки хімічних методів очищення стічних вод ГМК

Переваги	Недоліки
Висока ефективність видалення широкого спектру забруднювачів	Висока вартість реагентів
Можливість досягнення високого ступеня очищення	Утворення великої кількості осаду, який потребує утилізації
Гнучкість методу (можливість підбору реагентів під конкретні забруднення)	Можливість утворення нових, більш токсичних сполук
Можливість автоматизації процесу	Високі енерговитрати для деяких процесів

Джерело: складене автором за даними [15, 23, 24]

Таблиця 5

Ефективність хімічних методів очищення стічних вод ГМК

Група забруднювачів	Ефективність очищення	Причина
Метали	Висока	Коагуляція, осадження, екстракція ефективно видаляють метали з води.
Кислоти та луги	Висока	Нейтралізація дозволяє довести pH води до нейтральних значень.
Нафтопродукти	Висока	Окиснення та коагуляція ефективні для видалення нафтопродуктів.
Солі	Середня	Деякі солі можуть бути видалені осадженням, але розчинність інших солей обмежує ефективність методу.
Органічні речовини	Висока	Окиснення та коагуляція ефективні для видалення багатьох органічних сполук.
Суспендовані тверді речовини	Висока	Коагуляція та флокуляція ефективно видаляють дрібні зважені частинки.

Джерело: складене автором за даними [15, 23]

щення стічних вод від різних забруднювачів. Однак, їх застосування пов'язане з певними обмеженнями, такими як висока вартість, утворення великої кількості осаду та можливість утворення нових токсичних сполук. Серед світових гірничо-металургійних компаній хімічні методи застосовують:

1) BHP – одна з найбільших гірничих компаній у світі, що функціонує в Австралії, Південній

Америці, Північній Америці та Африці. Компанія займається видобутком різних корисних копалин, включаючи залізну руду, мідь, вугілля та інші мінерали. Для очищення стічних вод BHP використовує комбінацію хімічних методів, таких як коагуляція, флотація та нейтралізація. Коагуляція дозволяє об'єднувати дрібні частки забруднень в більші агломерати, які легше видалити, тоді як флотація використовує повітря для видалення цих часток з води. Нейтралізація кислотних стічних вод допомагає відновити pH до безпечних рівнів [11].

2) Rio Tinto – міжнародна компанія, що працює в Австралії, Канаді, Південній Америці та Африці, займається видобутком мінералів, зокрема алюмінію, міді, залізної руди та бокситів. Компанія використовує хімічні методи очищення стічних вод, такі як осадження та коагуляція. Осадження дозволяє видаляти важкі метали та інші забруднення шляхом використання осаджувачів, які допомагають відокремити частки з води [29].

3) Anglo American – глобальна компанія з видобутку корисних копалин, що працює в Південній Африці, Південній Америці та Австралії. Вона займається видобутком платини, алюмінію, мідної руди та інших металів. Для очищення стічних вод компанія застосовує коагуляцію та флотацію. У процесі коагуляції до стічних вод додаються хімічні реагенти, які сприяють утворенню більших часток, що легше видаляються. Флотація, в свою чергу, включає впровадження повітря у воду, що дозволяє важким часткам спливати на поверхню для подальшого видалення [9].

Загалом, хімічні методи очищення стічних вод, які застосовують ці компанії, демонструють високу ефективність у зменшенні концентрації забруднювачів. Відповідно до звіту World Bank (2018**)** про управління водними ресурсами в гірничо-металургійній промисловості, хімічні технології очищення дозволяють знизити рівень забруднень на 80-95%, забезпечуючи при цьому відповідність екологічним стандартам [34].

Фізико-хімічні – це сукупність процесів, що поєднують фізичні та хімічні явища для видалення забруднень з води. Вони ефективні для широкого спектру домішок, включаючи метали, кислоти, луги, нафтопродукти, органічні речовини та суспендовані тверді частинки.

Основні фізико-хімічні методи:

- Коагуляція і флокуляція: цей процес передбачає злипання дрібних частинок у більші агрегати під впливом коагулянтів (солі заліза, алюмінію) та флокулянтів (високомолекулярні сполуки). Ці агрегати потім легко видаляються шляхом відстоювання або фільтрування.
- Флотація: заснований на принципі прилипання дрібних частинок до бульбашок повітря і їх винесення на поверхню, звідки їх легко видаляють.
- Сорбція: процес поглинання забруднювачів поверхнею твердих сорбентів (активоване вугілля, цеоліти). Забруднювачі фізично або хімічно зв'язуються з поверхнею сорбенту, що дозволяє їх ефективно видаляти з води.
- Іонний обмін: заснований на обміні іонів забруднювачів на інші іони, що містяться в іонообмінних смолах. Цей метод ефективний для видалення іонів металів, кислот, лугів.
- Мембранні процеси: передбачають пропускання води через мембрани з дрібними порами, які затримують забруднювачі. Існують різні види мембранних процесів: мікрофільтрація, ультрафільтрація, нанофільтрація, зворотний осмос.
- Окиснення: процес руйнування органічних сполук за допомогою окисників (озон, перекис водню, хлор). Цей метод використовується для дезінфекції та видалення органічних забруднень.
- Нейтралізація: взаємодія кислот і лугів з відповідними реагентами для утворення нейтральних солей. Використовується для нейтралізації кислотних і лужних стічних вод.
- Осадження: переведення розчинних речовин у нерозчинну форму. Застосовується для видалення важких металів, фосфатів та інших сполук.

Фізико-хімічні методи очищення стічних вод є важливими для забезпечення якості води та зменшення впливу забруднень на навколишнє середовище. Вони демонструють високу ефективність у видаленні різних груп забруднювачів, проте для досягнення найкращих результатів їх слід використовувати в комбінації з іншими методами.

Приклади компаній, зокрема Vale S.A. і Southern Copper Corporation, підтверджують важливість фізико-хімічних методів очищення стічних вод

Таблиця 6

Переваги та недоліки фізико-хімічних методів очищення стічних вод ГМК

Переваги	Недоліки
Висока ефективність у видаленні багатьох забруднень	Можливість утворення вторинних забруднень
Широкий спектр застосування	Високі експлуатаційні витрати
Простота технології	Необхідність у постійному контролі
Можливість швидкого очищення	Обмежена ефективність щодо деяких органічних забруднень

Джерело: складене автором за даними [11, 15]

у гірничо-металургійній промисловості. Vale, один з найбільших світових виробників залізної руди та нікелю, впроваджує мембранні технології, зокрема мікрофільтрацію та зворотний осмос, досягаючи видалення до 99% розчинних солей і важких металів, зокрема заліза, з концентрації 100 мг/л до 1 мг/л [38]. Southern Copper, один з провідних виробників міді у світі, застосовує сорбцію та іонний обмін для очищення своїх стічних вод [39]. Сорбційні системи цієї компанії можуть знижувати вміст важких металів, таких як мідь, з 15 мг/л до 0.1 мг/л, а іонний обмін дозволяє знижувати концентрацію свинцю з 50 мг/л до 0.02 мг/л.

Термічні методи очищення стічних вод у гірничо-металургійному комплексі полягають у використанні високих температур для руйнування або видалення забруднювачів. Основними термічними методами є:

1. Концентрована дистиляція: цей процес передбачає нагрівання води до кипіння, в результаті чого пара відокремлюється від рідких забруднень. Пара конденсується, утворюючи очищену воду, а забруднюючі речовини залишаються в рідкому залишку.

2. Піроліз: процес термічного розкладання органічних речовин у відсутності кисню. Висока температура (близько 300-800°C) призводить до розкладання органічних забруднювачів на простіші молекули, гази та рідину.

3. Плазмова обробка: використання плазми для руйнування забруднювачів. Висока температура плазми (більше 5000°C) забезпечує ефективне знищення органічних сполук і важких металів.

4. Спалювання: це метод, за якого забруднювачі спалюються при високих температурах, що призводить до їх перетворення в гази (вуглекислий газ, водяна пара) та залишків (золи).

Термічні методи очищення стічних вод гірничо-металургійного комплексу мають як свої переваги, так і недоліки, які важливо враховувати при виборі технології для конкретних типів забруднень. Вони ефективні для видалення органічних речовин і деяких металів, але можуть бути менш корисними для інших забруднювачів, таких як солі або суспендовані тверді частки (табл. 9).

Термічні методи очищення стічних вод є важливими у гірничо-металургійній промисловості, оскільки вони забезпечують ефективне видалення органічних забруднювачів і можуть справлятися з великими обсягами води. Проте їх висока енергетична витратність і обмежена ефективність щодо неорганічних забруднювачів залишають простір для вдосконалення та комбінування з іншими методами очищення.

Glencore – одна з найбільших транснаціональних гірничо-металургійних компаній, яка постійно вдосконалює свої процеси очищення стічних вод, використовуючи термічні методи для зниження обсягів забруднень і забезпечення безпечного виведення органічних речовин, що підкреслює їхню важливість у стратегії компанії щодо екологічної відповідальності та сталого розвитку [42].

Таблиця 7

Ефективність фізико-хімічних методів очищення стічних вод ГМК

Група забруднювача	Ефективність (%)	Причина
Метали	Висока	Коагуляція та осадження ефективно видаляють важкі метали.
Кислоти та луги	Висока	Нейтралізація коригує pH до безпечного рівня.
Нафтопродукти	Висока	Флотація та сорбція ефективно видаляють нафтопродукти.
Солі	Середня	Іонний обмін та осадження можуть бути менш ефективними.
Органічні речовини	Висока	Сорбція та окиснення видаляють органічні забруднення.
Суспендовані тверді речовини	Висока	Флотація та осадження дозволяють видаляти суспендовані частки.

Джерело: складене автором за даними [11, 15]

Таблиця 8

Переваги та недоліки термічних методів очищення стічних вод ГМК

Переваги	Недоліки
Висока ефективність видалення органічних сполук	Високі витрати на енергію та експлуатацію
Можливість обробки великих обсягів стічних вод	Необхідність спеціального обладнання
Зменшення обсягу відходів	Викиди забруднюючих газів при згоранні
Швидкість процесу	Обмежена ефективність для неорганічних забруднювачів

Джерело: складене автором за даними [21, 37]

Таблиця 9

Ефективність термічних методів очищення стічних вод ГМК

Група забруднювача	Ефективність	Причина
Метали	Середня	Можуть бути знищені при високих температурах, але деякі можуть залишатись.
Кислоти та луги	Висока	Термічне розкладання кислотовмісних сполук призводить до їх нейтралізації.
Нафтопродукти	Висока	Спалювання нафтопродуктів при високій температурі забезпечує їх повне знищення.
Солі	Низька	Більшість солей не підлягають термічному розкладанню.
Органічні речовини	Висока	Термічне розкладання руйнує органічні сполуки, знижуючи їх концентрацію.
Суспендовані тверді речовини	Низька	Висока температура може призвести до зменшення, але не видалення твердих часток.

Джерело: складене автором за даними [21, 37]

Компанія реалізує різні технології, такі як випаровування та термічний окис, для ефективного видалення органічних сполук і зменшення обсягів забруднених вод. Випаровування дозволяє досягти 90-95% зменшення обсягу стічних вод і концентрації органічних речовин, тоді як термічний окис може забезпечити очищення до 98% для токсичних органічних забруднювачів, таких як нафтопродукти.

Останньою групою методів очищення стічних вод у гірничо-металургійному комплексі є біологічні методи, які ґрунтуються на використанні живих організмів, таких як бактерії, водорості та гриби, для розкладання органічних забруднювачів. Ці методи включають кілька основних підходів:

1. Аеробна обробка: цей метод передбачає використання аеробних бактерій, які розкладають органічні сполуки в присутності кисню. Процес може відбуватися у відкритих ставках або в біореакторах, де підтримується аерація.

2. Аноксидна обробка: у цьому методі використовуються анаеробні бактерії, які не потребують кисню для метаболізму. Цей процес ефективно видаляє органічні речовини і виробляє метан, який може бути використаний як енергія.

3. Біофільтри: у цьому методі стічні води пропускаються через матеріали, на яких ростуть бактерії. Біофільтри забезпечують ефективне очищення завдяки контактному розкладанню забруднювачів.

4. Біополігони: це природні системи, де стічні води очищуються за допомогою водоростей і інших рослин, що поглинають забруднювачі та виділяють кисень.

Одним з найбільш досконалих методів біологічної очистки стічних вод є Мембранний біореактор (МБР) [36]. В очисних комплексах із застосуванням мембранних біореакторів відбуваються ті ж біохімічні процеси, що і в класичних очисних спорудах. Різниця між очисними з МБР і класичної схеми полягає в тому, що вузол відділення активного мулу у вторинних відстійниках замінюється на фільтрацію через полімерні мембранні елементи, що гарантує відсутність механічних домішок в очищеній воді і не потребує додаткового доочищення (рис. 3).

Переваги такої технології :

– мінімально можливі площі очисних споруд зі збереженням якості очищеної води на виході (наприклад, очисні споруди продуктивністю 200 м^3/добу з МБР займають площу 30 м^2, в той же час очисні за класичною схемою не менше 120 м^2);

– повна відсутність неприємних запахів в процесі очищення (дає можливість реалізовувати установки очищення в безпосередній близькості з житловими приміщеннями, однак нормативними базами України подібні рішення заборонені);

– збільшення продуктивності існуючих очисних споруд без збільшення займаної площі (реконструкція очисних споруд за рахунок збільшення в аеротенках концентрації активного мулу і застосування мембранних модулів) [36].

В цілому біологічні методи відзначаються екологічною безпечністю, високою ефективністю у видаленні органічних забруднень і можливістю повторного використання ресурсів, але водночас вони потребують тривалого часу для обробки, є чутливими до змін умов середовища та вимагають постійного контролю й обслуговування для ефективної роботи (табл. 10).

Біологічні методи мають велику ефективність у видаленні органічних забруднювачів і добре підходять для довготривалих систем очищення з мінімальним втручанням людини. Водночас вони не завжди здатні ефективно справлятися з неорганічними речовинами, такими як метали або солі. Для кращого розуміння того, як біологічні методи працюють з різними типами забруднювачів, нижче наведено таблицю з оцінкою їх ефективності та причинами.

Таблиця демонструє, що біологічні методи найбільш ефективні для видалення органічних речовин, оскільки бактерії та водорості активно їх розкладають. Натомість метали, солі та кислоти майже

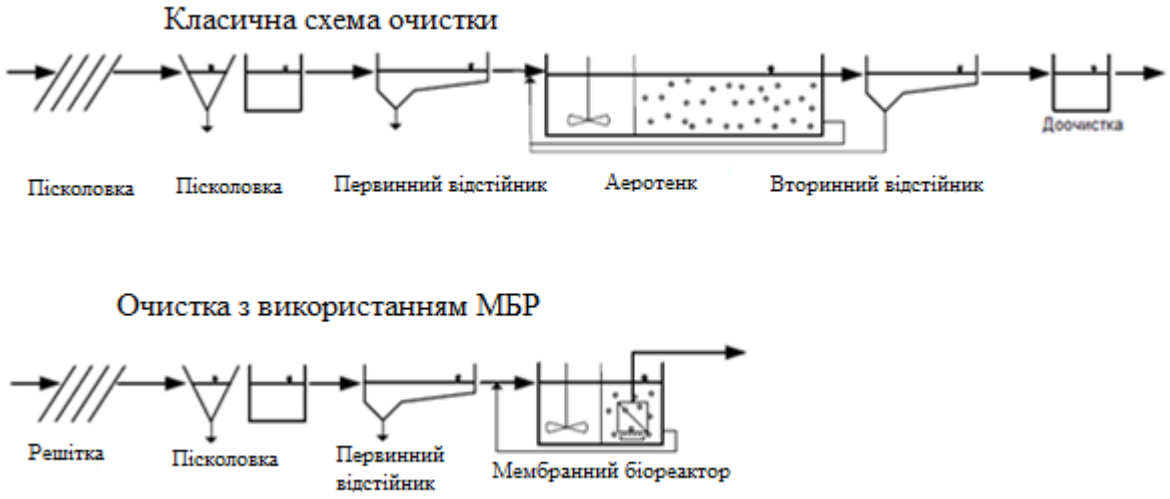


Рис. 2. Порівняння класичної схеми очистки та з застосуванням МБР

Таблиця 10

Переваги та недоліки біологічних методів очищення стічних вод ГМК

Переваги	Недоліки
Екологічно чисті, без використання хімікатів	Довгий час очищення
Висока ефективність видалення органічних забруднювачів	Чутливість до змін умов (температура, pH)
Можливість повторного використання ресурсів	Не завжди ефективні для неорганічних забруднювачів
Виробництво енергії (метан) у анаеробних процесах	Необхідність регулярного контролю та обслуговування

Джерело: складене автором за даними [17, 36]

Таблиця 11

Ефективність біологічних методів очищення стічних вод ГМК

Група забруднювача	Ефективність	Причина
Метали	Низька	Біологічні методи не ефективні для видалення важких металів.
Кислоти та луги	Середня	Анаеробні процеси можуть нейтралізувати деякі кислоти, але не всі.
Нафтопродукти	Середня	Деякі мікроорганізми можуть розкладати нафтопродукти, але не завжди ефективно.
Солі	Низька	Біологічні методи не підходять для видалення солей.
Органічні речовини	Висока	Біологічні організми ефективно розкладають органічні сполуки.
Суспендовані тверді речовини	Середня	Можливе часткове видалення через осадження, але не завжди повне.

Джерело: складене автором за даними [17, 36]

не піддаються біологічному очищенню, оскільки ці речовини не розкладаються живими організмами. Нафтопродукти можуть частково розкладатися, але процес є повільним. Для суспендованих твердих речовин ефективність середня – вони можуть осідати, але повне їх видалення потребує інших методів.

Однією з компаній, що активно впроваджує біологічні методи є Newmont Corporation –провідний виробник золота у світі, що активно впроваджує біологічні методи очищення стічних вод. Компанія використовує як анаеробні, так і аеробні процеси для ефективного видалення органічних забруднювачів та важких металів зі стічних вод. Завдяки цим методам, Newmont досягає високої ефективності очищення, яка може сягати до 90%. Це не лише знижує негативний вплив на навколишнє середовище, але й сприяє підвищенню якості води, що скидається, що важливо для дотримання екологічних стандартів і регуляцій [26].

Висновки. Стічні води є важливим екологічним питанням, оскільки вони містять забруднюючі речовини, які можуть завдати шкоди екосистемам. Визначення стічних вод варіюється залежно від контексту, зокрема, з екологічної, технологічної та соціально-економічної точок зору.

Особливу увагу варто приділити очищенню стічних вод, що утворюються в гірничо-металургійній промисловості. Ці води часто містять високі концентрації токсичних речовин, таких як важкі метали, а також залишки хімічних реагентів, що використовуються в процесах видобутку та збагачення руд 4. За даними Міжнародної ради з металургії, значна частина стічних вод скидається без належної обробки, що призводить до серйозного забруднення водних ресурсів.

У науковій літературі вже існує низка досліджень, присвячених технологіям очищення стічних вод. Різні методи, такі як коагуляція, фільтрація, мембранні системи та біологічне очищення, демонструють різний ступінь ефективності у видаленні забруднень. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, що потребує комплексного підходу до вибору технології очищення.

Механічні методи ефективні для видалення великих, нерозчинних частинок, але мають обмежену ефективність щодо розчинених забруднювачів, таких як метали, кислоти та органічні речовини. Хімічні методи демонструють високу ефективність у видаленні широкого спектра забруднень, включаючи метали, кислоти, нафтопродукти та органічні речовини. Вони можуть знижувати рівень забруднень на 80-95%, але потребують використання реагентів і обробки утвореного осаду. Фізико-хімічні методи ефективні для багатьох груп забруднювачів, але можуть утворювати вторинні забруднення і потребують постійного контролю.

У термічних методах використовуються високі температури для руйнування або видалення забруднювачів. Вони ефективні для органічних забруднень, але мають високі енергетичні витрати. Біологічні методи очищення стічних вод, які використовують живі організми для розкладання органічних забруднень, є ефективними для органічних сполук, але менш придатні для неорганічних забруднювачів, потребують стабільних умов і зазвичай мають нижчі експлуатаційні витрати.

Перспективи використання результатів дослідження. Узагальнюючи, кожен з методів очищення стічних вод має свої переваги та недоліки, і їх ефективність може варіюватися в залежності від типу забруднень та специфіки процесу. З метою досягнення найкращих результатів часто рекомендується комбінувати різні методи очищення, щоб забезпечити комплексний підхід до вирішення проблеми забруднення вод.

Найчастіше найкращим рішенням є використання комбінованих систем, які поєднують кілька методів. Наприклад, механічне очищення може бути першим етапом, за яким слідують хімічні або фізико-хімічні методи для досягнення високої якості очищення. Перед вибором методу важливо провести аналіз стічних вод, щоб визначити типи і концентрації забруднень. Це дозволить підібрати найбільш ефективний метод очищення. Враховуйте не лише витрати на очищення, але й потенційний вплив на навколишнє середовище. Вибір методу повинен забезпечувати відповідність екологічним стандартам.

Література

1. Аніщенко О. В. Екологічна безпека металургійного комплексу України. Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Екологія. 2019. № 28(4). С. 47–53.
2. Білоконь, О. М. Сучасні методи очищення стічних вод промислових підприємств. Екологія та промисловість, 2018, 12(3), 23-30.
3. Горлач, С. П. Аналіз екологічної небезпеки стічних вод у металургійній промисловості. Екологічний вісник, 2020, 11(1), 17-22.
4. Зайцев, В. В. Очищення стічних вод промислових підприємств: сучасні методи та технології. Технології та інновації, 2019, 6(4), 29-35.
5. Міністерство екології та природних ресурсів України. Звіт про стан водних ресурсів України за 2020 рік. Офіційний вебсайт. 2021. URL: https://menr.gov.ua.
6. Петров, І. В. Класифікація та очищення стічних вод гірничо-металургійного комплексу. Вода і навколишнє середовище, 2017, 9(2), 45-50.
7. Шевченко, А. Ю. Інноваційні підходи до очищення стічних вод гірничо-металургійних підприємств. Екоіндустрія, 2020, 8(2), 55-60.
8. Akhmetshin, E. M., & Sirotkin, D. A. Low-cost technologies for mining wastewater treatment. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(16), 15958–15965. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1934-6
9. Anglo Americal Sustainable Mining Plan. URL: https://www.angloamerican.com/sustainable-mining-plan/healthy-environment/water
10. Ayoob, S., & Gupta, A.). Water Quality Assessment of Industrial Effluents: A Review. Environmental Reviews, 2020, 28(3), 265-280. DOI: 10.1139/er-2019-0041.
11. Bunn, J., et al. Water Use in Mining: A Global Perspective. Water Resources Management, 2018, 32(7), 2271-2290. DOI: 10.1007/s11269-018-1945-5.
12. BHP. URL: https://www.bhp.com/news/case-studies/2023/08/new-use-for-wastewater-in-the-desert

13. Chrysafides, J., et al. Risk Assessment of Industrial Wastewater Discharges: A Comprehensive Study. Environmental Monitoring and Assessment, 2021, 193(12), 1-15. DOI: 10.1007/s10661-021-09668-2.
14. Crini, G., & Lichtfouse, E. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*. 2019 URL: https://doi.org/10.1007/s10311-019-00859-y
15. European Environment Agency (EEA). Water pollution and water policy in Europe. EEA Report. 2021. № 15. 115 p.
16. Friedler, E., et al. Industrial Wastewater Treatment: A Review. Journal of Water Process Engineering, 2019, 31, 100726. DOI: 10.1016/j.jwpe.2019.100726.
17. Genesis Water Technologies. (n.d.). Pros and cons of wastewater treatment methods: Coagulation & disinfection. *Genesis Water Technologies*. URL: https://ru.genesiswatertech.com/blog-post/pros-and-cons-of-wastewater-treatment-methods-coagulation-disinfection/
18. Glencore. *Sustainability Report 2023*. URL: https://www.glencore.com/.rest/api/v1/documents/static/be5b0554-2c1d-415d-8072-be6a30d91d79/GLEN-2023-Sustainability-Report.pdf
19. Hussain, A., Kumari, R., Sachan, S. G., & Sachan, A. Chapter 8 – Biological wastewater treatment technology: Advancement and drawbacks. In: Sillanpää, M., & Chaudhary, N. (Eds.), *Advanced Water Treatment* 2021, (pp. 213-245). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822503-5.00002-3
20. International Council on Mining and Metals (ICMM). Water management in mining: A selection of case studies. ICMM Report. 2020. 150 p.
21. International Council on Mining and Metals. Water Stewardship in Mining. ICMM, 2021. URL: https://www.icmm.com/en-gb/society-and-the-economy/water-stewardship (дата звернення: 13.10.2024).
22. Kumar, S., et al. Heavy Metal Contamination in Wastewater: Sources, Effects, and Treatment. Chemical Engineering Journal, 2021, 403, 126176. DOI: 10.1016/j.cej.2020.126176.
23. Lee, J. H., et al. Characterization of Treated Wastewater Quality for Reuse. Journal of Environmental Management, 2020, 259, 109799. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109799.
24. Mansoor, B., et al. Acidic Wastewater: Treatment and Reuse Options. Water Research, 2019, 162, 442-451. DOI: 10.1016/j.watres.2019.07.031.
25. Marković Z.M., Đorđević S.M., Marinković D.M. Advanced technologies for wastewater treatment: A review. Reviews in Chemical Engineering. 2021. Vol. 37, Issue 4. P. 1-25. DOI: 10.1515/revce-2021-0094.
26. Maupin, J. Comminution in wastewater treatment: Enhancing efficiency and process reliability. *Water & Wastewater*. 2013, URL: https://www.waterandwastewater.com/comminution-in-wastewater-treatment-enhancing-efficiency-and-process-reliability/
27. Mining Association of Canada. Water Management in the Mining Sector. Mining Association of Canada, 2019. URL: https://mining.ca/wp-content/uploads/2019/04/WaterManagement.pdf (дата звернення: 13.10.2024).
28. Newmont Corporation. Sustainability Report 2022. URL: https://www.newmont.com/sustainability/
29. Regulation (EU) No 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on pollution control. Official Journal of the European Union. 2019. L 170/21.
30. Rio Tinto. URL: https://www.riotinto.com/en/sustainability/environment/industrial-environment
31. Sani, N., et al. Cooling Water: Challenges and Opportunities in the Industrial Sector. Energy Reports, 2020, 6, 1037-1046. DOI: 10.1016/j.egyr.2020.06.009.
32. Southern Copper Corporation. Environmental Sustainability.2021 URL: http://www.southernperu.com.
33. United Nations Environment Programme (UNEP). Global Water Report 2020: Overview of Industrial Water Use. UNEP Report. 2020. 105 p.
34. United Nations Environment Programme (UNEP). Mining and Water Pollution: Water management in the extractive industries. UNEP Report. 2019. 89 p.
35. United Nations Environment Programme. Global Environment Outlook. UNEP, 2021. URL: https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6 (дата звернення: 13.10.2024).
36. Utech18 decisions. URL: https://utech418.com/ochistka-stochnyih-vod/
37. Vale S.A. Sustainability Report. 2022 URL: http://www.vale.com.
38. World Bank. Pollution from Mining and Metallurgical Wastes: Global Trends and Best Practices. World Bank Report. 2018. 200 p.
39. World Bank. The Economic Costs of Water Pollution. World Bank, 2020. URL: https://www.worldbank.org/en/topic/watersupply/brief/water-pollution (дата звернення: 13.10.2024).
40. Zhang, W., et al. Organic Pollutants in Wastewater: Sources and Treatment Options. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(24), 30361-30377. DOI: 10.1007/s11356-020-09586-7.
41. Zodi, S., Potier, O., Lapicque, F., & Leclerc, J. P. Thermal Treatment of Industrial Wastewater. *ResearchGate*. 2015 URL: https://www.researchgate.net/publication/282463926_Thermal_Treatment_of_Industrial_Wastewater

УДК 620.952:662.63:504.064.2
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.4

ВЕРИФІКАЦІЯ ЕНВАЙРОМЕНТОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЕРЕВИННИХ ПЕЛЕТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВУГЛЕЦЕВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Вовк В.М., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Замула І.В., Кірейцева Г.В.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
gef_kgv@ztu.edu.ua

Дослідження спрямоване на удосконалення процедури верифікації екологічних показників деревинних пелет на основі аналізу їх фізико-хімічних параметрів для оцінки відповідності вимогам вуглецевого менеджменту. Актуальність роботи зумовлена зростаючою роллю біопалива у світовому енергетичному балансі та необхідністю забезпечення його відповідності екологічним стандартам в контексті глобальних кліматичних змін.

Методологічною основою дослідження є комплексний аналіз фізико-хімічних параметрів деревинних пелет згідно міжнародних стандартів EN ISO 13385-1:2018 та ДСТУ EN 15149-1:2013. В ході дослідження проведено детальне вивчення ключових показників якості біопалива, включаючи гранулометричний склад, вміст дрібних частинок, діаметральні характеристики, азотно-хлорні показники та теплотворну здатність. Особлива увага приділена оцінці похибок вимірювань та їх впливу на достовірність процедури верифікації. Використано сучасні методи статистичної обробки даних та математичного моделювання для встановлення взаємозв'язків між досліджуваними параметрами.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що вміст азоту (0.15%) та хлору (0.006%) у досліджуваних зразках повністю відповідає сучасним екологічним нормативам. Виявлено та математично описано кореляційну залежність між теплотворною здатністю пелет та вмістом летких речовин. На основі отриманих даних розроблено та запропоновано оригінальний алгоритм комплексної оцінки якості пелет, який враховує специфічні вимоги вуглецевого менеджменту та дозволяє оптимізувати процедуру верифікації.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні методологічного підходу до верифікації екологічних показників деревинних пелет, який, на відміну від існуючих методів, враховує комплексний вплив фізико-хімічних параметрів на оцінку їх відповідності вимогам вуглецевого менеджменту. Запропонований підхід дозволяє підвищити точність та об'єктивність процедури верифікації, що має важливе значення для розвитку ринку біопалива.

Практична значимість отриманих результатів полягає в можливості їх безпосереднього використання для удосконалення існуючих процедур контролю якості деревинних пелет та їх сертифікації в системі вуглецевого менеджменту. Розроблені методичні рекомендації можуть бути впроваджені на підприємствах з виробництва біопалива для оптимізації виробничих процесів та підвищення конкурентоспроможності продукції на міжнародному ринку. *Ключові слова:* верифікація біопалива, деревинні пелети, вуглецевий менеджмент, парникові гази, екологічні показники, фізико-хімічні параметри.

Verification of environmental parameters of wood pellets as a carbon management tool. Vovk V., Tsyhanenko-Dziubenko I., Zamula I., Kireitseva H.

This research aims to enhance the verification procedure of environmental parameters of wood pellets based on the analysis of their physicochemical properties to assess compliance with carbon management requirements. The study's relevance is determined by the growing role of biofuels in the global energy balance and the necessity to ensure their compliance with environmental standards in the context of global climate change.

The methodological framework is based on a comprehensive analysis of wood pellets' physicochemical parameters according to international standards EN ISO 13385-1:2018 and DSTU EN 15149-1:2013. The study conducted detailed examination of key biofuel quality indicators, including particle size distribution, fine particle content, diameter characteristics, nitrogen-chlorine parameters, and calorific value. Special attention was paid to measurement uncertainty assessment and its impact on verification procedure reliability. Advanced statistical data processing methods and mathematical modeling were employed to establish relationships between the investigated parameters.

The experimental results demonstrated that nitrogen (0.15%) and chlorine (0.006%) content in the studied samples fully complies with current environmental regulations. A correlation between pellets' calorific value and volatile matter content was identified and mathematically described. Based on the obtained data, an original algorithm for comprehensive pellet quality assessment was developed and proposed, which considers specific carbon management requirements and enables optimization of the verification procedure.

The scientific novelty lies in improving the methodological approach to verifying environmental parameters of wood pellets, which, unlike existing methods, accounts for the complex influence of physicochemical parameters on assessing their compliance with carbon management requirements. The proposed approach enhances the accuracy and objectivity of the verification procedure, which is crucial for biofuel market development.

The practical significance of the obtained results lies in their direct applicability for improving existing quality control procedures for wood pellets and their certification in the carbon management system. The developed methodological recommendations can be implemented at biofuel production facilities to optimize manufacturing processes and enhance product competitiveness in the international market. *Key words:* biofuel verification, wood pellets, carbon management, greenhouse gases, environmental parameters, physicochemical properties.

Постановка проблеми. Глобальні кліматичні виклики та необхідність декарбонізації економіки зумовлюють потребу в розвитку інструментів верифікації екологічних показників альтернативних видів палива. Особливої актуальності набуває проблема достовірності оцінки параметрів деревинних пелет як перспективного відновлюваного джерела енергії. За даними Міжнародного енергетичного агентства, світовий ринок деревинних пелет демонструє стабільне зростання – близько 8% щорічно [3; 7; 9; 10]. В Україні виробництво пелет також має позитивну динаміку, що підтверджується збільшенням кількості сертифікованих виробників альтернативного біопалива [29].

Актуальність дослідження зумовлена низкою ключових факторів, що визначають важливість розвитку методології верифікації екологічних показників деревинних пелет. По-перше, зростаючий світовий попит на відновлювані джерела енергії та стале паливо в контексті боротьби зі зміною клімату, що визначено Паризькою угодою [17], створює потребу в надійних методах оцінки якості біопалива. По-друге, стратегічне значення має розробка достовірних методів верифікації для забезпечення відповідності міжнародним екологічним стандартам, зокрема вимогам Директиви (ЄС) 2018/2001 про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел [5]. По-третє, зобов'язання України щодо скорочення викидів парникових газів та переходу до низьковуглецевої економіки, закріплені в Законі України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» [27] та Енергетичній стратегії України на період до 2035 року [33], вимагають розвитку ефективних інструментів вуглецевого менеджменту.

Швидке зростання ринку деревинних пелет як на глобальному рівні, так і в Україні потребує вдосконалення процедур контролю якості та верифікації відповідно до стандарту ISO 17225-2:2021 [12]. Крім того, існує необхідність гармонізації українських систем сертифікації біопалива з міжнародними стандартами, особливо в контексті європейської інтеграції та виконання вимог Регламенту (ЄС) 2019/1020 про нагляд за ринком [34]. Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року [16], передбачається значне збільшення частки біопалива в енергетичному балансі країни, що підкреслює важливість розвитку систем верифікації його якості.

Недостатня розробленість комплексних методологічних підходів до верифікації екологічних параметрів, які б враховували як фізико-хімічні властивості відповідно до ДСТУ EN ISO 17225-1:2018 [23], так і вимоги вуглецевого менеджменту, визначені Законом України «Про альтернативні види палива» [29], також підкреслює актуальність дослідження. Економічний потенціал галузі біопалива для України та необхідність забезпечення її конкурентоспроможності на міжнародних ринках через надійні процедури верифікації якості, як це передбачено Концепцією реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року [35], додатково підтверджують важливість цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та прикладні аспекти верифікації екологічних параметрів біопалива досліджуються багатьма вченими. Зокрема, питання стандартизації та оцінки якості деревинних пелет висвітлені в працях В.І. Гавриша, Г.Г. Гелетухи [20; 18]. Методологічні основи вуглецевого менеджменту та оцінки карбонового сліду біопалива розроблені в роботах М.В. Роїка, В.П. Ткаченка [31]. Значна увага приділяється розробці систем сертифікації та верифікації біопалива, зокрема в дослідженнях А.В. Яцика, О.М. Шпичака [32]. Незважаючи на значний обсяг наукових досліджень, недостатньо вивченими залишаються питання комплексної верифікації екологічних параметрів деревинних пелет у контексті вуглецевого менеджменту. Особливої уваги потребує розробка науково обґрунтованих методик оцінки відповідності біопалива вимогам низьковуглецевого розвитку.

Метою дослідження є удосконалення процедури верифікації екологічних показників деревинних пелет для підвищення ефективності системи вуглецевого менеджменту. Тому подальше дослідження цієї проблематики є актуальним і необхідним.

Виклад основного матеріалу. Аналіз фізико-хімічних параметрів досліджуваних зразків деревинних пелет, виготовлених ТОВ «ЦЕНТРИ БІОПАЛИВА УКРАЇНИ», проводився згідно стандартизованих методик в акредитованій лабораторії. Результати випробувань (протокол № 0674 від 05.03.2021р.) демонструють відповідність продукції вимогам ДСТУ EN 15149-1:2013.

Для оцінки екологічної безпечності пелет було проведено комплексний аналіз ключових параметрів. Зокрема, вміст азоту (N) становить 0,15%, що не перевищує граничне значення 0,3%. Вміст хлору (Cl) знаходиться на рівні 0,006%, що значно нижче допустимої межі 0,02%. Такі показники свідчать про мінімальний вплив на утворення оксидів азоту та діоксинів при спалюванні.

Методологія. У рамках комплексного дослідження фізико-хімічних параметрів деревинних пелет було застосовано систему стандартизованих методик аналізу, що відповідають гармонізованим європейським та національним стандартам. Методологічний базис дослідження ґрунтується на фундаментальних принципах аналітичної хімії та сучасних інструментальних методах аналізу, що забезпечує високу точність та відтворюваність результатів.

Гранулометричний аналіз проводився відповідно до ДСТУ EN 15149-1:2013 [6] з використанням системи каліброваних сит з прецизійно виготовленими

отворами діаметром 3 мм. Процес розсіювання здійснювався на спеціалізованому лабораторному обладнанні при стандартизованих параметрах коливань: амплітуда 25±1 мм, частота 50±10 коливань на хвилину, тривалість аналізу 15±1 хвилин. Такий підхід забезпечив точне визначення фракційного складу матеріалу та підтвердив відповідність вимогам щодо вмісту дрібних частинок, який склав 1.9% при нормативному обмеженні не більше 8%.

Особлива увага приділялась визначенню геометричних параметрів пелет, що проводилось згідно з ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 [22]. Вимірювання здійснювались на репрезентативній вибірці зі 100 гранул з використанням прецизійного цифрового штангенциркуля, що забезпечує точність вимірювань ±0.2 мм. Статистична обробка результатів дозволила встановити, що діаметральні характеристики (6 мм та 8 мм) та довжина гранул (10-40 мм) повністю відповідають нормативним вимогам та демонструють високу однорідність продукції.

Елементний склад досліджуваних зразків визначався комплексом аналітичних методів. Зокрема, вміст азоту аналізувався за методом Кьєльдаля згідно з ГОСТ 28743-93 [18], що включав стадію мінералізації проби в присутності концентрованої сірчаної кислоти та каталізатора з подальшою дистиляцією аміаку та його кількісним визначенням титриметричним методом. Досягнута точність визначення (±0.007%) забезпечує достовірну оцінку вмісту азоту в контексті екологічних вимог. Аналіз вмісту хлору проводився відповідно до ДСТУ EN 15105:2013 методом іон-селективної потенціометрії після попереднього спалювання проби в калориметричній бомбі, що дозволило досягти виключно високої точності визначення (±0.0001%).

Термічний аналіз включав визначення вмісту летких речовин за ДСТУ EN 15148:2012 шляхом контрольованого нагрівання проби в безкисневому середовищі при температурі 900±10°C. Теплотворна здатність, як ключовий енергетичний параметр, визначалась на автоматичному калориметрі з ізотермічною водяною оболонкою згідно з ДСТУ ISO 1928:2006 та ГОСТ 27313-95. Калібрування приладу проводилось з використанням еталонного зразка бензойної кислоти, що забезпечило високу точність вимірювань з похибкою не більше ±0.1 МДж/кг.

Важливим елементом методології стало застосування розрахункових методів для визначення теплоти згоряння в різних станах палива. При цьому враховувались поправки на вологість матеріалу та теплоту випаровування води, що дозволило отримати комплексну характеристику енергетичного потенціалу досліджуваних пелет. Всі експериментальні дослідження проводились в акредитованій лабораторії з використанням метрологічно атестованого обладнання та стандартних зразків порівняння. Статистична обробка результатів здійснювалась відповідно до вимог ISO/IEC Guide 98-3:2008, що забезпечило об'єктивну оцінку невизначеності вимірювань та достовірність отриманих результатів.

Застосований комплексний підхід до аналізу фізико-хімічних параметрів деревинних пелет дозволив не лише отримати достовірні дані щодо їх якісних характеристик, але й науково обґрунтувати відповідність продукції вимогам нормативних документів в контексті екологічної безпечності та енергетичної ефективності.

Важливим аспектом верифікації є оцінка енергетичної ефективності біопалива. Нижча теплота згоряння на робочий стан проби палива (Qir) розраховується за формулою:

$$Qir = Qsd \times (1 - W/100) - 0.02443 \times W, \quad (1)$$

де Qsd – нижча теплота згоряння на сухий стан, МДж/кг;

W – вологість палива, %.

За результатами випробувань Qir становить 19,01 МДж/кг (4544 ккал/кг), що перевищує мінімальне нормативне значення 17,5 МДж/кг.

Для комплексної оцінки екологічності біопалива запропоновано інтегральний показник (Ie), який враховує основні параметри якості:

$$Ie = \Sigma(wi \times Pi/Pnorm) \quad (2)$$

де wi – вагові коефіцієнти параметрів;

Pi – фактичні значення параметрів;

Pnorm – нормативні значення параметрів.

Результати розрахунку інтегрального показника для досліджуваних зразків наведені в таблиці 1.

У контексті вуглецевого менеджменту важливим є розрахунок потенціалу скорочення викидів парникових газів при використанні деревинних пелет замість викопного палива. Коефіцієнт заміщення викопного палива (KZ) розраховується за формулою:

$$KZ = (EFf - EFb)/EFf \times 100\%, \quad (3)$$

де EFf – емісійний фактор викопного палива, кг CO2-екв./ГДж;

EFb – емісійний фактор біопалива, кг CO2-екв./ГДж

Аналіз отриманих результатів свідчить про високу екологічну ефективність досліджуваних деревинних пелет та їх значний потенціал для досягнення цілей декарбонізації. Інтегральний показник екологічності (0.575) підтверджує відповідність продукції вимогам сталого розвитку. Водночас, для підвищення точності верифікації доцільним є розширення переліку контрольованих параметрів та впровадження автоматизованих систем моніторингу.

У контексті дослідження економічної ефективності виробництва деревинних пелет розглянуто два базових сценарії, які відображають різні підходи до організації виробництва та врахування екологічних аспектів (таблиця 2 та таблиця 3). Перший сценарій представляє базовий варіант виробництва без впровадження системи вуглецевого менеджменту,

Таблиця 1

Розрахунок інтегрального показника екологічності деревинних пелет

Параметр	Вага (wi)	Pi	Pnorm	Pi/Pnorm	wi×(Pi/Pnorm)
Вміст N	0.25	0.15	0.3	0.50	0.125
Вміст Cl	0.25	0.006	0.02	0.30	0.075
Qir	0.30	19.01	17.5	1.09	0.327
Дрібні частинки	0.20	1.9	8.0	0.24	0.048
Ie	-	-	-	-	0.575

Таблиця 2

Результати оцінки екологічних показників деревинних пелет за різних сценаріїв виробництва

Індикатор	Сценарій #1: Базовий (стандартне виробництво)	Сценарій #2: Оптимізоване виробництво з системою вуглецевого менеджменту
Вміст азоту, %	0,15	0,12
Вміст хлору, %	0,006	0,004
Теплотворна здатність, МДж/кг	19,01	20,43
Інтегральний показник екологічності	0,575	0,682
Коефіцієнт заміщення викопного палива, %	85	90
Скорочення викидів CO2, т/рік	2,5	3,2

Таблиця 3

Економічна оцінка ефективності виробництва деревинних пелет з урахуванням екологічних показників

Індикатор	Сценарій #1: Без впровадження системи вуглецевого менеджменту	Сценарій #2: З впровадженням системи вуглецевого менеджменту
Виробнича потужність, т/рік	3600	3600
Капітальні витрати, тис. грн	4800	5400
Операційні витрати, грн/т:		
– сировина	1200	1200
– електроенергія	380	350
– оплата праці	420	450
– верифікація та сертифікація	40	180
– інші витрати	160	170
Всього операційних витрат, грн/т	2200	2350
Ціна реалізації, грн/т	2800	3200
Річний прибуток, тис. грн	2160	3060
Термін окупності, років	2.22	1.76
Внутрішня норма прибутковості (IRR), %	42	56
Точка беззбитковості, т/рік	2400	2150

Джерело: власні розрахунки.

що характеризується мінімальними інвестиціями та стандартним підходом до організації виробничого процесу.

Сценарій #1: Базовий варіант виробництва без впровадження системи вуглецевого менеджменту

1. Стандартна технологічна лінія виробництва пелет потужністю 3600 т/рік
2. Відсутність спеціалізованих систем моніторингу викидів
3. Мінімальний набір процедур контролю якості згідно ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

4. Базова сертифікація продукції як альтернативного палива
5. Орієнтація на внутрішній ринок збуту
6. Стандартні операційні процедури без додаткових екологічних вимог
7. Мінімальні витрати на верифікацію параметрів продукції

На противагу базовому варіанту, другий сценарій передбачає комплексну модернізацію виробництва з акцентом на екологічні аспекти та впровадження системи вуглецевого менеджменту, що відповідає сучасним європейським вимогам та створює передумови для виходу на міжнародні ринки.

Сценарій #2: Оптимізоване виробництво з впровадженням системи вуглецевого менеджменту

1. Модернізована технологічна лінія з автоматизованою системою контролю параметрів
2. Впровадження системи моніторингу та верифікації викидів парникових газів
3. Розширений контроль якості з додатковими екологічними параметрами
4. Міжнародна сертифікація продукції (ENplus®, FSC)
5. Експортна орієнтація з виходом на ринки ЄС
6. Впровадження процедур простежуваності ланцюга поставок
7. Регулярний аудит екологічних показників
8. Додаткові інвестиції в енергоефективне обладнання
9. Використання «зеленої» електроенергії у виробничому процесі

Порівняльний аналіз сценаріїв демонструє, що впровадження системи вуглецевого менеджменту (Сценарій #2) потребує додаткових капітальних витрат (+12.5%) та збільшує операційні витрати на одиницю продукції (+6.8%). Проте, це компенсується вищою ціною реалізації (+14.3%) за рахунок виходу на преміальні ринки та отримання цінової надбавки за екологічну сертифікацію. В результаті, Сценарій #2 забезпечує вищу рентабельність (IRR 56% проти 42%) та коротший термін окупності (1.76 проти 2.22 років).

Важливо відзначити, що Сценарій #2 також демонструє нижчу точку беззбитковості (2150 т/рік проти 2400 т/рік), що підвищує стійкість бізнес-моделі до ринкових коливань. Це досягається за рахунок оптимізації виробничих процесів та більш ефективного використання ресурсів в рамках системи вуглецевого менеджменту.

Висновки. Проведене дослідження дозволило комплексно проаналізувати систему верифікації екологічних показників деревинних пелет та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо її удосконалення в контексті вуглецевого менеджменту. Встановлено, що досліджувані зразки деревинних пелет характеризуються високими екологічними показниками: вміст азоту (0,15%) та хлору (0,006%) значно нижчий за нормативні вимоги, що мінімізує ризики утворення токсичних сполук при спалюванні. Теплотворна здатність (19,01 МДж/кг) перевищує мінімальне нормативне значення на 8,6%, що свідчить про високу енергетичну ефективність біопалива.

Розроблено методику розрахунку інтегрального показника екологічності деревинних пелет, яка враховує комплексний вплив фізико-хімічних параметрів на довкілля. Отримане значення інтегрального показника (0,575) підтверджує відповідність продукції вимогам сталого розвитку та низьковуглецевої економіки. Запропоновано формулу розрахунку коефіцієнта заміщення викопного палива, яка дозволяє кількісно оцінити потенціал скорочення викидів парникових газів при використанні деревинних пелет.

На основі аналізу сертифіката про належність палива до альтернативного (№ 365) та протоколу випробувань розроблено систему моніторингу та верифікації викидів парникових газів за життєвий цикл біопалива. Запропонована система включає контроль ключових параметрів на всіх етапах – від виробництва до кінцевого споживання, що забезпечує комплексний підхід до вуглецевого менеджменту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання для удосконалення процедур сертифікації біопалива, розробки методичних рекомендацій з верифікації екологічних показників та впровадження ефективних інструментів вуглецевого менеджменту. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення системи індикаторів екологічності біопалива та розробку автоматизованих методів їх верифікації.

Література

1. Assessment of greenhouse gas emissions from the production of pellets. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 141. C. 110-124.
2. Carbon footprint of biomass energy supply chains. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. Vol. 128. C. 45-58.
3. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/2066 of 19 December 2018 on the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions. Official Journal of the European Union. L 334/1. 31.12.2018.
4. Demchuk L. I., Patseva I. G., Kireitseva H. V., Kalenska V. P., Tsyganenko-Dziubenko I. Y. A mechanism for ensuring environmental safety in the face of modern challenges and threats. Prospects for sustainable development and ensuring the security of economic systems in the new geostrategic realities : монографія. Košice: Vysoká škola bezpečnostného manažérstva v Košiciach, 2023. C. 141-151.
5. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. Official Journal of the European Union. L 328/82. 21.12.2018.

6. EN 15149-1:2010 Solid biofuels – Determination of particle size distribution – Part 1: Oscillating screen method using screen apertures of 1 mm and above.
7. EN ISO 17225-1:2021 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements.
8. ENplus® Handbook, Part 3: Pellet Quality Requirements, Version 3.0. European Pellet Council, 2015.
9. European Commission. EU Taxonomy Climate Delegated Act. Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2139 of 4 June 2021.
10. Global Bioenergy Statistics 2023. International Energy Agency : веб-сайт. URL: https://www.iea.org/reports/renewables-2023 (дата звернення: 06.11.2024).
11. ISO 14064-1:2018 Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals.
12. ISO 17225-2:2021 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 2: Graded wood pellets.
13. Zamula I., Kireitseva A. Environmental liabilities arising from the transactions with atmospheric air as an accounting object. Economics & Sociology. 2013. Vol. 6, No 2. С. 190-200. DOI: 10.14254/2071-789X.2013/6-2/17
14. Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework. Official Journal of the European Union. L 156/1. 19.6.2018.
15. Zamula I., Shavurska O., Kireitseva H. Sustainable Development of Ukraine as an Innovative Approach to Its Post-War Recovery. Science and Innovation. 2024. Vol. 20, № 3. С. 3-16. DOI: 10.15407/scine20.03.003
16. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 р. № 902-р.
17. Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change, Paris, 12 December 2015. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
18. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Промислова теплотехніка. 2021. № 2. С. 56-63.
19. ГОСТ 28743-93 Паливо тверде мінеральне. Методи визначення азоту (ИСО 333-83). Наказ від 19.06.1996 № 247. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94466
20. Гавриш В. І. Забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: теорія, методологія, практика : монографія. Миколаїв : МНАУ, 2020. 392 с.
21. ДСТУ EN 15234-2:2013. Тверде біопаливо. Підтвердження якості палива. Частина 2. Пелети деревні для непромислового використання. [Чинний від 2013-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2013.
22. ДСТУ EN ISO 13385-1:2018. Тверде біопаливо. Визначення вмісту золи. Частина 1. Метод визначення загальної золи. [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2018.
23. ДСТУ EN ISO 17225-2:2016. Біопаливо тверде. Технічні характеристики та класи палива. Частина 2. Класифікація деревних пелет. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2016.
24. Замула І. В., Кірейцева Г. В., Хоменко С. В., Устименко В. В. Оцінка ефективності міжнародної співпраці України у сфері екологічного менеджменту та аудиту: критичний аналіз підходів. Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування». 2024. Вип. 2. С. 49-56. DOI: 10.32782/2786-5681-2024-2.06
25. Замула І. В., Кірейцева Г. В. Документування витрат по операціях з атмосферним повітрям. Вісник Запорізького національного університету. Серія: Економічні науки. 2013. № 1(17). С. 67-73.
26. Кірейцева Г.В. Значення екологічної інформації для стійкого розвитку України. Екологічні науки. 2024. Вип. № 2(53). С. 14-25. URL: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2024/2/36.pdf
27. Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: Закон України від 12.12.2019 р. № 377-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text
28. Палій О., Пацева І., Кірейцева Г., Циганенко-Дзюбенко І. Використання відходів гірничо-видобувної галузі, як альтернативної сировини у будівництві. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. № 1. С. 27-35. DOI: 10.32782/pcsd-2023-1-4
29. Про альтернативні види палива : Закон України від 14.01.2000 р. № 1391-XIV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14
30. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо розвитку торгівлі твердими біологічними видами палива : Закон України від 21.05.2021 р. № 1509-IX.
31. Роїк М. В., Ганженко О. М., Тимощук В. Л. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні. Біоенергетика. 2019. № 1. С. 5-11.
32. Шпичак О. М., Боднар О. В. Теоретичні основи біоенергетики в контексті закону збереження енергії. Економіка АПК. 2019. № 8. С. 6-16.
33. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text
34. Regulation (EU) 2019/1020 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on market surveillance and compliance of products. Official Journal of the European Union. 2019. L 169/1. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1020
35. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 07.12.2016 р. № 932-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/932-2016-p#Text

УДК 504.064.47
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.5

УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ НА ТЕРИТОРІЇ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

Карпій С.Є., Тарабан Є.В., Бєлоконь К.В., Манідіна Є.А.
Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, 69600, м. Запоріжжя
KarpiyS@gmail.com, reshka166@gmail.com, kv.belokon@gmail.com, manidina_ZGIA@ukr.net

В умовах військової агресії виникає багато випадків значних руйнувань територій забудов інфраструктури міського та селищного типу, що створює величезні обсяги будівельних відходів. Відходи становлять загрозу навколишньому середовищу та здоров'ю населення, особливо в умовах війни, бо доступ до нормальних засобів збирання, утилізації та переробки обмежений. Тому стає актуальним питання удосконалення системи управління відходами, особливо відходами руйнувань, на територіях, які знаходяться під ракетними обстрілами, до яких входить Запорізька область. Стаття містить аналіз існуючих нормативно-правових актів, що регулюють систему поводження з відходами в Україні, та особливості управління відходами в умовах збройного конфлікту. Розглядаються основні проблеми утилізації, зберігання та обробки відходів, зокрема в умовах тимчасово окупованих територій та зонах бойових дій. Також, пропонуються рішення щодо створення місць для тимчасового зберігання відходів та можливості їх переробки у будівельні матеріали, що сприятиме зменшенню обсягів накопичених відходів руйнації та знизить рівень забруднення навколишнього середовища та призведе до менших економічних витрат на відновлення постраждалого регіону. У статті детально описано існуючу інфраструктуру для зберігання і обробки відходів в області, що не відповідає потребам зростаючих обсягів відходів, а особливо велику кількість відходів руйнації. Тож виникає потреба у створенні нових переробних потужностей для ефективного використання відходів. Запропоновані заходи будуть сприяти не лише ефективному управлінню відходами та зменшать навантаження на довкілля, а й допоможуть у відновленні постраждалих територій, створенні нових робочих місць, а також стійкому розвитку регіону в умовах післявоєнної відбудови. Запропонована схема складається з конвеєра стрічкового, агрегату подрібнення, агрегату завантаження, двох установок сортувальних, агрегату сортувальний грохот, магнітного сепаратору, шредеру, подрібнювача та системи керування. Це обладнання дозволяє здійснювати повний процес переробки будівельного сміття, починаючи від первинного подрібнення великих шматків до сортування та підготовки кінцевого продукту до подальшого використання. Продукти, отримані від переробки будівельного сміття, можливо використовувати для виробництва різних будівельних матеріалів: цегли, бетону та ін. *Ключові слова:* будівельне сміття, відходи, переробка, полігон, руйнування, управління відходами, бойові дії.

Construction waste management in the Zaporizhzhia region during the war. Karpiy S., Taraban Ye., Belokon K., Manidina Ye.
In the context of military aggression, there are many cases of significant destruction of urban and rural infrastructure, which generates huge amounts of construction waste. Waste poses a threat to the environment and public health, especially in times of war, as access to normal means of collection, disposal and recycling is limited. Therefore, the issue of improving the waste management system, especially demolition waste, in the territories under rocket attacks, including Zaporizhzhia Region, is becoming relevant. The article contains an analysis of the existing legal acts regulating the waste management system in Ukraine and the specifics of waste management in the context of armed conflict. The main problems of waste disposal, storage and treatment, in particular in the temporarily occupied territories and combat zones, are considered. It also proposes solutions to create places for temporary storage of waste and the possibility of its recycling into construction materials, which will help reduce the volume of accumulated waste of destruction and reduce the level of environmental pollution and lead to lower economic costs for the restoration of the affected region.

The article details the existing infrastructure for waste storage and processing in the region, which does not meet the needs of the growing waste volumes, especially the large amount of demolition waste. Therefore, there is a need to create new processing facilities for the efficient use of waste. The proposed measures will not only contribute to effective waste management and reduce the burden on the environment, but will also help to restore the affected areas, create new jobs, and ensure the sustainable development of the region in the context of post-war reconstruction. The proposed scheme consists of a belt conveyor, a shredding unit, a loading unit, two sorting units, a screening unit, a magnetic separator, a shredder, a shredder and a control system. This equipment allows for a complete construction waste recycling process, from primary shredding of large pieces to sorting and preparation of the final product for further use. The products obtained from the processing of construction waste can be used for the production of various building materials: bricks, concrete, etc. *Key words:* construction waste, waste, recycling, landfill, destruction, waste management, shredding, military operations.

Постановка проблеми. Проблема відходів в Запорізькому регіоні вирізняється особливою масштабністю та значущістю внаслідок домінування в економіці ресурсоємних багатовідхідних технологій, а також у зв'язку з відсутністю впродовж тривалого часу адекватного реагування на заклик світової спільноти до екологізації виробництва. Значні масштаби використання ресурсів та енергетично-сировинна спеціалізація регіональної економіки разом із застарілою технологічною базою визначали і надалі визначають високі показники утворення та накопичення відходів у місцях їх видалення.

Обставини, що склалися, викликають поглиблення екологічної кризи та загострення соціально-економічної ситуації в суспільстві, що обумовлює необхідність невідкладного реформування і розвитку з урахуванням набутого за роки незалежності та глобального світового досвіду всієї право-

вої та економічної системи, що регулюють використання природних ресурсів у цілому та управління відходами зокрема. Проблема управління відходами є однією з ключових екологічних проблем і найвагомішою у ресурсному аспекті.

Актуальність дослідження. У національному законодавстві терміном «відходи» визначено будь-які речовини, матеріали і предмети, яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися.

Директивою Європейського Парламенту та Ради 2008/98/ЄС про відходи запропоновано визначення терміну «управління відходами» у значенні: збирання, перевезення, відновлення (у тому числі сортування) та видалення відходів, включаючи нагляд за такими операціями та післяексплуатаційний догляд за місцями видалення відходів, а також діяльність брокерів та дилерів.

Система управління відходами та відповідні галузеві нормативно-правові акти сьогодні знаходяться на стадії формування та реформування з метою інтеграції у ринок відходів ЄС та європейську систему управління відходами, внаслідок чого, термін «управління відходами» визначається як синергія діючого, визначеного у Законі України «Про управління відходами» (далі – Закон), терміну «управління відходами» та, вже частково інтегрованих у екологічний світогляд України, принципів економіки замкненого циклу або циркулярної економіки.

Суб'єктами права власності на відходи є фізичні та юридичні особи, територіальні громади, держава. Територіальні громади є власниками відходів, переданих їх утворювачами або попередніми власниками до систем управління побутовими відходами [1].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Отримані результати можуть бути впроваджені у діяльності зацікавлених організацій для зменшення кількості відходів будівництва, у тому числі відходів від руйнувань, спричинених військовою агресією. Дослідження враховують законодавчі ініціативи та міжнародні директиви, що регулюють управління відходами, що є основою для реального впровадження запропонованих рішень. Так, Закон України «Про відходи» та інші важливі нормативно-правові акти встановлюють основні правила щодо зберігання, утилізації та переробки будівельних відходів, зокрема тих, що утворюються внаслідок руйнувань. У контексті європейської інтеграції України, директива ЄС 2008/98/ЄС «Про відходи» служить важливим орієнтиром для адаптації національного законодавства до європейських стандартів. Вона підкреслює важливість циркулярної економіки, яка ставить за мету зменшення кількості відходів через рециклінг та заохочує впровадження інноваційних технологій для їх ефективної переробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [2] зазначено, що проблема управління відходами стала особливо актуальною через великі обсяги сміття, які утворюються внаслідок руйнувань. Ці обсяги продовжують зростати, і, на жаль, через низьку вартість захоронення та відсутність стимулів для переробки, ми можемо зіткнутися з серйозними проблемами: засміченням земель, перевантаженням сміттєзвалищ та накопиченням великих обсягів будівельних і інших відходів на спеціально відведених ділянках. Це, в свою чергу, може призвести до створення довгострокових полігонів для таких відходів, що негативно позначиться на навколишньому середовищі.

Управління будівельними відходами в умовах військового стану – це складне завдання, яке потребує як теоретичних, так і практичних рішень. У статті [3], що розглядає розробку стратегії управління відходами руйнації в умовах воєнного стану, підкреслюється важливість повторного використання (рециклінгу) відходів як одного з основних шляхів зменшення їх обсягів. Однак для ефективного впровадження рециклінгу спочатку необхідно налагодити процес сортування та провести лабораторні дослідження.

Дослідження [4] наголошує на важливості збереження природних ресурсів та зменшення впливу на довкілля шляхом використання інноваційних технологій, таких як вторинні ресурси, 3D-друк, Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект. Успішне впровадження циркулярних практик потребує зусиль з боку урядів, бізнесу та громадськості. Міжнародна співпраця і створення сприятливого регулюючого середовища є важливими для розвитку цієї галузі, яка має великий потенціал для сталого майбутнього в будівництві та охороні навколишнього середовища.

Метою статті є аналіз ефективності управління твердими будівельними відходами у Запорізькому регіоні в умовах збройного конфлікту, а також розробка пропозицій щодо впровадження заходів з утилізації та переробки відходів з метою зменшення екологічної шкоди.

Новизна. Запропонована апаратурно-технологічна схема роботи комплексу по переробці твердих будівельних відходів в умовах воєнного часу. Стаття також досліджує особливості функціонування системи управління відходами в умовах воєнної агресії, зокрема в Запорізькому регіоні, де актуальним є проблема накопичення та небезпечного зберігання відходів.

Методологічне або загальнонаукове значення. У статті використані офіційні звіти та документи місцевих органів влади, звіти міжнародних організацій, Директива Європейського Парламенту та Ради 2008/98/ЄС, Закони України. Було застосовано методи аналізу та порівняння, прогнозування та експертне оцінювання даних.

Викладення основного матеріалу. Територія Запорізької області повністю включена до Переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії, тимчасово окупованих Російською Федерацією

або території можливих бойових дій, затвердженого наказом Міністерства з питань реінтеграції тимчасово окупованих територій України від 22 грудня 2022 року № 309, що зареєстрований в Міністерстві юстиції України 23 грудня 2022 р. за № 1668/39004.

З початку російського вторгнення станом на 01.01.2024 в області зафіксовано часткове пошкодження або повне руйнування 13 512 цивільних об'єктів, у тому числі житлові будинки (багатоповерхові та приватні) – 7776; заклади освіти, культури та спорту – 423, промислові об'єкти та об'єкти життєзабезпечення – 4272. Відходи руйнувань на підконтрольній території області лише за 2023 рік склали близько 31,4 тис. тонн.

Порядком виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії рф, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 19.04.2022 № 473, визначено механізм оперативного реагування виконавчих органів сільських, селищних, міських рад, спрямований на ліквідацію наслідків збройної агресії рф, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд на території України.

Питання належного поводження з відходами руйнувань врегульоване Порядком поводження з 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, затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 № 1073 (далі – Порядок № 1073).

Уповноваженим органом з організації та координації поводження з відходами руйнувань на відповідній території визначено виконавчий орган селищної, міської ради. При цьому, обласними військовими (державними) адміністраціями, у разі утворення на відповідній території (територіях) відходів від руйнувань в обсягах, що перевищують потужність наявних об'єктів поводження з відходами, або за відсутності таких об'єктів на відповідних територіях, приймається рішення про розміщення місць тимчасового зберігання відходів від руйнувань.

Місця тимчасового зберігання відходів від руйнувань – спеціально обладнані або пристосовані земельні ділянки (майданчики), призначені для тимчасового, протягом періоду воєнного стану та одного року з дня припинення або скасування воєнного стану, зберігання відходів від руйнувань до їх утилізації чи видалення у спосіб, що не становить загрози здоров'ю людей та навколишньому природному середовищу.

При визначенні місця тимчасового зберігання враховуються наступні вимоги Порядку: 2 кілометри – від об'єктів водного фонду; 0,5 кілометра – від житлової та громадської забудови, об'єктів соціальної інфраструктури; 0,2 кілометра – від сільськогосподарських угідь, доріг загального користування та залізничних шляхів загальної мережі; 0,05 кілометра – від лісів.

Також, відповідно до вимог визначених Порядком, місця тимчасового зберігання організовуються з дотриманням таких вимог щодо наявності (влаштування): твердої та рівної основи (покриття), зокрема з бетону, асфальту чи ущільненого ґрунту, покритого шаром геомембрани завтовшки не менше 0,5 метра; організованого відведення води, що утворюється внаслідок випадання атмосферних опадів; огородженого периметра; забезпечення освітлення території; облаштованого в'їзду та під'їзних доріг, що забезпечують безперешкодний проїзд транспортних засобів [5].

Зберігати відходи від руйнувань відповідно до Порядку № 1073 можливо на наявних об'єктах поводження з відходами, у кількості, що не перевищує відповідних норм і правил їх експлуатації, або за відсутності таких об'єктів на місцях тимчасового зберігання. Існуючі об'єкти управління відходами, що представляють собою місця видалення побутових відходів, не в змозі прийняти значної кількості відходів від руйнувань.

Для збирання відходів, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведення робіт з ліквідації їх наслідків Запорізькою міською радою, за місцями їх утворення чи виявлення, встановлюються контейнери об'ємом 9 м^3.

На даний час відходи руйнувань перевозяться і зберігаються на полігоні твердих побутових відходів № 1 на території Запорізької міської громади. Лише за 2023 рік на полігоні розміщено 12 425,7 тонн будівельних відходів та відходів руйнувань.

Однак, у зв'язку із підвищенням інтенсивності воєнних обстрілів та збільшенням руйнувань, обсяги відходів руйнувань стрімко зростають, що призводить до швидкого заповнення наявного місця тимчасового зберігання відходів від руйнувань. У зв'язку із цим та з метою прискорення проведення аварійно-рятувальних робіт, перевезення і розміщення відходів руйнувань рішенням Ради оборони Запорізької області від 19.12.2023 № 174 об'єкт незавершеного будівництва ПТПВ № 3 на земельній ділянці Широківської територіальної громади площею 27 га визначено місцем для тимчасового зберігання відходів від руйнувань, що утворилися у зв'язку із пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд. Строк його використання під ці цілі встановлено до завершення воєнного стану та протягом одного року з дня його припинення або скасування.

Враховуючи кількість руйнувань, впровадження ефективної системи управління відходами стає надзвичайно важливою. На даний час відходи руйнувань (будівельне сміття) перевозяться і зберігаються на полігоні твердих побутових відходів № 1 на території Запорізької міської громади Запорізького

району. Полігон призначений для централізованого збирання, сортування, ізоляції та захоронення відходів. Для остаточного розміщення на полігоні будівельні матеріали та будівельне сміття по своїм фізичним, хімічним або мікробіологічним характеристикам повинно бути схоже з твердими побутовими відходами.

Але необхідно зазначити, що в більшості випадків відходи від руйнувань будуть залишаються за місцем утворення у зв'язку із небезпекою постійних обстрілів території.

На даний час в зоні активних бойових дій знаходяться територіальні громади Пологівського та Василівського районів, на яких утворилося близько 65,7 тис. т відходів руйнувань, а саме: Степногірська ТГ – 0,862 тис. т; Оріхівська ТГ – 2,361 тис. т; Малотокмачанська ТГ – 0,35 тис. т; Преображенська ТГ – 0,436 тис. т; Гуляйпільська ТГ – 60,464 тис. т; Воздвижівська ТГ – 1,232 тис. т [6].

В перспективі для ліквідації забруднення земельних ділянок відходами руйнувань та скорочення загальних витрат використання необхідно здійснення ліквідацію відходів руйнування шляхом їх переробки у будівельні матеріали.

Місце реалізації проєктів – територія Запорізького району в районі м. Оріхів або м. Комишуваха (зона лівобережжя) та територія Широківської громади Запорізького району (зона правобережжя). Розташування комплексу з переробки відходів руйнування на зазначених територіях дозволе мінімізувати транспортні витрати на перевезення відходів.

Розміщення промислового майданчику повинно здійснюватися на території, на якій не ведуться активні бойові дії (з урахуванням обмежень віддалення не менше як на 30 кілометрів від території активних бойових дій та територій тимчасово окупованих рф).

Будівництво кожного майданчику передбачає відкриття нового виробництва та створення близько 20 робочих місць. Також створення нового виробництва позитивно вплине на розвиток території, зменшення соціальної напруги та очищення земель від забруднення будівельними відходами та відходами руйнувань. Орієнтовна вартість майданчику – 653 080,00 тис. грн. Потужність комплексу з переробці складає 50 м^3/год. Розмір земельної ділянці біля 10 га.

При цьому необхідно враховувати те, що для встановлення обладнання необхідно лише наявність електроживлення та після завершення переробці наявного обсягу відходів може буде демонтовано те переміщено у інші райони області. Необхідне обладнання: роторні установки, молоткові та відцентрово-ударні дробарки, роликові установки, вібросита. Це обладнання дозволяє здійснювати повний процес переробки будівельного сміття, починаючи від первинного подрібнення великих шматків до сортування та підготовки кінцевого продукту до подальшого використання. Орієнтовний перелік обладнання зазначено таблиці 1.

Орієнтовна схема розташування обладнання представлена на рисунку 1.

Продукти, отримані від переробки будівельного сміття, можливо використовувати для виробництва різних будівельних матеріалів: цегли, бетону та ін. [7, 8].

Наприклад:

– перероблений заповнювач і гравій для бетону: процес подрібнення бетонних відходів утворює гравій, який можна використовувати як наповнювач для виробництва нового бетону. Це особливо важливо для легких бетонних сумішей і виробництва високоміцних бетонів;

– виробництво будівельних блоків: перероблені матеріали, такі як бетонний гравій, можна використовувати як наповнювачі у виробництві будівельних блоків для малоповерхового будівництва;

– виробництво цегли: У деяких випадках перероблені матеріали можна використовувати як сировину для виробництва цегли. Наприклад, пластикові відходи та певні види пресованих матеріалів можна використовувати у виробництві цегли для покращення ізоляційних властивостей та зменшення ваги;

– використання в будівництві доріг: перероблений асфальт і бетон часто використовуються в будівництві доріг як економічно ефективна та екологічно стійка альтернатива традиційним матеріал.

Суттєвим фактором є подальша організація реалізації будівельних матеріалів. Доцільно розглянути можливість передачі обладнання на баланс комунального або Державного підприємства з будівництва автомобільних доріг.

Наразі першочергове завдання – необхідно максимально опрацювати проєктне завдання та після припинення бойових організувати будівництво комплексів [9].

Аналогічний проект вже розпочато у Київській ОДА спільно із представниками Японського агентства міжнародного співробітництва (JICA) [10].

Висновки та перспективи використання результатів дослідження. Для ефективного вирішення проблеми управління відходами руйнувань внаслідок бойових дій необхідний комплексний підхід, який включає у себе створення спеціальних майданчиків для тимчасового зберігання відходів та розвиток технологій їх переробки. Отже постає необхідність забезпечити належну організацію системи управління відходами, у яку входять процеси збереження, транспортування та утилізації відходів з дотриманням усіх санітарно-екологічних норм. Впровадження системи переробки будівельного сміття зменшить навантаження на екологію та додатково будуть створені нові робочі місця, що в свою чергу, сприятиме економічному розвитку регіону.

Таблиця 1

Найменування обладнання

Обладнання	Продуктивність, т/год	Ширина стрічки, мм	Довжина перекачування, м	Потужність, кВт	Кількість
Стрічковий конвеєр	60100	500	12	5,5	8
	60100	500	20	7,5	4
	60100	500	6	5,5	4
Щекова дробарка	продуктивність розвантаження 40 мм, т/год	продуктивність розвантаження 100 мм, н/год	Розмір впускного отвору	Потужність, кВт	
	65	200	800×510	75	1
Вібраційний живильник з функцією попереднього просіювання	продуктивність розвантаження 40 мм, т/год	Розмір	Максимальний розмір впускної сировини, мм	Потужність, кВт	
	300	1300×4900	750	22	1
Вібраційний гуркіт	продуктивність м^3/год	Розмір	Сходи сита	Потужність, кВт	
	22160	1500×4800	3	15	1
Магнітний сепаратор надстрічковий	продуктивність розвантаження 40 мм, т/год	Розмір	Робоча дистанція, мм/тип магніту	Потужність, кВт	
	2	100×2000	100600/ постійний	2	1
Шредер	продуктивність розвантаження 40 мм, т/год	Розмір	Розмір камери різання	Потужність, кВт	Кількість
	2	2810×950×1400	800×600	2x30	1
Навантажувач фронтальний	Вантажопідйомність, т	об'єм ковша, м^3	Маса, т	Габарити	Кількість
	5	3,3	16	7760× 3000× 3380	2
Екскаватор на гусеничному ходу	Радіус черпання, м	об'єм ковша, м^3	Маса, т	Габарити	Кількість
	9,9	1	21	9520× 2800× 3030	1
Екскаватор на гусеничному ходу	Радіус черпання, м	об'єм ковша, м^3	Маса, т	Габарити	Кількість
	10,5	1,7	34	11275× 3280× 3480	1
Бульдозер	Висота відвалу, мм	Потужність, кВт	Маса, т	Габарити	Кількість
	1300	175	23,5	5390× 3735× 3350	1
Самоскид кар'єрний	Вантажопідйомність, т	Потужність, кВт	Маса, т	Габарити	Кількість
	30	340	45	8750× 2560× 3450	2
Навісні гідравлічні ножиці з можливістю обертання на 360 градусів	Сумісність з екскаватором (кріплення до рукояті), т	Максимальне розкриття щелеп, мм	Маса, т	Загальна довжина, мм	Кількість
	2738	585	3	3142	1
Грейферне захоплення для металобрухту	Сумісність з екскаватором (кріплення до рукояті), т	Кількість щелеп	Маса, т	Габарити	Кількість
	1624	4	1,2	2000мм/600л	1
Гідромолот	Сумісність з екскаватором (кріплення до рукояті), т	Енергія удару, Дж	Маса, т		Кількість
	2738	175	2,45		1

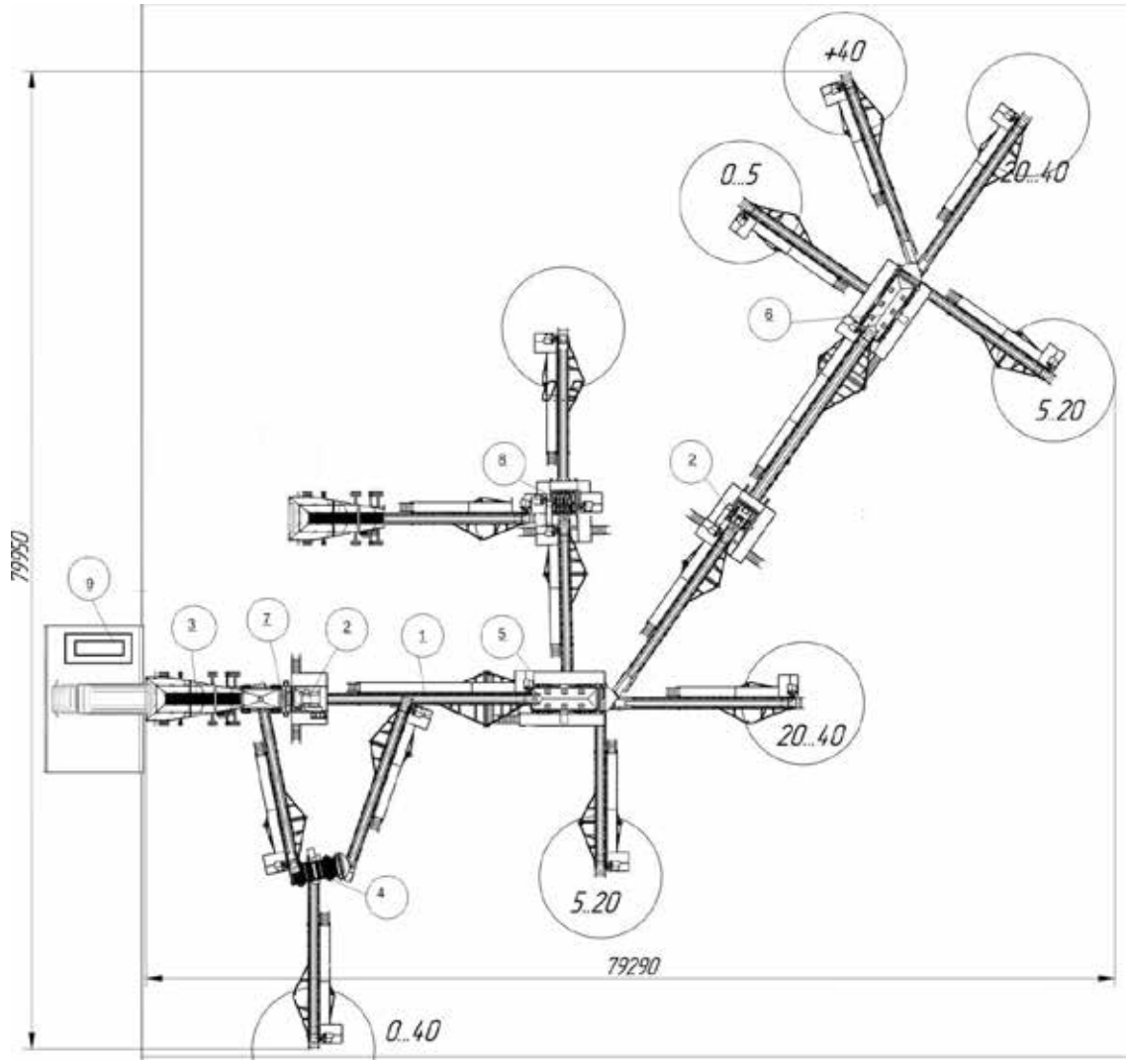


Рис. 1. Схема розташування обладнання комплексу по переробці ТБВ потужністю 50 м³/год

1 – конвеєр стрічковий, 2 – агрегат подрібнення, 3 – агрегат завантаження, 4 – установка сортувальна, 5 – установка сортувальна, 6 – агрегат сортувальний грохот, 7 – магнітний сепаратор, 8 – шредер, подрібнювач, 9 – система керування

Література

1. Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX : станом на 29 черв. 2024 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text (дата звернення: 12.11.2024).
2. Нонік Л. Ю., Пацева І. Г., Пічкур Т. В. Розроблення стратегії управління відходами руйнації в умовах воєнного стану. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*. 2023. № 4. С. 40–46. URL: https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8292/40.pdf (дата звернення: 12.11.2024).
3. Шибаєва Н. В., Бабан Т. О., Марченко М. В. Управління будівельними відходами на принципах циркулярної економіки. *Інноваційні чинники економічного зростання*. 2023. Т. 2023, № 4. С. 66–74. URL: https://doi.org/10.36887/2524-0455-2023-4-11 (дата звернення: 12.11.2024).
4. Innovative Technologies In Construction Waste Management In Accordance With Circular Economy / N. Levchenko et al. *Scientific Bulletin of Building*. 2024. No. 110. P. 62–69. URL: https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.110.1.9 (date of access: 12.11.2024).
5. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 08.11.2017 № 820-р : станом на 17 верес. 2020 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-р#Text (дата звернення: 25.11.2024).
6. Стратегія регіонального розвитку Запорізької області на період до 2027 року / Стратегія регіонального розвитку на період до 2027 року. *Запорізька обласна державна адміністрація*. URL: https://www.zoda.gov.ua/news/48277/strategiya-regionalnogo-rozvitku-na-period-do-2027-roku.html (дата звернення: 25.11.2024).
7. Відходи руйнування: які особливості поводження?. *Офіс Сталих Рішень*. URL: https://ukraine-oss.com/vidhody-rujnuvannya-yaki-osoblyvosti-povodzhennya/ (дата звернення: 25.11.2024).

8. Порядок поводження з відходами руйнації в Україні: чинне нормативно-правове регулювання – Екологія Право Людина. *Екологія Право Людина*. URL: https://epl.org.ua/announces/poryadok-povodzhennya-z-vidhodamy-rujnatsiyi-v-ukrayini-chynne-normatyvno-pravove-regulyuvannya/ (дата звернення: 25.11.2024).
9. Поводження з відходами руйнації. *Zero Waste Alliance Ukraine*. URL: https://city.zerowaste.org.ua/wiki/keruvannya_vidkhodamy_ruynuvannya (дата звернення: 25.11.2024).
10. Японське агентство міжнародного співробітництва продовжує допомагати Київщині із налагодження системи поводження з відходами руйнації – Київська обласна військова адміністрація. *Київська обласна військова адміністрація*. URL: https://koda.gov.ua/yaponske-agentstvo-mizhnarodnogo-spivrobitnycztva-prodovzhuye-dopomagaty-kyyivshhyni-iz-nalagodzhennya-systemy-povodzhennya-z-vidhodamy-rujnacziyi/ (дата звернення: 25.11.2024).

УДК 911.9:620.91
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.6

ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ: ПРИКЛАД ДАНІЇ

Ямелинець Т.С.
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79007, м. Львів
Taras.Yamelynets@lnu.edu.ua

При будівництві вітрових електростанцій важливо дотримуватись природоохоронного законодавства та обмежень. Важливим напрямком природоохоронного законодавства є процедура з оцінки впливу на довкілля. Будівництво вітрових електростанцій у більшості країн світу підлягає здійсненню такої процедури на законодавчому рівні.

Оскільки, Данія є однією з ключових країн, які розвивають вітрову енергетику, а данський виробник вітрових турбін «Vestas» посідає передове місце на світовому ринку виробників турбін у даній статті зосереджено увагу на особливостях законодавства країни та врахування їх у звітах з оцінки впливу на довкілля.

Проходженню процедури з оцінки впливу на довкілля згідно Додатку 2 Законодавчого декрету підлягають установки, що використовують енергію вітру для виробництва електроенергії (вітрогенератори), за винятком окремих вітрогенераторів у наземних зонах загальною висотою до 25 м (побутові турбіни).

У звітах з оцінки впливу на довкілля описуються прямі та непрямі впливи на: людей, флору та фауну, ґрунт, воду, повітря, клімат та ландшафт, навігацію та авіаційну безпеку, матеріальні та культурні цінності та взаємодію між тими факторами.

Також у звіті з оцінки впливу на довкілля оцінюється вплив діяльності на важливий компонент довкілля як культурний ландшафт – це ландшафт, який розвивався і змінювався з часом завдяки людському використанню.

Значну увагу при розробленні проектів з будівництва вітрових електростанцій приділяють визначенню візуального впливу на ландшафти. У законодавчих нормах встановлено, що відстань до житлових будинків повинна бути не менша ніж чотирикратна загальна висота турбіни. Також у разі планування вітрових турбін на відстані ближче ніж 28-ми кратна загальна висота існуючих чи запланованих вітрових турбін потрібно додатково оцінювати вплив на ландшафт. Даний норми не поширюються на побутові вітрові турбіни висотою до 25 м, які можна будувати разом з будівлями.

Також важливу роль приділяють визначенню шумових показників та ефекту мерехтіння тіней (відбивання тіні). Для його пом'якшення у вітрових турбінах застосовуються спеціальні системи автоматизації.

Для визначення впливу на біорізноманіття, природоохоронні території проводяться ґрунтовні наукові дослідження території. *Ключові слова:* відновлювана енергетика, оцінка впливу на довкілля, комплексний підхід, відновлювані джерела енергії, вітрова енергетика.

Environmental impact assessment for wind energy objects: example of Denmark. Yamelynets T.

When building wind farms, it is important to comply with environmental laws and restrictions. An important area of environmental legislation is the environmental impact assessment procedure/ The construction of wind power plants in most countries is subject to such a procedure at the legislative level.

Since Denmark is one of the key countries developing wind energy, and the Danish wind turbine manufacturer Vestas is a leader in the global turbine market, this article focuses on the specifics of the country's legislation and how they are taken into account in environmental impact assessment reports.

Installations that use wind energy to generate electricity (wind turbines), with the exception of individual wind turbines in ground areas with a total height of up to 25 m (domestic turbines), are subject to the environmental impact assessment procedure in accordance with Annex 2 of the Legislative Decree.

Environmental impact assessment reports describe direct and indirect impacts on: people, flora and fauna, soil, water, air, climate and landscape, navigation and aviation safety, material and cultural values and the interaction between these factors.

The environmental impact assessment report also assesses the impact of the activity on an important component of the environment, the cultural landscape, which is a landscape that has developed and changed over time through human use.

When developing wind farm projects, considerable attention is paid to determining the visual impact on the landscape. Legislation stipulates that the distance to residential buildings should be at least four times the total height of the turbine. In addition, if wind turbines are planned at a distance closer than 28 times the total height of existing or planned wind turbines, an additional landscape impact assessment is required. This regulation does not apply to domestic wind turbines up to 25 metres in height, which can be built together with buildings.

An important role is also played in determining noise performance and the shadow flicker effect (shadow reflection). To mitigate this effect, wind turbines use special automation systems.

In order to determine the impact on biodiversity and protected areas, in-depth scientific studies of the territory are carried out. *Key words:* renewable energy, environmental impact assessment, integrated approach, renewable energy sources, wind energy.

Постановка проблеми. Під час здійснення оцінки впливу на довкілля для об'єктів вітрової енергетики виникає чимало проблем через відсутність специфічних вузькогалузевих методик, оскільки дана галузь в Україні є відносно нової та стрімко почала розвиватись лише за останнє десятиріччя.

Актуальність дослідження. Для покращення процедури з оцінки впливу на довкілля в першу чергу необхідно вивчити досвід країн, які на законодавчому рівні мають чимало норм і правил щодо специфічного регулювання в галузі. Так, Данія є однією із пріоритетних країн у напрямку вітрової енергетики. Тому вивчення данських підходів до оцінки впливу на довкілля для об'єктів вітрової енергетики є важливим та необхідним для українських розробників екологічної документації.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У статті проаналізовано звіт з оцінки впливу на довкілля для проекту з вітроенергетики та розглянуто основні підходи до оцінки у Данії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика оцінки впливу на довкілля в Україні висвітлено в дослідженнях Барної І.М. [1-3], колектив авторів Лопушанська М.Р., Іванов Є.А., Вижва А.М., Циганок Л.В. запропонували методику оцінки методика оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики та оцінили вплив на довкілля для проектів з вітрової енергетики у Львівській області [4-5]. Чимало досліджень міжнародного досвіду з оцінки впливу на довкілля висвітлено на офіційному вебсайті Офісу сталих рішень, зокрема досвід Естонії, Латвії, Туреччини та Словенії [6]. Рекомендації для суб'єктів господарювання щодо участі громадськості в процедурі з оцінки впливу на довкілля оцінено в публікації МБО «Екологія-Право-Людина» [7].

Метою роботи є аналіз підходів до оцінки впливу на довкілля для об'єктів вітрової енергетики на прикладі проекту з вітроенергетик в Данії.

Новизна. У статті здійснено аналіз звіту з оцінки впливу на довкілля для проекту з вітроенергетики та розглянуто основні підходи до оцінки у Данії. Оцінено перспективи використання даних підходів в українському законодавстві.

Методологічне значення. Результати аналізу звіту з оцінки впливу на довкілля проекту вітрової енергетики в майбутньому можна використати як основу для створення галузевих методичних рекомендацій для розроблення звітів з оцінки впливу на довкілля для проектів з вітроенергетики в Україні.

Викладення основного матеріалу. Оцінка впливу на довкілля у Данії здійснюється згідно Законодавчого декрету № 4 від 3 січня 2023 року про екологічну оцінку планів і програм та конкретних проектів (Lovbekendtgørelse nr. 4 af 3. januar 2023 om miljøvurdering af planer og programmer og af konkrete projekter (VVM) [8]. Даний Законодавчий декрет не поширюється на Фарерські острови та Гренландію. Проходженню процедури з оцінки впливу на довкілля згідно Додатку 2 Законодавчого декрету підлягають установки, що використовують енергію вітру для виробництва електроенергії (вітрогенератори), за винятком окремих вітрогенераторів у наземних зонах загальною висотою до 25 м (побутові турбіни).

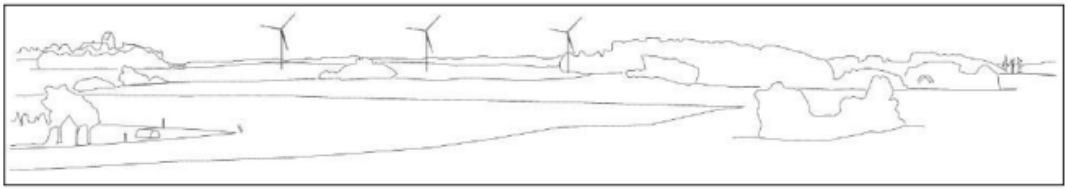
У Данії довгостроковою метою є перехід до енергетичної та транспортної системи, яка на 100% базуватиметься на відновлюваних джерелах енергії до 2050 року.

У звітах з оцінки впливу на довкілля описуються прямі та непрямі впливи на: людей, флору та фауну, ґрунт, воду, повітря, клімат та ландшафт, навігацію та авіаційну безпеку, матеріальні та культурні цінності та взаємодію між тими факторами [10].

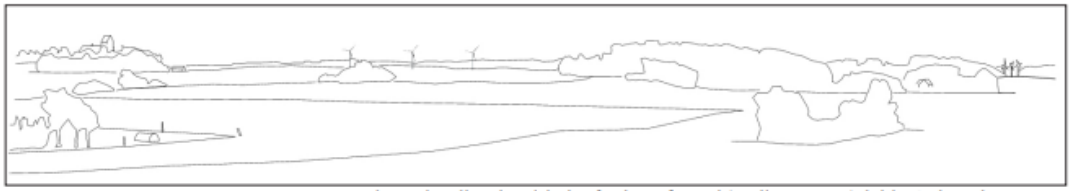
Визначення екологічних аспектів, які висвітлені у звітах з оцінки впливу на довкілля розглянемо на прикладі будівництва вітрової станції в Лінгсі. Проектом передбачається встановлення трьох турбін висотою 150 м та демонтаж трьох вітрогенераторів загальною висотою 72 метри приблизно за 400 м на захід від нових вітрових установок. Серед виробників турбін розглядаються Vestas V126 та Siemens SWT-DD-130 та Vestas V136. В основі оцінки на довкілля закладений комплексний підхід, зокрема розглядається будівництво доріг, ліній електропередачі, монтажу вітрогенераторів та їх експлуатація. Ще однією особливістю є те, що власник вітрової турбіни в будь-який момент часу має на вимогу муніципалітету провести вимірювання шуму після введення в експлуатацію, але не рідше 1 разу на рік. Також обрані турбіни забезпечені додатковим захистом від намерзання льоду на лопатях, блискавкозахистом. При обранні варіанту «нульова альтернатива» передбачається залишити три існуючі вітрові турбіни, проте їх термін експлуатації буде 6-11 років, оскільки на момент розроблення проекту вони експлуатуються вже 25-30 років. При встановленні нових турбін вони вироблятимуть приблизно 47 500-54 000 МВт-год на рік протягом 25-30 років. Якщо залишити три існуючі вітрові турбіни, то річний виробіток становитиме близько 8 000 МВт-год на рік [11].

Значна увага приділяється оцінці візуального впливу будівництва вітрової станції на ландшафт. Візуальний вплив на ландшафт може бути негативним, нейтральним або позитивним. Методологія оцінки візуального впливу полягає в оцінці видимості, яка базується на дистанційному зонуванні. До ближньої зони (до 4,5 км від турбін) належить ділянка ландшафту, де вітрові турбіни домінують, до середньої (4,5-10 км) – ділянки ландшафту, де вітрові турбіни розглядають на рівні з іншими елементами ландшафту, а також дальня зона (10-16 км) – це ділянка, де вітрові турбіни не мають суттєвого впливу на візуальний ландшафт (рис. 1). Відстані у зонах можуть змінюватись, в залежності від висоті вітрової турбіни та особливостей рельєфу.

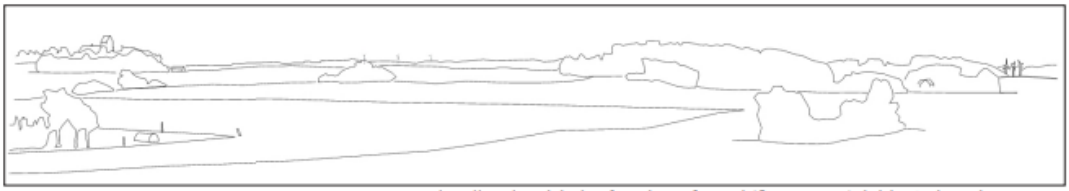
Також у звіті з оцінки впливу на довкілля оцінюється культурний ландшафт – це ландшафт, який розвивався і змінювався з часом завдяки людському використанню.



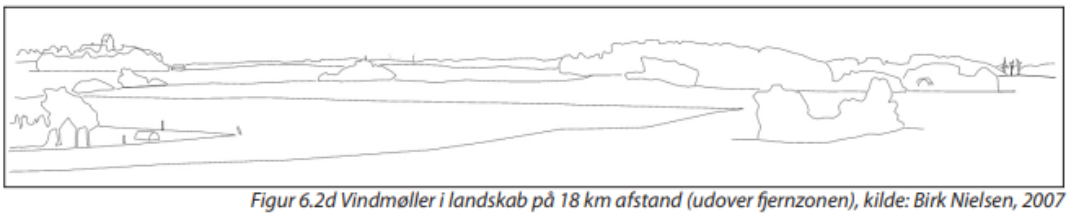
Figur 6.2a Vindmøller i landskab på 3 km afstand (nærzonen), kilde: Birk Nielsen, 2007



Figur 6.2b Vindmøller i landskab på 7 km afstand (mellemzonen), kilde: Birk Nielsen, 2007



Figur 6.2c Vindmøller i landskab på 13 km afstand (fjernzonen), kilde: Birk Nielsen, 2007



Figur 6.2d Vindmøller i landskab på 18 km afstand (udover fjernzonen), kilde: Birk Nielsen, 2007

Рис. 1. Візуальний вплив вітрових турбін на ландшафт: a) на відстані 3 км; b) на відстані 7 км; c) на відстані 13 км; d) на відстані 18 км [11]

Згідно Наказу про проектування та дозвіл на встановлення ВЕУ (Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller) [9] відстань до житлових будинків повинна бути не менша ніж чотирикратна загальна висота турбіни. Також у разі планування вітрових турбін на відстані ближче ніж 28-ми кратна загальна висота існуючих чи запланованих вітрових турбін потрібно додатково оцінювати вплив на ландшафт. Даний норми не поширюються на побутові вітрові турбіни висотою до 25 м, які можна будувати разом з будівлями. Для проекту, який розглядається в статті розмір зони становить 4,2 км. Несприятлива візуальна взаємодія між вітровими турбінами виникає, коли дві або більше вітротурбіни, які не належать до однієї вітроелектростанції, змішуються або знаходяться так близько одна до одної на лінії зору що їх важко розрізнити і отримати чітке уявлення про те, як кожна з них розміщена в ландшафті [11].

Важливим аспектом є врахування відкидання тіні на житлові будинки. Тому в керівних принципах для вітрових турбін рекомендується, щоб на сусідні будинки не впливало відкидання тіні більше 10 годин на рік. Тому всі вітрові турбіни в цьому проекті будуть оснащені програмою управління тінями, яка називається «тіньова зупинка», яка змушує певну вітрову турбіну сповільнити роботу, якщо вона відкидає тінь на сусідній будинок. Комп'ютер, який керує вітровими турбінами, зберігає точні координати розташування турбін та сусідніх об'єктів і поєднує їх з інформацією про шлях сонця в небі.

Оскільки, територія планованої діяльності розміщена поруч з об'єктами «Natura 2000», то необхідно описати та оцінити потенційний вплив проекту на види та оселища, включені до переліку природоохоронних територій та орнітологічних територій. Найближча природоохоронна територія F27 «Гломструп Віг, Агерьо, Мунхольм і Катхольм Одде, Ліндхольм і Ротхольм» розташована на відстані приблизно 250 метрів на північний схід від території проекту. П'ять видів мають охоронний статус у найближчих біотопах: видра, тритон гребінчастий, фінта, тюлень звичайний та гачківник глянсуватий [11].

У Данії було проведено дуже мало досліджень щодо ризику зіткнення птахів з наземними вітровими турбінами. У випробувальному центрі в Остерільді дослідження до і після зіткнення показало, що ризик зіткнення є досить низьким, а потенційний негативний вплив на досліджені види птахів у цій місцевості, ймовірно, буде обмеженим. З інших досліджень, проведених у Данії на базі офшорних вітрових турбін, можна зробити висновок, що птахи часто пролітатимуть навколо вітрових турбін під час міграції. Міжнародні дослідження показують, що ризик зіткнення для великих і важких птахів, які погано маневрують, таких як орли, вищий, ніж для менших птахів. Однак птахи з відносно хорошим зором, такі як гуси і лебеді, мають менший ризик зіткнення, згідно з останніми дослідженнями. Розміщення турбін на шляхах міграції, у водно-болотних угіддях або в інших зонах високої пролітної активності підвищує ризик зіткнення з птахами. На основі наявних досліджень, де відомо про зіткнення птахів з вітровими турбінами, рівень смертності оцінюється в 2,3 загиблих птахів на вітрову турбіну на рік. Тому при створенні нових вітрових електростанцій дуже важливо включати планування ландшафту та оселищ, щоб уникнути цих зіткнень. Однак за цим усередненим показником ховаються великі відмінності в різних типах ландшафтів. Для розміщення вітрових турбін на відкритих сільськогосподарських угіддях смертність розраховується на рівні 0-1 птахів на одну вітрову турбіну на рік. Однак загальна кількість зіткнень птахів з вітровими турбінами невелика порівняно з кількістю птахів, які гинуть від зіткнення з повітряними лініями електропередач або під час дорожнього руху. За оцінками, в Данії близько 1,1 мільйона птахів гине на дорогах щороку. Крім того, багато досліджень показують, що птахи зіштовхуються з лініями електропередач у великій кількості. Це стосується багатьох видів птахів, в тому числі зникаючих і тих, що потребують захисту [11].

Головні підходи до здійснення оцінки впливу на довкілля для проектів з вітрової енергетики в Данії можна в майбутньому використати як основу для розроблення галузевих методичних рекомендацій для здійснення оцінки впливу на довкілля в Україні.

Висновки. Пропонуємо на розгляд такі головні висновки:

1. Під час розроблення проектів з вітрової енергетики для більшості країн світу згідно законодавства необхідно проходити процедуру з оцінки впливу на довкілля.

2. В Данії добре розвинені підходи до здійснення процедури з оцінки впливу на довкілля. На прикладі звіту з оцінки впливу на довкілля для проекту з вітроенергетики розглянуто основні підходи та методи. Так, розглянуто впливи на біорізноманіття, візуальний ландшафт та ефект мерехтіння тіней.

3. Головні підходи до здійснення оцінки впливу на довкілля для проектів з вітрової енергетики в Данії можна в майбутньому використати як основу для розроблення галузевих методичних рекомендацій для здійснення оцінки впливу на довкілля в Україні.

Література

1. Барна І. М. Концепт оцінки впливу на довкілля через призму системного аналізу. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Географія.* – Тернопіль : Тайп, 2021. Вип. 2 (51). – С. 15-23 DOI:https://doi.org/10.25128/2519-4577.21.2.2.
2. Барна І. М. Оцінка впливу на довкілля як превентивний механізм забезпечення сталого природокористування. *Біологічні, медичні та науково-педагогічні аспекти здоров'я людини*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (17-18 листопада 2022 року). – Полтава, 2022. – С. 210-212.
3. Барна І. М. Оцінка впливу на довкілля: аналіз викликів воєнного стану. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер. Географія*. – Тернопіль : Тайп, 2023. – Вип. 1 (54). – С. 233-240. DOI: https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.25
4. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А., Вижва А. М., Циганок Л. В. Методика оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики (на прикладі об'єктів вітрової енергетики у Львівській області). *Екологічні науки : науково-практичний журнал* / гол. ред. О. І. Бондар. К. : Видавничий дім "Гельветика", 2024. № 1 (52). Т. 1. С. 126-133. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.19
5. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А., Вижва А. М., Циганок Л. В. Оцінка впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики Львівської області. *Екологічні науки : науково-практичний журнал* 2024. № 2 (53). С. 123-133. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.18
6. Офіс сталих рішень: веб-сайт URL: https://ukraine-oss.com/ (дата звернення: 24.11.2024)
7. Оцінка впливу на довкілля: рекомендації для суб'єктів господарювання щодо участі громадськості (посібник) / Є. Алексєєва / за заг. ред. О. Кравченко – Видавництво «Компанія "Манускрипт"» – Львів, 2018. – 36 с.
8. Bekendtgørelse af lov om miljøvurdering af planer og programmer og af konkrete projekter (VVM) URL: https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2023/4 (дата звернення: 24.11.2024)
9. Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller URL: https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2019/923 (дата звернення: 24.11.2024)
10. Juridiske aspekter ved vedvarende energi på havet Dansk lovgivning URL: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/82815/1/664568866.pdf (дата звернення: 24.11.2024)
11. Miljørapport for vindmøller ved Lyngs – VVM-undersøgelse og MiljøVurdering URL: https://koeberetsordningen.dk/sites/default/files/2020-07/Bilag%203%20-%20VVM%20og%20milj%C3%B8godkendelse.pdf (дата звернення: 24.11.2024)

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 504.064
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.7

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АБОРИГЕННИХ ВИДІВ РИБ ЗАКАРПАТТЯ ЯК ІНДИКАТОРІВ СТАНУ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Сухарев С.М., Черевко Х.М.
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
вул. Підгірна, 46, 88000, м. Ужгород
serhii.sukharev@uzhnu.edu.ua, khrystyna.cherevko@uzhnu.edu.ua

У статті розглядаються можливості використання аборигенних видів риб Закарпаття для моніторингу стану річкових екосистем, зокрема для оцінки біоакумуляції важких металів та радіонуклідів. Прикладом для комплексного аналізу цього питання можуть слугувати річкові системи Закарпатської області, оскільки такі фактори як різні ландшафтні зони, можливість охоплення різних течій річок, а також особливості гідрологічного та морфологічного режиму дають можливість оцінити стан водних екосистем та явище біоакумуляції в різних умовах.

Автори пропонують комплексний аналіз видів риб, які можуть виступати індикаторами забруднення водойм. Оцінка ґрунтується на здатності аборигенних риб накопичувати токсичні речовини на різних трофічних рівнях та в різних середовищах існування, оскільки кожен вид реагує на зміни у водних екосистемах по-різному. Такий підхід дозволить отримати повну інформацію про стан річкових екосистем території.

Було визначено найбільш ефективні види для моніторингу забруднення: Головень європейський (Squalius cephalus), Пічкур карпатський (Gobio carpathicus) та Минь річковий (Lota lota). Оцінювались різні параметри, такі як поширеність, трофічні рівні, чутливість до змін в середовищі існування. Таким чином, Головень європейський (Squalius cephalus) був охарактеризований широким поширенням, прямою прив'язкою до території існування виду та високою здатністю до біоакумуляції токсичних речовин. Пічкур карпатський (Gobio carpathicus) може демонструвати високу чутливість до змін у річкових екосистемах, а його спосіб життя і харчування дозволяє оцінити міграцію забруднюючих речовин в системі «донні відклади-іхтіофауна». Минь річковий (Lota lota), як хижак, показав здатність до біоакумуляції радіонуклідів, проте може бути менш ефективним при оцінці накопичення важких металів.

Результати дослідження можуть бути використані для проведення моніторингу річкових екосистем регіону з метою збереження біорізноманіття. Також використання аборигенних видів риб як індикаторів дозволить підвищити ефективність контролю за екологічним станом водних об'єктів. *Ключові слова:* аборигенні види риб, біоакумуляція, забруднення важкими металами, радіонукліди, річкові екосистеми, індикатори стану екосистем.

Possibilities of using native fish species of Transcarpathia as indicators of the state of river ecosystems. Sukharev S., Cherevko Kh.

The article explores the potential of using native fish species of Transcarpathia to monitor the state of river ecosystems, in particular, to assess the bioaccumulation of heavy metals and radionuclides. An example of a complex study of this issue is the river systems of the Transcarpathia, because different landscape zones, the possibility of covering various river currents, and specific hydrological and morphological features make it possible to assess the state of aquatic ecosystems and the effect of bioaccumulation in different conditions.

The authors propose a comprehensive analysis of fish species as water pollution indicators. The assessment relies on native fish's ability to accumulate toxins across different trophic levels and habitats, as each species reacts differently to changes in aquatic ecosystems. This approach will provide complete information on the state of river ecosystems.

The most effective species for pollution monitoring were identified: European chub (Squalius cephalus), Carpathian minnow (Gobio carpathicus) and River burbot (Lota lota). The assessment was based on different parameters: prevalence, trophic levels, and sensitivity to environmental changes. Therefore, the European chub (Squalius cephalus) was characterised by a widespread, direct binding to the territory of the species' habitat and a high capacity for bioaccumulation of toxins. The Carpathian minnow (Gobio carpathicus) may demonstrate high sensitivity to changes in river ecosystems, lifestyle makes it useful to assess the migration of toxins in the system "bottom sediment-ichthyofauna". River burbot (Lota lota), as a predator, showed the ability to bioaccumulate radionuclides but may be less effective in assessing the accumulation of heavy metals.

The results of the study can be used to monitor river ecosystems in the region to preserve biodiversity. The use of native fish species as indicators will increase the efficiency of monitoring the ecological state of water objects. *Key words:* native fish species, bioaccumulation, heavy metal pollution, radionuclides, river ecosystems, ecosystem health indicators.

Постановка проблеми. Закарпаття, як регіон України, на території якого розташовані транскордонні річки, відоме своїми унікальними екосистемами, тому одним із важливих аспектів дослідження стану навколишнього середовища є вивчення водних екосистем. У цій статті розглядається можливість використання аборигенних видів риб Закарпаття, які можуть служити індикаторами біоакумуляції забруднювачів у водоймах, особлива увага приділяється вибору ефективних індикаторних видів для оцінки біоакумуляції важких металів та радіонуклідів у гідроекосистемах.

Як приклад для розгляду цього питання можуть слугувати річкові системи Закарпаття, оскільки гірський характер місцевості, можливість охоплення нижніх, середніх та верхніх течій річок та особливості гідрологічного та морфологічного режиму мають великий вплив на формування видового складу риб [1]. Використання іхтіофауни як індикаторів стану екосистем має ряд переваг, наприклад, великі розміри об'єктів та простоту визначення видової приналежності організмів [1-3].

Закарпатська область має велике значення для вивчення біорізноманіття, зокрема іхтіофауни: водойми відомі своєю унікальністю та високою кількістю аборигенних видів. Вони включають такі гідробіоти, як Окунь звичайний (Perca fluviatilis), Карась звичайний (Carassius carassius), Підуст звичайний (Chondrostoma nasus), Головень європейський (Squalius cephalus) та інші [2-5]. На сучасному етапі досліджень аборигенні представники іхтіофауни водних екосистем можуть розглядатися як важливий показник екологічного стану гірських водойм.

Актуальність дослідження. В умовах підвищеного зростання антропогенного навантаженння на природні екосистеми, дослідження біоакумуляції забруднювачів у гідробіотах стає все більш важливим. Оцінка стану водних ресурсів Закарпаття за допомогою іхтіофауни дозволяє не лише виявляти ступінь забруднення, а й формулювати стратегії для подальшого управління водними ресурсами.

Зв'язок авторського доробку з науковими та практичними завданнями. Дослідження пов'язане з важливими екологічними проблемами, такими як забруднення важкими металами та радіонуклідами, які є загрозою для стану екосистем та здоров'я населення. Результати роботи можуть бути використані для розробки програм моніторингу та управління водними ресурсами Закарпаття, а також для вирішення задач збереження біорізноманіття та захисту уразливих видів іхтіофауни.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Незважаючи на значний обсяг досліджень у сфері біоакумуляції, питання вибору найбільш ефективних видів риб для моніторингу забруднення залишається відкритим. Необхідно визначити, які з аборигенних видів риб Закарпаття найбільш придатні для індикативних досліджень, а також дослідити вплив сезонних та територіальних факторів на накопичення важких металів та радіонуклідів у іхтіофауні.

Новизна дослідження. У дослідженні вперше здійснено комплексний аналіз аборигенних видів риб Закарпаття як індикаторів стану річкових екосистем. Унікальність роботи полягає в оцінці біоакумуляції важких металів та радіонуклідів у різних видів риб, зокрема тих, що мешкають в гірських та рівнинних частинах річкової системи Закарпаття.

Метод та загальнонаукове значення. Методологія дослідження передбачає використання порівняльного аналізу та статистичних методів для оцінки можливостей біоіндикації забруднення річок за допомогою аборигенних видів іхтіофауни. Наукове значення роботи полягає у визначенні видів, які можуть бути надійними індикаторами стану водних екосистем та допомогти в розробці заходів для покращення стану річкових екосистем. В якості матеріалів для оцінки можливості використання аборигенних видів риб як індикаторів стану річок були використані дані досліджень іхтіофауни Закарпаття [1-3].

Порівняльні характеристики та узагальнення виконувалися із застосуванням стандартних методик статистичного аналізу за допомогою програми Numbers. Рисунки досліджуваних видів риб були створені за допомогою графічного редактора Procreate.

Метою статті є аналіз характерних видів представників іхтіофауни Закарпаття та визначення видів, які найбільш придатні для оцінки стану забруднення річкових екосистем.

Викладення основного матеріалу. За тривалий час досліджень іхтіофауни Закарпатської області накопичений об'ємний фактичний матеріал щодо видової ідентифікації аборигенної іхтіофауни [1]. Узагальнення цих даних дозволяє розглядати матеріал для порівняльного аналізу можливостей різних представників іхтіофауни виступати як індикатори стану водних об'єктів за основними екологічними групами. Враховуючи, що територія області представлена широкою системою водотоків є необхідність розділити види риб за місцем їх проживання, типом харчування та іншими ознаками [4-5].

Всі річки Закарпаття належать до басейну річки Тиса, який повністю розташований в межах області, проте основна частина його стоку формується на території чотирьох держав – Румунії, України, Угорщини, Словаччини. Межі басейну охоплюють територію з складною орографією, морфологією, геологією та тектонікою, так як басейн річки Тиса перерізають три групи хребтів, що впливає на формування різних ландшафтних зон, різну швидкість течії, тощо [6]. Також річки Закарпаття, незалежно від адміністративного поділу, можуть бути умовно поділені на 3 частини: верхню (гірську), середню та нижню течії. Верхня течія бере початок з джерела річки і опускається приблизно до 450-500 м

над рівнем моря. Середня течія розпочинається безпосередньо за верхньою і поширюється до висоти 250 м над рівнем моря, нижче від цієї висоти знаходиться нижня течія (рис. 1) [6]. Для кожної течії можна прив'язати ряд типових представників аборигенної іхтіофауни, які можуть бути використані як модельні організми для оцінки стану водних екосистем (таблиця 1).

Розташування території Закарпатської області визначає найбільш об'ємним саме комплекс кісткових видів, типовими представниками якого є форель, окунь, пічкур, минь та інші [2-5].

На різноманітність аборигенних видів риб Закарпаття також вказує залежність від місця проживання в річках, наприклад, поділ риб на бентосні (такі як минь, пічкур) та пелагічні (форель, головень). Класифікація за типом харчування дозволяє розрізнити риб за їх трофічними рівнями: хижаки (форель, минь) та всеїдні (головень, пічкур) [4]. Таке різноманіття аборигенних представників іхтіофауни робить їх цінними індикаторами стану річок, оскільки кожен вид по-різному реагує на зміни у водних екосистемах, що дозволяє отримати повну картину екологічного стану водойм.

Для вибору потенційних модельних видів можна враховувати наступні критерії:

1. Поширеність: широке поширення дозволяє використовувати модельний організм як індикатора забруднення у різних типах водойм і різних умовах середовища.

2. Стійкість до забруднювачів: здатність видів до накопичення забруднюючих речовин у тканинах без значних порушень фізіологічних функцій.

3. Екологічна значущість: види, що займають різні трофічні рівні та грають важливу роль у харчових ланцюгах.

Розглянемо декілька видів аборигенних представників іхтіофауни з точки зору можливості їх використання як індикаторів стану водних екосистем [4].

Наприклад, окунь звичайний (Perca fluviatilis) (рис. 2), один з багатьох аборигенних видів риб у багатьох водоймах Закарпаття, є довгожителями серед риб, що означає, що вони можуть накопичувати токсичні речовини протягом тривалішого часу. Їхні органи, зокрема печінка та нирки, здатні активно акумулювати важкі метали та інші токсичні речовини. Окунь є хижаком, що дає змогу оцінити біоакумуляцію токсичних речовин через трофічні ланцюги.

Карась звичайний (Carassius carassius) (рис. 3) є індикаторним видом у зв'язку з тим, що може існувати в умовах з низьким рівнем кисню та високим вмістом органічних речовин, що робить їх чутливими до змін якості води та забруднення. Цей вид активно взаємодіє з дном водойми, може накопичувати токсичні метали у тканинах та органах.

Підуст звичайний (Chondrostoma nasus) (рис. 4) є ендемічним видом для річкових систем Західної Європи. Його природо-захисний статус, як важливого компонента природної біорізноманітності, робить його цінним об'єктом для вивчення стану водойм і впливу забруднення. Це вид, який вимагає високої якості води для збереження популяцій, є чутливим до змін якості води, має специфічний спосіб харчування, що завдяки своїй фільтраційній дії, сприяє активній біоакумуляції забруднючих речовин, які присутні у воді і донних відкладах.

Марена звичайна (Barbus barbus) (рис. 5) є хижаком і всеїдною рибою, що дозволяє цьому виду накопчувати важкі метали та радіонукліди з різних джерел. Також важливою характеристикою цього виду є його висока здатність до адаптації, що робить

Таблиця 1

Класифікація аборигенних видів риб за їх розповсюдженням у різних частинах річкової системи Закарпаття [4]

Частина річкової мережі Закарпаття	Аборигенні види риб
Верхня течія	• Форель (Salmo trutta) • Харіус (Thymallus thymallus) • Ялець звичайний (Leuciscus leuciscus) • Минь річковий (Lota lota) • Лосось дунайський (Hucho hucho)
Середня течія	• Головень європейський (Squalius cephalus) • Ялець звичайний (Leuciscus leuciscus) • Минь річковий (Lota lota) • Стерлядь (Acipenser ruthenus) • Підуст звичайний (Chondrostoma nasus) • Марена звичайна (Barbus barbus)
Нижня течія	• Щука (Esox lucius) • Головень європейський (Squalius cephalus) • Пічкур карпатський (Gobio carpathicus) • Окунь звичайний (Perca fluviatilis) • Карась звичайний (Carassius carassius)

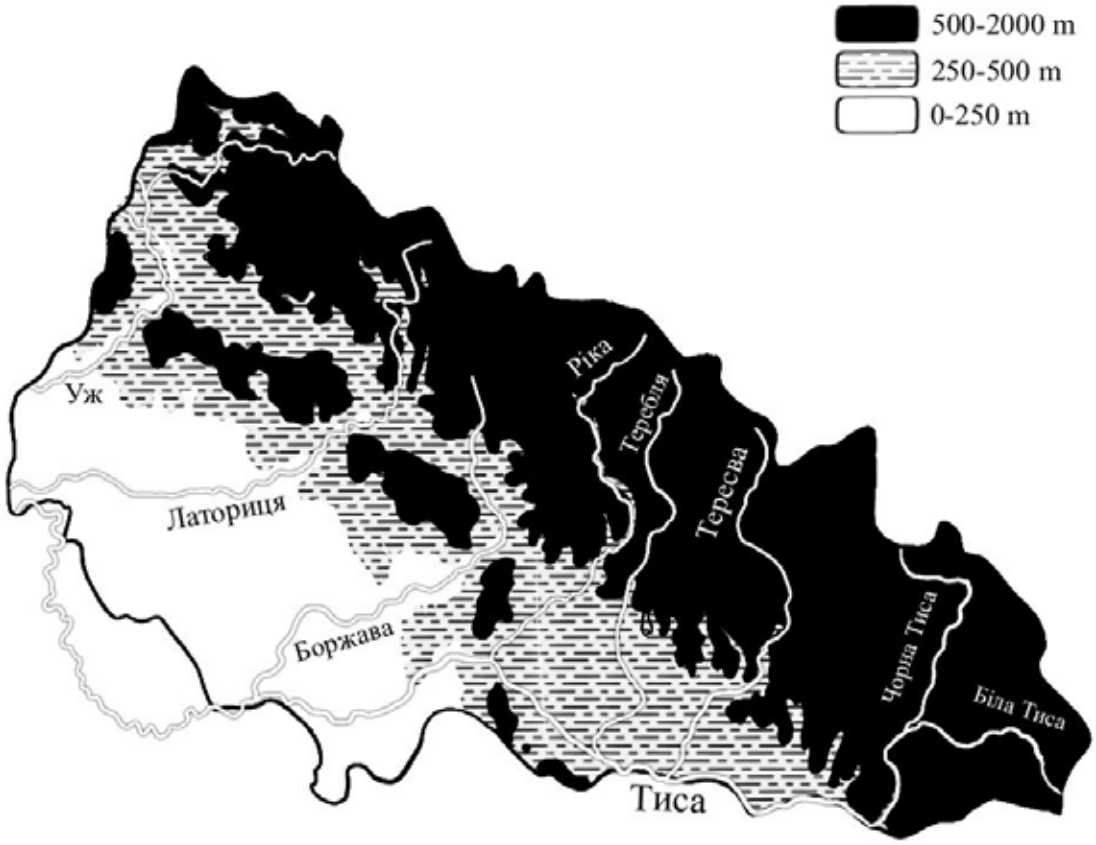


Рис. 1. Гідрологічна мережа Закарпатської області та умовний поділ на верхню, середню та нижню течії

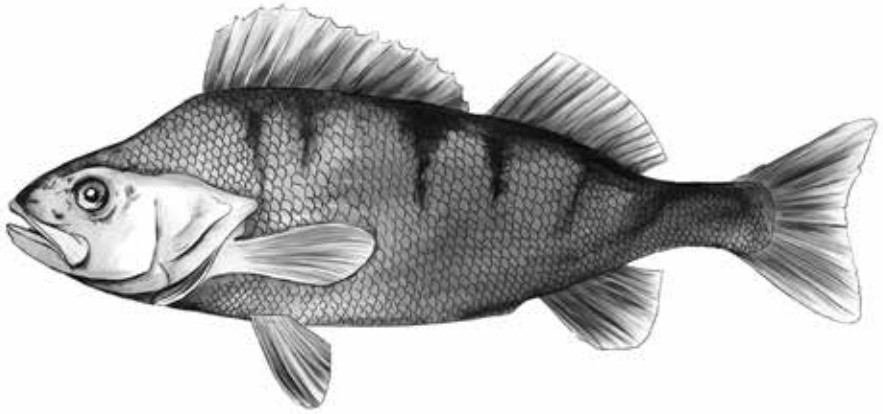


Рис. 2. Окунь звичайний (Perca fluviatilis)

її індикатором забруднення в принципово різних типах водойм.

Минь річковий (Lota lota) (рис. 6) є унікальним видом риби, що має високу адаптованість до життя у холодних водах і на дні водойм. Він також занесений до Червоної книги України, як вразливий вид. Хижак, полює на рибу та інших організмів, що живуть на дні, що дозволяє ефективно оцінити міграцію забруднюючих речовин в системі «донні відклади-іхтіофауна».

Пічкур карпатський (Gobio carpathicus) (рис. 7) є донним видом, живе у водоймах з чистою водою і добре очищеними дном. Він є чутливим до забруднення, живиться водоростями і дрібними бентичними тваринами. Виконує важливу роль у біотичних процесах самоочищення водойм, зокрема як фільтрувальний організм, що сприяє підтримці біорізноманіття та стабільності водних екосистем.

Головень європейський (Squalius cephalus) (рис. 8) є всеїдним і мешкає в різних середовищах,

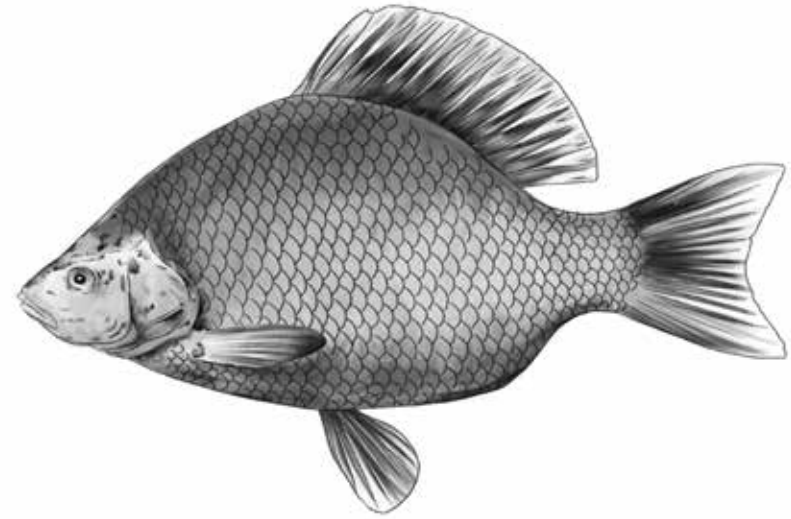


Рис. 3. Карась звичайний (Carassius carassius)

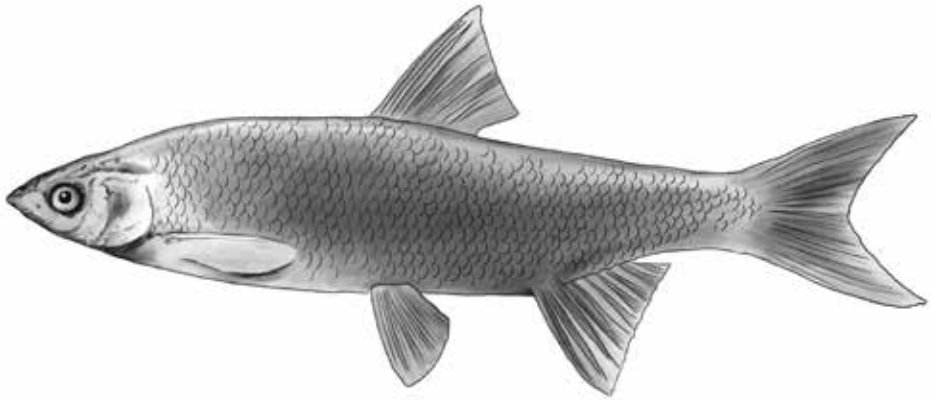


Рис. 4. Підуст звичайний (Chondrostoma nasus)

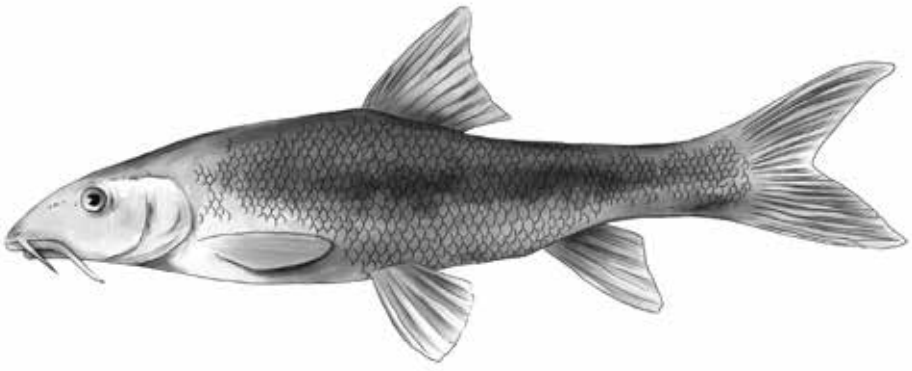


Рис. 5. Марена звичайна (Barbus barbus)

має високу здатність до адаптації та схильність накопичувати важкі метали та інші забруднюючі речовини. Окрім того, оцінка концентрації важких металів або інших токсичних речовин у тканинах цього виду може дати важливу інформацію про якість води та ступінь забруднення довкілля з прямою прив'язкою до території.

Біоакумуляція важких металів та радіонуклідів. Наукові дослідження продемонстрували підвищені концентрації важких металів та радіонуклідів у рибі з транскордонних гідроекосистем, що підкреслює потенційні екологічні ризики та ризики для здоров'я [7-8]. У дослідженні Краймер вивчалася біоакумуляція урану в транскордонних

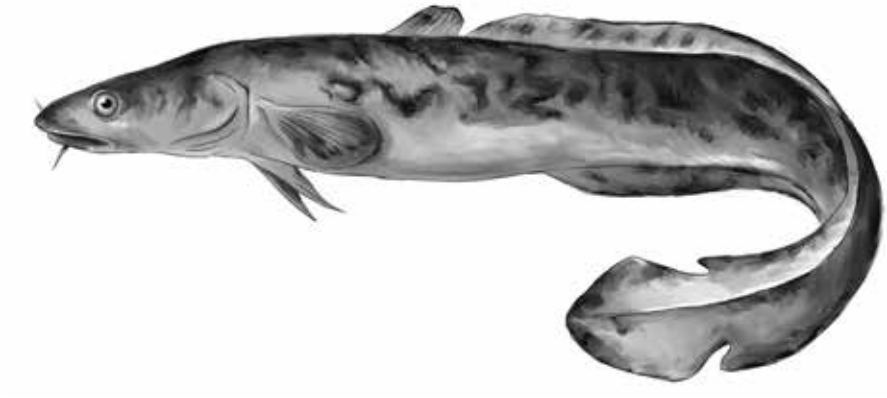


Рис. 6. Минь річковий (Lota lota)

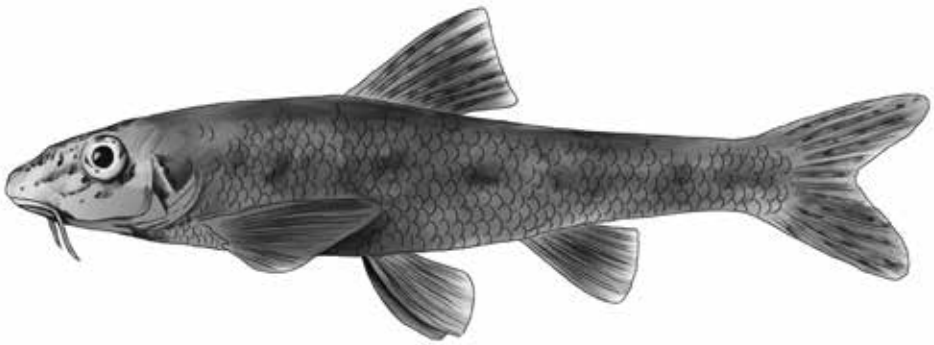


Рис. 7. Пічкур карпатський (Gobio carpathicus)

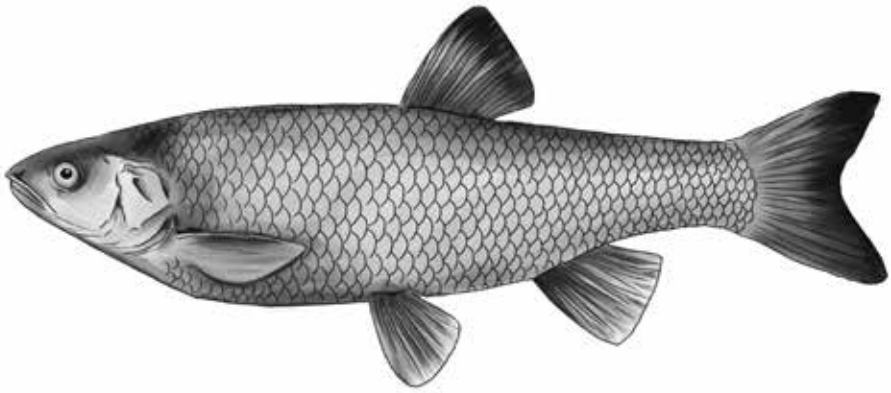


Рис. 8. Головень європейський (Squalius cephalus)

річках, які зазнали впливу гірничодобувної діяльності, що підкреслює потенційний вплив на навколишнє середовище [8]. Дослідники, які проводили експеримент в басейні річки Амазонки, виявили високі рівні ртуті в хижих рибах, що вказує на біоакумуляцію вздовж харчового ланцюга [9].

Було встановлено, що біоакумуляція багатьох металів у рибах залежить від різних фізіологічних умов. Однак було також продемонстровано, що концентрації деяких металів можуть бути застосовані як надійні індикатори впливу металів навіть в умовах низького або помірного забруднення води, а також в умовах низького або помірного забруднення риб, що мешкають у водоймах [10].

На основі досліджених даних про середні концентрації важких металів у вищезгаданих видів риб можна зробити наступні висновки щодо їх використання як індикаторних видів у моніторингу біоакумуляції важких металів:

– У дослідженнях Ванг та ін. у Пічкура (Gobio huanghensis) виявлено значні концентрації цинку. Це робить його потенційно корисним для викори-

стання у моніторингу цього металу у водоймах. Концентрації інших металів в тканинах та органах цього виду є дещо нижчими [11].

– Досить високі рівні концентрації міді та свинцю має Марена (Barbus rajanorum), а відносно помірні концентрації кадмію та цинку, які були виявлені, можуть свідчити про універсальність цього виду як індикатора [12].

– Підуст звичайний (Chondrostoma nasus) виявився одним із найефективніших видів, здатних до накопичення міді та цинку, тому може використовуватися як доволі ефективний індикатор стану річкових екосистем. Також у дослідженнях були виявлені помірні значення концентрації свинцю, що свідчить про чутливість виду до забруднення водойми [13-14].

– Здатністю до накопичення свинцю може характеризуватися Карась звичайний (Carassius carassius), проте водночас концентрації міді та цинку є помірними або низькими, що свідчить про резистентність цього виду до забруденення цими металами [15].

– Минь річковий (Lota lota) має найнижчу концентрацію всіх представлених металів, тому цей вид може бути найменш придатним для ролі індикатора біоакумуляції важких металів та стану річкових екосистем, але потенційно може використовуватися для порівняльного аналізу та оцінки стану інших видів [16-17].

– Дослідження, які проводили в басейні річки Чорна Орава та на території південної Балтики виявили, що Окунь звичайний (Perca fluviatilis) має помітні рівні концентрації кадмію, проте відносно низьку концентрацію міді і свинцю, тому його використання як індикатора стану річкових екосистем може бути менш ефективним [18-19].

– Високі концентрації цинку та свинцю містить Головень європейський (Squalius cephalus), що робить його відмінним універсальним індикатором забруднення річкових екосистем [20-23].

Аналіз даних показав, що мають найвищі концентрації важких металів та радіонуклідів у своїх тканинах наступні види: Марена (Barbus rajanorum), завдяки своїй всеїдності, накопичує забруднювачі з різних джерел, тоді як Окунь звичайний (Perca fluviatilis), як хижак, біоакумулює забруднювачі через харчовий ланцюг [12; 18-20]. Підуст звичайний (Chondrostoma nasus) також може бути ефективним індикаторам, особливо якщо розглядати його як модельний вид для оцінки забруднення донних відкладень [11]. Головень європейський (Squalius cephalus) виділяється високою здатністю до накопичення важких металів, що дозволяє ефективно використовувати цей вид для моніторингу забруднення річкових екосистем [21-23]. Також важливим є спосіб життя цього виду, який безпосередньо відображає прив'язку до території його проживання. Цей факт робить цей вид надійним індикаторам стану річкових екосистем.

На основі досліджень, середні концентрації Цезію-137 у Окунь звичайний (Perca fluviatilis) (47 Бк/кг) і Минь річковий (Lota lota) (1125 Бк/кг) значно різняться. Зважаючи на це, Окунь звичайний може мати меншу схильність до біоакумуляції радіонуклідів порівняно з Минем річковим. Є важливими подальші дослідження інших аборигенних видів риб на вміст радіонуклідів, оскільки інформація про них є обмеженою. Минь річковий досліджувався після аварії на ЧАЕС, чим також може бути пояснена активна біоакумуляція Цезію-137 у тканинах та органах риб [24-25].

Враховуючи вищезазначене та екстраполюючи ці дані по відношенню до території басейну річки Тиса, для ефективного моніторингу біоакумуляції важких металів на території Закарпатської області рекомендується зосередитися на дослідженні Пічкура карпатського (Gobio carpathicus), Марени звичайної (Barbus barbus) та Головля європейського (Squalius cephalus) як потенційних модельних організмів. Вони демонструють найвищі рівні середніх концентрацій та біоакумуляції важких металів, що може допомогти в оцінці стану річкових екосистем (Діаграми 1-2) [11-12; 21-23]. Деякі дослідження виявили середні значення концентрацій важких металів у верхніх межах допустимих норм [12], і навіть перевищення їх значень на декілька порядків [12-14; 19; 21; 23].

Також зафіксовано статистично значущі відмінності між концентрацією забруднюючих речовин в тканинах та органах, окрім того і здатність до біоакумуляції в різні сезони. Наприклад, у внутрішніх органах виявлено вищі концентрації металів, ніж у м'язах [21-22].

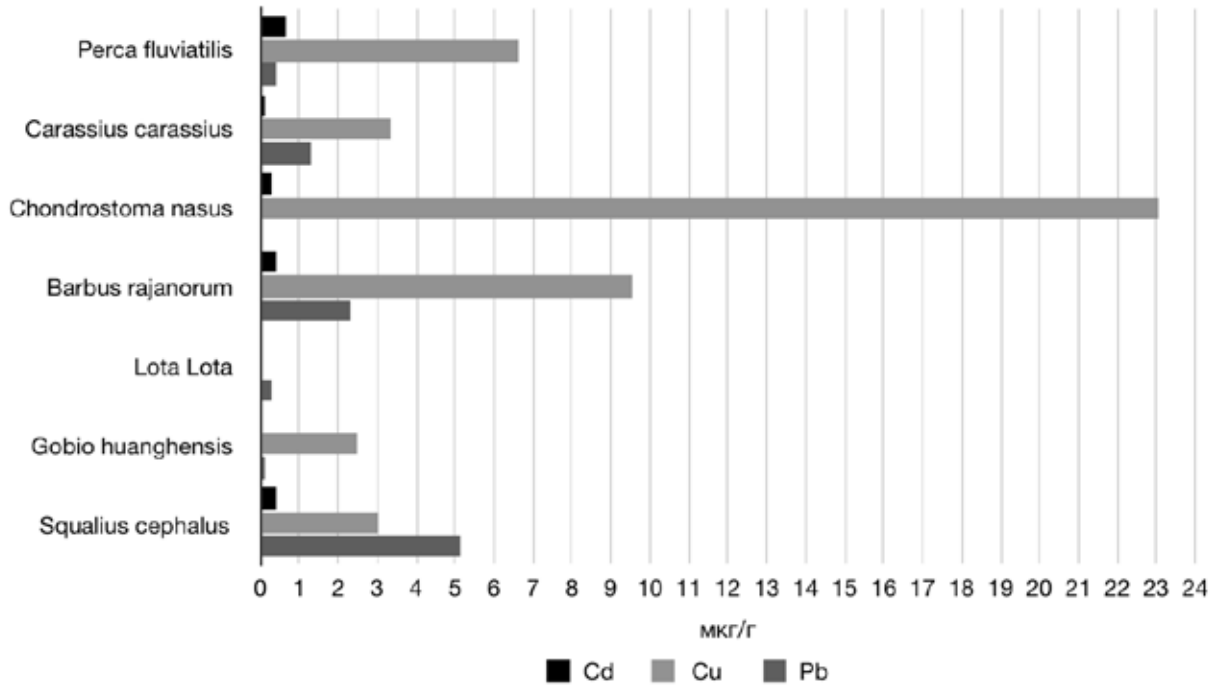
Висновки. При виборі видів, які можуть слугувати як індикатори стану довкілля, також була проведена консультація і врахована авторитетна думка колег з Пряшівського університету в Пряшеві, які займаються дослідженнями, що пов'язані з цією проблематикою.

Отже, для моніторингу забруднення річкових екосистем Закарпаття пропонується використання кількох аборигенних видів риб як біоіндикаторів:

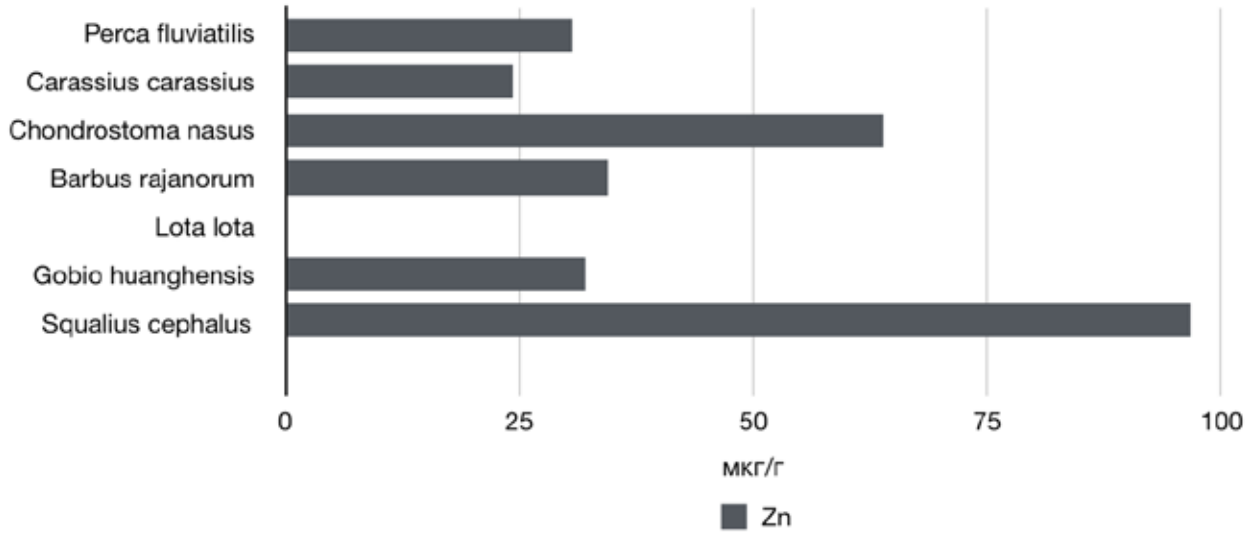
– Головень європейський (Squalius cephalus) має високу здатність до адаптації та є всеїдним, що дозволяє йому накопичувати важкі метали через різноманітні харчові ланцюги. Його використання дозволяє отримати точні дані про екологічний стан річкових екосистем, оскільки він веде осілий спосіб життя.

– Пічкур карпатський (Gobio carpathicus) – донний вид, чутливий до забруднення та змін у якості води, що робить його ефективним для оцінки стану донних відкладів.

– Минь річковий (Lota lota) – хижак, який накопичує забруднювачі (переважно радіонукліди) через харчовий ланцюг, що робить його цінним переважно для дослідження впливу радіоактивних речовин



Діаграма 1. Узагальнена діаграма концентрацій важких металів у тканинах та органах сирої риби, мкг/г [11-23]



Діаграма 2. Узагальнена діаграма концентрацій Zn у тканинах та органах сирої риби, мкг/г [11-23]

у воді, проте малоефективним при оцінці біоакумуляції важких металів.

Ці види демонструють різні екологічні ролі, трофічні рівні та способи життя, що дозволяє отримати комплексні дані про забруднення річкових екосистем.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для розробки екологічних програм з моніторингу стану річкових екосистем регіону, що дозволить вчасно виявляти забруднення і запобігати його негативним наслідкам. Використання аборигенних видів риб як індикаторів дозволить підвищити ефективність контролю за екологічним станом водних об'єктів, забезпечуючи більш точні результати при проведенні оцінки біоакумуляції важких металів та радіонуклідів представниками іхтіофауни.

Література

1. Куртяк Ф.Ф., Бондар П.П. Іхтіофауна Закарпаття: раритетні категорії та принципи охорони. Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. Біологія. 2014. Вип. 36. С. 56–58.
2. Біорізноманіття середньої течії р. Уж басейну р. Тиса: сучасний стан та антропогенні впливи / Станкевич-Волосянчук О.І., Куртяк Ф.Ф., Кіш Р.Я., Пляшечник В.І. Ужгород : РІК-У, 2023. 68 с.
3. Куртяк Ф. Ф., Талабішко Є. М., Стегун В. І., Великопольський І. Й. Іхтіофауна басейну річки Латориця в межах України. Вісник Львівського університету. Сер. біологічна. 2009. Вип. 20. С. 85–94
4. Риби Закарпаття. Закарпатський рибоохоронний патруль : веб-сайт. URL: https://zk.darg.gov.ua/_ribi_zakarpattja_0_46_menu_0_1.html (дата звернення: 11.11.2024).
5. Променепері риби Actinopterygii. Червона книга України : веб-сайт. URL: https://redbook-ua.org/category/actinopterygii/#google_vignette (дата звернення: 11.11.2024).
6. Національний план управління басейном р. Тиса – Україна. Регіональний інформаційний центр «Карпати» : веб-сайт. URL: https://carpaty.net/?p=13354 (дата звернення: 19.11.2024).
7. Chen J., Rennie M. D., Sadi B., Zhang W., St-Amant N. A study on the levels of radioactivity in fish samples from the experimental lakes area in Ontario, Canada. Journal of environmental radioactivity. 2016. Vol. 153. P. 222–230.
8. Kraemer L. D., Evans D. Uranium bioaccumulation in a freshwater ecosystem: impact of feeding ecology. Aquatic toxicology. 2012. Vol. 124. P. 163–170.
9. Guimarães K. L. A., do Nascimento Andrade S. J., Liscano-Carreño A. A., de Oliveira R. B., Rodrigues L. R. R. Systematic Review and Spatiotemporal Assessment of Mercury Concentration in Fish from the Tapajós River Basin: Implications for Environmental and Human Health. ACS Environmental Au. 2024. URL: https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsenvironau.4c00053 (Last accessed: 19.11.2024)
10. Dragun Z., Tepić N., Krasnići N., Teskeredžić E. Accumulation of metals relevant for agricultural contamination in gills of European chub (Squalius cephalus). Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23, № 16. P. 16802–16815.
11. Wang Y., Chen P., Cui R., Si W., Zhang Y., Ji W. Heavy metal concentrations in water, sediment, and tissues of two fish species (Triplohysa pappenheimi, Gobio hwanghensis) from the Lanzhou section of the Yellow River, China. Environmental Monitoring and Assessment. 2010. Vol. 165. P. 97–102.
12. Alhas E., Oymak S.A., Karadede Akin H. Heavy metal concentrations in two barb, Barbus xanthopterus and Barbus rajanorum mystaceus from Atatürk Dam Lake, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment. 2009. Vol. 148. P. 11–18.
13. Zaharieva P., Kirin D. Content of copper, cadmium and arsenic in Chondrostoma nasus (Linnaeus, 1758) from the Danube River. Scientific Papers. Series D. Animal Science. 2020. Vol. 63, № 1. P. 481–488.
14. Koca S., Koca Y.B., Yildiz Ş., Gürcü B. Genotoxic and Histopathological Effects of Water Pollution on Two Fish Species, Barbus capito pectoralis and Chondrostoma nasus in the Büyük Menderes River, Turkey. Biological Trace Element Research. 2008. Vol. 122. P. 276–291.
15. Fidan A.F., Ciğerci İ. H., Konuk M., Küçükkurt İ., Aslan R., Dündar Y. Determination of some heavy metal levels and oxidative status in Carassius carassius L., 1758 from Eber Lake. Environmental Monitoring and Assessment. 2008. Vol. 147. P. 35–41.
16. Wong A. Heavy metals in burbot (Lota lota L.) caught in lakes of Northeastern Saskatchewan, Canada. Journal of Applied Ichthyology. 2011. Vol. 27. P. 65–68.
17. Subotić S., Spasić S., Višnjić-Jeftić Ž., Hegediš A., Krpo-Ćetković J., Mićković B., Lenhardt M. Heavy metal and trace element bioaccumulation in target tissues of four edible fish species from the Danube River (Serbia). Ecotoxicology and Environmental Safety. 2013. Vol. 98. P. 196–202.
18. Szefer P., Domagała-Wieloszewska M., Warzocha J., Garbacik-Wesołowska A., Ciesielski T. Distribution and relationships of mercury, lead, cadmium, copper and zinc in perch (Perca fluviatilis) from the Pomeranian Bay and Szczecin Lagoon, southern Baltic. Food Chemistry. 2003. Vol. 81, №. 1. P. 73–83.
19. Popek W., Klęczar K., Nowak M., Epler P. Heavy metals concentration in the tissues of perch (Perca fluviatilis) and bleak (Alburnus alburnus) from Czarna Orawa River, Poland. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation. 2009. Vol. 2, №. 2. P. 205–208.
20. Duman F., Kar M. Temporal variation of metals in water, sediment and tissues of the European chub (Squalius cephalus). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2012. Vol. 89. P. 428–433.
21. Öğlü B., Yorulmaz B., Genc T.O., Yilmaz F. The assessment of heavy metal content by using bioaccumulation indices in European chub, Squalius cephalus (Linnaeus, 1758). Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2015. Vol. 10, №. 2. P. 85–94.
22. Şaşi H., Yozukmaz A., Yabanli M. Heavy metal contamination in the muscle of Aegean chub (Squalius fellowesii) and potential risk assessment. Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 25. P. 6928–6936.
23. Andreji J., Dvořák P., Fik M. Distribution of heavy metals (Ni, Co, Pb, Cd, Hg) in tissues of European chub (Squalius cephalus L.) from the middle course of the Nitra River, Slovakia. Advanced Research in Life Sciences. 2018. Vol. 2, №. 1. P. 16–21.
24. Saxén R., Koskelainen U. Distribution of 137Cs and 90Sr in various tissues and organs of freshwater fish in Finnish lakes. Boreal Environment Research. 2002. Vol. 7. P. 105–112.
25. Rask M., Saxén R., Ruuhijärvi J., Arvola L., Järvinen M., Koskelainen U., Outola I., Vuorinen P. J. Short- and long-term patterns of 137Cs in fish and other aquatic organisms of small forest lakes in southern Finland since the Chornobyl accident. Journal of Environmental Radioactivity. 2012. Vol. 103, №. 1. P. 41–47.

УДК 594.141:574.5:556.18(282.247.232)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.8

МОЛЮСКИ РОДИНИ SPHAERIIDAE (MOLLUSCA: BIVALVIA) СУББАСЕЙНУ ПРИП'ЯТІ: ЕКОСИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

Шевчук Л.М.[1], **Билина Л.В.**[2], **Васільєва Л.А.**[1], **Герасимчук О.Л.**[1]
[1]Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
[2]Бердичівський медичний фаховий коледж
вул. Шевченко,14, 13300, м. Бердичів
knz_shlm@ztu.edu.ua, knz_vla@ztu.edu.ua, kgt_gol@ztu.edu.ua, bylyna.lili@gmail.com

Досліджено особливості просторового розподілу двостулкових молюсків родини Sphaeriidae у контексті їх ролі як біоіндикаторів стану водних екосистем та важливого компонента природних систем біологічної фільтрації у суббасейні Прип'яті. На основі польових досліджень 2019-2024 років та аналізу літературних даних встановлено екологічні характеристики 18 видів родини, які є важливими фільтраторами у водотоках різного рангу. Виявлено чітку екологічну диференціацію видів за типами водойм, що важливо для розробки природоохоронних заходів: у великій річці Прип'ять зафіксовано 9 видів з усіх екологічних груп, у малих річках – 8 видів з домінуванням реофілів та еврибіонтів, у середніх річках – 10 видів з переважанням еврибіонтів. Встановлено, що антропогенний вплив (наявність 179 поперечних споруд на річках, 20 значущих точкових джерел забруднення, істотна зміна 75% річкових русел) призводить до трансформації типових оселищ та елімінації окремих видів. Математичний аналіз асоціації видів (коефіцієнти Жаккара, Серенсена, Охаї, Браун-Бланке) показав низький рівень екологічної спорідненості навіть між видами, що часто співіснують, підкреслюючи важливість збереження мозаїчності мікробіотопів при управлінні водними екосистемами. Отримані результати важливі для вдосконалення системи басейнового управління водними ресурсами, оцінки екологічного стану водойм, розширення природоохоронної мережі регіону та розробки науково обґрунтованих заходів з відновлення водних екосистем відповідно до вимог Водної рамкової директиви ЄС. Актуальність дослідження підсилюється тим, що всі виявлені види мають охоронний статус у європейських країнах, тоді як стратегія їх охорони в Україні не розроблена. *Ключові слова:* двостулкові молюски, Sphaeriidae, басейнове управління, суббасейн Прип'яті, екосистемний підхід, види-фільтратори, просторовий розподіл, відновлення екосистем.

Molluscs of the family Sphaeriidae (mollusca: bivalvia) of the Pripyat sub-basin: an ecosystem approach to water resources management. Shevchuk L., Bylyna L., Vasilieva L., Herasymchuk O.

The study investigates the spatial distribution patterns of Sphaeriidae bivalve molluscs as bioindicators of aquatic ecosystem conditions and crucial components of natural biological filtration systems in the Prypiat sub-basin. Based on field research conducted during 2019-2024 and literature analysis, ecological characteristics were established for 18 family species that serve as important filtrators in watercourses of various ranks. Clear ecological differentiation of species by water body types was revealed, which is significant for conservation measure development: in the large Prypiat River, 9 species from all ecological groups were recorded; in small rivers, 8 species with rheophiles and eurybionts dominating; in medium rivers, 10 species with eurybionts prevailing. It was established that anthropogenic impact (presence of 179 transverse structures on rivers, 20 significant point pollution sources, substantial modification of 75% of river channels) leads to typical habitat transformation and elimination of certain species. Mathematical analysis of species associations (Jaccard, Sørensen, Ochiai, and Braun-Blanquet coefficients) showed low levels of ecological affinity even between frequently coexisting species, emphasizing the importance of maintaining microhabitat mosaic patterns in aquatic ecosystem management. The obtained results are important for improving the basin-based water resource management system, assessing the ecological status of water bodies, expanding the region's conservation network, and developing scientifically grounded measures for aquatic ecosystem restoration in accordance with EU Water Framework Directive requirements. The study's relevance is enhanced by the fact that all identified species have protected status in European countries, while their conservation strategy in Ukraine remains undeveloped. *Key words:* bivalve molluscs, Sphaeriidae, basin management, Prypiat sub-basin, ecosystem approach, filter-feeding species, spatial distribution, ecosystem restoration.

Постановка проблеми. Молюски родини Sphaeriidae (Mollusca, Bivalvia) (рис. 1), не зважаючи на їх майже космополітне поширення, є однією з найменш вивчених груп гідробіонтів у Європі, у тому числі в Україні. Однією з причин такої ситуації в Україні є не численні знахідки цих молюсків через низькі частоту трапляння та щільність населення (рис. 2).

Недостатність інформації про екологічні вимоги цих тварин ускладнюють розуміння проблеми зникнення їх з водойм. У результаті проведених нами досліджень у період 2019-2024 років [1, 2, 3] встановлено існування у суббасейні Прип'яті 18 видів родини Sphaeriidae: *Musculium lacustre* (Müller, 1774)*, Sphaerium corneum* (Linnaeus, 1758), *S. rivicola* (Lamarck, 1818), *S. nucleus* (Studer, 1820), *S. solidum* (Normand, 1844), *Pisidium amnicum* (Muller, 1774), *P. supinum* Schmidt, 1851, *P. pseudosphaerium* Falve, 1927, *P. milium* Held, 1836, *P. subtruncatum* Malm, 1855, *P. tenuilineatum* Stelfox, 1918*, P. obtusale* (Lamarck,

Рис. 1. Молюски родини Sphaeriidae (власне фото)

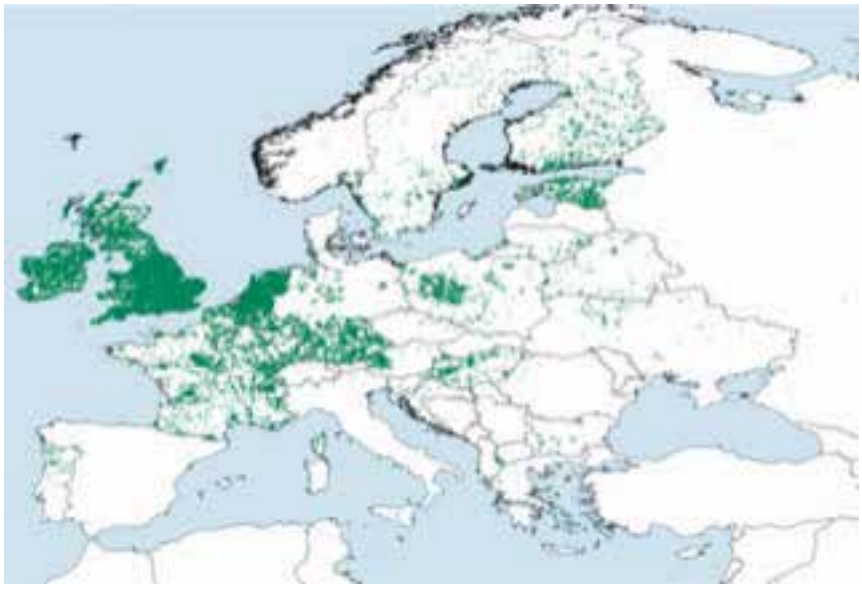


Рис. 2. Місця виявлення молюсків родини Sphaeriidae у Європі (у тому числі в Україні) за базою даних MolluscaBase [4]

1818), *P. nitidum* Jenyns, 1832, *P. casertanum* (Poli, 1791), *P. henslowanum* (Sheppard, 1823), *P. personatum* Malm, 1855, *P. moitessierianum* Paladilhe, 1866, *P. globulare* Clessin, 1873.

Аналіз частоти трапляння цих тварин у згаданому суббасейні показав [1, 2, 3], що лише три (*S. solidum, S. nucleus, S. rivicola*) з 18 виявлених у цьому регіоні видів мають частоту трапляння близько 15%, чотирнадцять з цих видів мають частоту трапляння до 6% та один вид – 10%. При цьому щільність населення цих тварин рідко досягає 10 екз./м^2, у переважній більшості це 1-3 екземпляри, максимальна величина цього показника становила – 29 екз./м^2. Максимальна відома у минулому столітті для видів родини кількість особин на одному квадратному метрі становила вісім тисяч [5]. Усе це дозволяє констатувати необхідність врахування екологічних особливостей молюсків родини Sphaeriidae під час планування заходів з відновлення та ревіталізації річок в суббасейні Прип'яті та Україні загалом відповідно до вимог імплементації Водної рамкової директиви ЄС та Стратегії сталого розвитку.

Про необхідність розробки охоронної стратегії цих видів в Україні іще понад 20 років тому наго-

лошував Олексій Корнюшин. При цьому Полісся, що характеризується найвищим видовим різноманіттям прісноводних молюсків, вчений розглядав як найважливіший регіон для їх збереження. Проблема збереження двостулкових молюсків гостро стоїть у Європі [6, 7].

Актуальність дослідження. Управління біорізноманіттям для підтримки стійкості водних екосистем базується на комплексному підході, який враховує як видове різноманіття, так і функціональні зв'язки між компонентами цієї екосистеми. Ключовим аспектом є збереження та підтримка популяцій видів, які відіграють особливу роль у функціонуванні екосистем. Це включає види-едифікатори, які формують середовище існування для інших організмів, ключові види, що регулюють трофічні зв'язки, та види-інженери екосистем, які модифікують фізичне середовище. Таким чином, практичне застосування знань про біорізноманіття для управління та відновлення геосистем є складним, але необхідним завданням для забезпечення сталого розвитку та збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь. Успіх цієї діяльності залежить від комплексного підходу та базується на глибокому розумінні механізмів функціонування природних систем.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Євроінтеграційні процеси України у сфері управління водними ресурсами та збереження біорізноманіття регламентуються двома основоположними документами: Водною рамковою директивою [8], що визначає принципи управління водними об'єктами, та Стратегією сталого розвитку, яка встановлює у тому числі і засади збереження біотичного різноманіття. Імплементація цих стратегічних документів вимагає комплексного аналізу факторів елімінації гідробіонтів для подальшої розробки науково обґрунтованих заходів з відновлення водних об'єктів. Міжнародний досвід демонструє успішну реалізацію проєктів відновлення річкових екосистем, методологія яких може бути адаптована до потреб басейну Прип'яті. Збереження біорізноманіття водних геосистем є критично важливим для підтримання їх екологічної рівноваги та здатності до самовідновлення, що підтверджується численними науковими дослідженнями. Отримані результати створюють підґрунтя для розробки спільних з Європейським Союзом програм та проєктів, спрямованих на мінімізацію втрат біорізноманіття. Окрім того, пріоритетність наукових досліджень щодо відновлення природних оселищ сприятиме ефективній імплементації положень Бернської конвенції та розбудові Смарагдової мережі в Україні [9, 10]. Результати дослідження мають вагоме науково-практичне значення для розробки та впровадження комплексних заходів з відновлення та збереження річкових екосистем суббасейну Прип'яті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Моніторингу популяцій двостулкових молюсків у суббасейні Прип'яті у контексті оцінки стану екосистем присвячено ряд наших публікацій [11, 12, 13]. Окрім того, у останні роки все частіше у дослідженнях [14] підкреслюється особлива вразливість прісноводних екосистем до антропогенного впливу, при цьому наголошується, що двостулкові молюски відіграють роль ключових видів-фільтраторів. Згідно з дослідженнями [15], ці організми забезпечують природне очищення води та регуляцію трофічних процесів, фільтруючи значні об'єми води та впливаючи на якість водного середовища. Особливо важлива роль у цих процесах належить представникам родин Unionidae та Sphaeriidae [2].

Було запропоновано [16] концепцію критичних порогів біорізноманіття, яка базується на розумінні мінімальних рівнів видового та функціонального різноманіття, необхідних для підтримання екологічної стійкості водойм. Описано [17] каскадні ефекти, що виникають при переході через ці пороги, зокрема, втрата популяцій двостулкових молюсків може призводити до значного погіршення якості води та деградації екосистеми в цілому. Також наголошено [18, 19] на необхідності інтеграції функціонального підходу в управління водними ресурсами, включаючи моніторинг популяційних параметрів та впровадження відновлювальних заходів. Економічні дослідження [20] демонструють, що збереження функціонального різноманіття може бути більш рентабельним порівняно з технічними рішеннями для очищення води.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на важливу екосистемну роль двостулкових молюсків родини Sphaeriidae як природних фільтраторів водойм, донині залишалися недостатньо вивченими їх екологічні характеристики та, виходячи з цього, особливості поширення у суббасейні Прип'яті. В умовах значного антропогенного навантаження на водні екосистеми регіону (наявність 179 поперечних споруд на річках, 20 значущих точкових джерел забруднення, істотна зміна 75% річкових русел) [21] та зникнення деяких видів молюсків-фільтраторів родини Unionidae [12] особливої актуальності набуває дослідження сучасного стану популяцій Sphaeriidae. Також не було проведено порівняльного аналізу частоти трапляння видів у водотоках різного рангу, що важливо для розуміння закономірностей їх просторового розподілу та розробки ефективних заходів охорони.

Новизна статті. Наведено детальну екологічну характеристику 18 виявлених у суббасейні Прип'яті видів родини Sphaeriidae, складену на основі аналізу власних зборів матеріалу, екологічних особливостей цих видів за найсучаснішими результатами їх знахідок у таких європейських країнах як Польща [22, 23], Франція [24], Британія та Ірландія [25] та аналізу наведеної у літературі інформації про умови

існування цих видів в Україні більше 30-40 років тому [5, 11]. Здійснено аналіз поширення цих видів у суббасейні Прип'яті з урахуванням їх екологічних преференцій.

Методологічне та загальнонаукове значення. Результати дослідження мають комплексне теоретичне та прикладне значення в контексті збереження та відновлення прісноводних екосистем суббасейну Прип'яті.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості їх застосування для:

– розробки критеріїв оцінки екологічної стійкості прісноводних екосистем;

– обґрунтування створення нових природоохоронних територій та розширення існуючих об'єктів ПЗФ у суббасейні Прип'яті;

– вдосконалення методологічних підходів до впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами.

Отримані дані можуть бути використані природоохоронними установами, органами державного управління водними ресурсами та екологічними організаціями для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо збереження біорізноманіття водних екосистем регіону.

Виклад основного матеріалу. Комплексний аналіз екологічних характеристик 18 ідентифікованих видів родини Sphaeriidae у суббасейні Прип'яті здійснено на основі власних польових досліджень та аналізу літературних даних щодо екологічних преференцій цих видів у різних частинах їх ареалу: Великій Британії та Ірландії [25], Франції [24], Польщі [22, 23], а також результатів попередніх досліджень цієї групи молюсків в Україні понад 30-40 років тому [5, 11]. Синтез отриманих даних дозволив встановити екологічні особливості досліджуваних видів, при цьому виявлено певну географічну мінливість їх екологічних преференцій у різних частинах ареалу. Встановлено, що умови існування окремих видів демонструють регіональну специфіку, що може бути пов'язано з локальними гідрологічними, гідрохімічними та кліматичними особливостями водойм різних географічних регіонів та екологічною пластичністю видів. При цьому, аналіз отриманої інформації дозволяє класифікувати досліджені види за їх головними екологічними характеристиками (рис. 3). Отримана класифікація цілком підтверджена результатами власних досліджень.

Загалом, у 21% локалітетів було виявлено по одному виду, а у 14% – по два у різному поєднанні між собою. Аналіз трапляння видів у локалітетах з високим видовим різноманіттям (від 3 до 8 видів) виявив специфічні закономірності співіснування представників різних екологічних груп. Таких лока-

Рис. 3. Класифікація видів родини Shpaeriidae за основними екологічними характеристиками

літетів відмічено лише 9%. У 56% пунктів дослідження представників родини не виявлено взагалі. Найбільше екологічне різноманіття зареєстровано в річці Прип'ять поблизу м. Ратне (8 видів), де ідентифіковано представників усіх екологічних груп: реофілів (*S. solidum, P. amnicum*), лімнофілів (*P. obtusale*), еврибіонтів (*P. casertanum, P. subtruncatum, P. milium*) та тельматобіонтів (*S. nucleus*).

У річці Горинь біля с. Степань (6 видів) домінують еврибіонтні види (*P. casertanum, P. subtruncatum, P. milium, P. globulare*), що доповнюються тельматобіонтом *P. perconatum*. Подібна структура угруповання з перевагою еврибіонтів може свідчити про наявність різноманітних мікробіотопів.Специфічне поєднання екологічних груп спостерігається в річці Кизівка поблизу с. Нова Вижва (5 видів), де реофіли (*S. solidum, P. amnicum*) співіснують з еврибіонтами (*P. subtruncatum, P. globulare*) та тельматобіонтом *S. nucleus*. У річці Уж біля с. Поліське (4 види) виявлено переважання реофільних видів (*S. rivicola* – оксифіл, *P. henslowanum, P. moitessierianum*) з присутністю тельматобіонта *S. nucleus*.

Таким чином, варто зауважити, що виявлені закономірності свідчать про:

1) формування складних біоценотичних комплексів з представників різних екологічних груп;

2) регулярне співіснування реофільних видів з тельматобіонтами, що вказує на наявність різноманітних мікробіотопів у межах одного локалітету;

3) значну представленість еврибіонтних видів у структурі угруповань, що може бути пояснено їх широкою екологічною валентністю;

4) максимальне екологічне різноманіття у річці Прип'ять, що підтверджує її роль як важливого рефугіуму для збереження видового багатства родини Sphaeriidae.

Графічно отримані результати виглядають наступним чином (рис. 4). Виявлення у всіх випадках тельматобіонтів можна пояснити характерним болотистим стоком більшості водойм цього регіону.

Аналіз виявлених закономірностей співзустрічальності видів родини Sphaeriidae з урахуванням їх екологічних особливостей дозволив встановити цікаві біоценотичні взаємозв'язки. Найчастіше разом траплялися *S. nucleus* та *S. solidum* (4 локації), що є досить несподіваним, враховуючи їх різні екологічні преференції. *S. nucleus,* як тельматобіонт, є характерним для болотних водойм, тоді як *S. solidum* – типовий реофіл та оксифіл, що надає перевагу великим річкам з сильною течією. Їх спільне існування може бути пояснене наявністю різноманітних мікробіотопів у річках регіону, зокрема заболочених прибережних ділянок. Подібна ситуація спостерігається у випадку співіснування *S. nucleus* та *P. amnicum* (3 локації). *P. amnicum*, будучи реофілом, характерний для руслової частини водойм, що також підтверджує мозаїчність біотопів у досліджених водоймах. Спільне існування *S. rivicola* та *S. nucleus* (3 локації) також демонструє цікавий випадок співіснування видів з різними екологічними вимогами. *S. rivicola*, як реофіл, вибагливий до вмісту кисню, проте обидва види здатні існувати в прибережних ділянках водойм, хоча і мають різні вимоги до умов середовища. Більш екологічно передбачуваним є поєднання *S. rivicola* та *S. solidum* (3 локації), оскільки обидва види є реофілами, вибагливими до вмісту кисню та характерні для річок з течією. Загалом, більш висока частота трапляння видів роду *Sphaerium* може бути пояснена їх різними екологічними особливостями. *S. rivicola* (18 локацій), як реофіл, здатний витримувати бета-мезосапробне забруднення. Значна представленість *S. nucleus* (17 локацій) відповідає болотному характеру водойм регіону. *S. solidum* (16 локацій), хоча і є реофілом, але може витримувати певний рівень забруднення води.

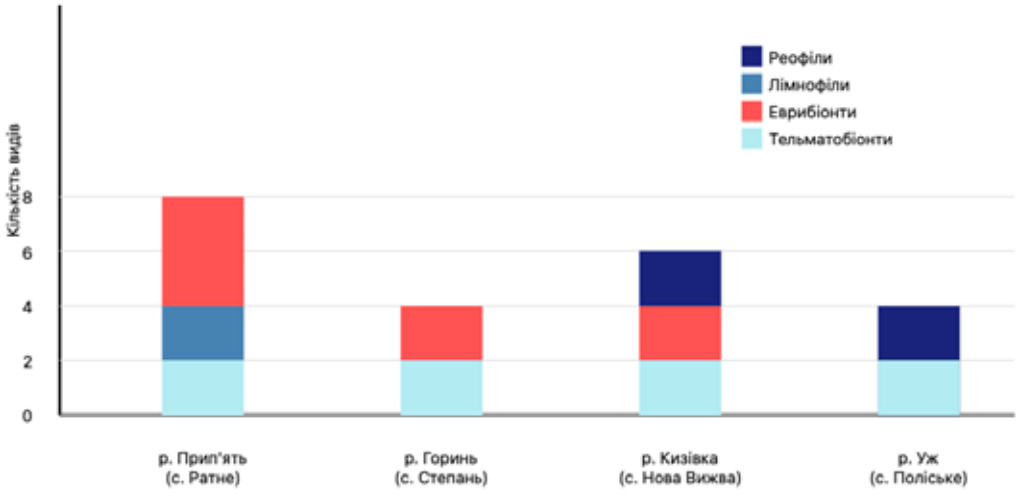


Рис. 4. Виявлення різних екологічних груп видів родини Shpaeriidae у різних локалітетах

Таким чином, виявлені закономірності співзустрічальності відображають екологічну специфіку водойм регіону, для яких характерне поєднання проточних ділянок з заболоченими, наявність різноманітних мікробіотопів у межах одного локалітету та екологічну пластичність деяких видів. Це підкреслює важливість збереження природного гідрологічного режиму для підтримання видового різноманіття цієї групи молюсків.

Аналіз частоти трапляння окремих видів показав, що найпоширенішими є представники роду *Sphaerium*: *S. rivicola* (18 локацій), *S. nucleus* (17 локацій) та *S. solidum* (16 локацій). Дещо менша частота трапляння характерна для *P. amnicum* (12 локацій), тоді як *P. globulare* та *P. casertanum* виявлені у 8 локаціях кожен. Отримані результати свідчать про домінування представників роду *Sphaerium* як за частотою трапляння окремих видів, так і за їх тенденцією до спільного існування в досліджених водоймах. Це може бути пов'язано з подібними екологічними преференціями цих видів та їх адаптивними можливостями до умов середовища в регіоні дослідження. Потрібно відмітити, що види *S. rivicola*, *S. nucleus* та *S. solidum* зазначаються як такі, що перебувають під загрозою зникнення у багатьох європейських країнах [13, 14, 23, 24, 25]. Виявлення саме цих видів у суббасейні Прип'яті підкреслює важливе значення цієї території для збереження біорізноманіття.

Окрім того, для розуміння закономірностей співіснування видів родини Sphaeriidae у водоймах суббасейну Прип'яті було проведено аналіз з використанням різних коефіцієнтів асоціації. Такий підхід є доцільним, оскільки дозволяє кількісно оцінити ступінь спільного існування видів та виявити потенційні екологічні взаємозв'язки між ними. Для аналізу були обрані найбільш поширені види та пари видів, що найчастіше зустрічаються разом. Зокрема, особлива увага була приділена парі *S. nucleus* (17 локацій) та *S. solidum* (16 локацій), які виявлені разом у 4 локаціях, а також парі *S. nucleus* (17 локацій) та *P. amnicum* (12 локацій), що співіснують у 3 локаціях.

Для кількісної оцінки були використані різні коефіцієнти, кожен з яких має свої особливості та переваги:

– Коефіцієнт Жаккара є класичним показником подібності, що враховує співвідношення спільних знахідок до загальної кількості локацій;

– Коефіцієнт Серенсена надає більшої ваги спільним знахідкам;

– Коефіцієнт Охаї враховує геометричне середнє частот трапляння видів;

– Коефіцієнт Браун-Бланке оцінює відносну частку спільних знахідок.

Розрахунок коефіцієнтів асоціації для пари *S. nucleus* та *S. solidum*, які були виявлені разом у 4 з 29 локацій (*S. nucleus* знайдений у 17, а *S. solidum* – у 16 локаціях), показав наступні значення: коефіцієнт Жаккара – 0,14, коефіцієнт Серенсена – 0,24, коефіцієнт Охаї – 0,24 та коефіцієнт Браун-Бланке – 0,24, тоді як для пари *S. nucleus* та *P. amnicum*, що співіснують у 3 локаціях (при загальній кількості знахідок 17 та 12 відповідно), отримані дещо нижчі значення: коефіцієнт Жаккара – 0,12, коефіцієнт Серенсена – 0,21, коефіцієнт Охаї – 0,21 та коефіцієнт Браун-Бланке – 0,18, що в обох випадках свідчить про відносно низький рівень асоціації між видами, незважаючи на їх регулярне співіснування в межах досліджених водойм.

Використання різних коефіцієнтів дозволяє отримати більш повну картину взаємозв'язків між видами. Отримані значення коефіцієнтів (менше 0.3) свідчать про відносно низький рівень асоціації між видами, що є досить несподіваним, враховуючи частоту їх спільного трапляння. Це може вказувати на те, що, незважаючи на регулярне співіснування, види мають різні екологічні преференції та, ймовірно, займають різні мікробіотопи в межах однієї водойми.

Такий аналіз є важливим для розуміння просторової організації угруповань молюсків та може бути використаний для прогнозування їх реакції на зміни умов середовища, що особливо актуально в контексті впровадження заходів з охорони та відновлення водних екосистем.

Аналіз частоти трапляння видів родини Sphaeriidae у водоймах різного типу суббасейну Прип'яті виявив специфічні особливості їх розподілу. У великій рівнинній річці Прип'ять зафіксовано дев'ять видів: *S. nucleus, S. solidum, P. amnicum, P. milium, P. subtruncatum, P. tenuilineatum, P. obtusale, P. casertanum* та *P. henslowanum*, з яких найчастіше трапляються *S. nucleus, S. solidum, P. amnicum* та *P. casertanum*. У малих річках (Кизівка, Корчик, Вижівка, Жерев) виявлено вісім видів: *S. nucleus, S. solidum, P. amnicum, P. subtruncatum, P. globulare, S. rivicola, S. corneum* та *P. henslowanum,* серед яких домінують *S. nucleus, P. amnicum, P. globulare* та *P. subtruncatum*. Середні річки (Горинь, Уж, Хомора, Стир) характеризуються наявністю десяти видів: *P. milium, P. subtruncatum, P. tenuilineatum, P. casertanum, P. pseudosphaerium, P. obtusale, P. globulare, S. rivicola, P. moitessierianum* та *P. supinum*, з найвищою частотою трапляння *P. casertanum, P. globulare, S. rivicola* та *P. subtruncatum*. Такий розподіл видів може бути пов'язаний з особливостями гідрологічного режиму водойм різного типу та наявністю специфічних мікробіотопів, що забезпечують існування видів з різними екологічними преференціями.

Головні висновки. З використанням складених на основі літературних даних та власних результатів дослідження екологічних характеристик видів родини Sphariidae проаналізовано особливості їх поширення у водоймах суббасейну Прип'яті та встановлено деякі закономірності такого поширення:

1. Аналіз закономірностей співіснування видів виявив формування складних біоценотичних комп-

лексів, які включають представників різних екологічних груп. Особливо цікавим є регулярне співіснування реофілів з тельматобіонтами, що вказує на важливість збереження природної мозаїчності біотопів у межах однієї водойми. Значна представленість еврибіонтних видів свідчить про наявність широкого спектру умов існування та їх динамічність. Найвище екологічне різноманіття, зафіксоване у річці Прип'ять, підтверджує її роль як ключової водойми для збереження видового багатства цієї групи молюсків у регіоні.

2. Кількісні показники асоціації видів (коефіцієнти Жаккара, Серенсена, Охаї, Браун-Бланке) демонструють низький рівень екологічної спорідненості навіть між видами, що часто трапляються разом, що свідчить про важливість мікробіотопічної диференціації.

3. Річка Прип'ять виступає важливим рефугіумом для збереження видового різноманіття родини Sphaeriidae, що підтверджується найвищим видовим багатством та представленістю всіх екологічних груп.

4. Отримані результати підкреслюють необхідність врахування екологічних особливостей молюсків родини Sphaeriidae під час планування заходів з відновлення та ревіталізації річок в Україні відповідно до вимог Водної рамкової директиви ЄС.

5. Виявлені закономірності просторового розподілу та екологічної диференціації видів родини Sphaeriidae підкреслюють важливість збереження природної мозаїчності річкових екосистем.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективи використання результатів дослідження охоплюють декілька важливих напрямків природоохоронної діяльності у суббасейні Прип'яті. Отримані дані щодо поширення та екологічних характеристик видів родини Sphaeriidae створюють наукове підґрунтя для визначення територій пріоритетної охорони, особливо локалітетів з високим видовим різноманіттям. Така інформація є базовою для розширення мережі природоохоронних територій регіону, обґрунтування створення нових об'єктів природно-заповідного фонду та розширення Смарагдової мережі.

Література

1. Шевчук Л. М., Билина Л. В. Види молюсків родини Pisidiidae у водоймах та водотоках півночі правобережного Полісся України та характеристика умов їх оселення. Acta Biologica Ukrainica. 2022. Т. 31, № 2. С. 41-50. https://doi.org/10.26661/2410-0943-2022-1-05
2. Шевчук Л. М., Билина Л. В., Бітнер Д. В. Стан популяцій двостулкових молюсків родин Unionidae та Pisidiidae у басейні Случі в умовах загострення екологічної ситуації. Екологічні науки. 2020. Т. 30, № 3. С. 192-196. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.32
3. Шевчук Л. М., Билина Л. В., Васільєва Л. А. Збереження біорізноманіття нативних двостулкових молюсків України як необхідність дотримання вимог оселищної концепції та реалізації стратегії сталого розвитку. Екологічні науки. 2023. Вип. 5(50). С. 153-161.
4. MolluscaBase eds. URL: https://www.molluscabase.org (дата звернення: 09.11.2024).
5. Стадниченко А. П. Фауна України. Перлівницеві. Кулькові (Unionidae, Cycladidae). Київ: Наукова думка, 1984. 382 с.
6. Lopes-Lima M. et al. Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges. Biological Reviews. 2017. Vol. 92. P. 572-607. https://doi.org/10.1111/brv.12244
7. Lopes-Lima M. et al. Conservation of freshwater bivalves at the global scale: diversity, threats and research needs. Hydrobiologia. 2018. Vol. 810. P. 1-14.
8. Оновлений список офіційно прийнятих смарагдових об'єктів. URL: https://rm.coe.int/updated-list-of-officially-adopted-emerald-sites-december-2019-/168098ef51 (дата звернення: 09.11.2024).
9. Смарагдова мережа України. URL: https://uncg.org.ua/uriadu-ukrainy-rekomendovano-iaknajshvydshe-ukhvalyty-zakon-proterytorii-smarahdovoi-merezhi/ (дата звернення: 09.11.2024).
10. Водна рамкова директива. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en (дата звернення: 09.11.2024).
11. Шевчук Л. М., Васильєва Л. А., Пампура М. М., Межжерін С. В. Перливнецеві (Unionidae) України: ресурсна оцінка (чисельність, динаміка ареалів, особливості репродукції). Вестник зоологии. 2019. 92 с.
12. Shevchuk L., Bylyna L., Urbanska M. Species composition in assemblages of the family Unionidae as an indicator of ecological changes in water bodies of Central Polissia, Ukraine. Folia Malacologica. 2023. Vol. 31, No. 2. P. 83-90. https://doi.org/10.12657/folmal.031.009
13. Korniushin A. V., Janovich L. N., Melnichyenko R. K. Artenliste der Süßwassermollusken der Ukraine. ConchBooks: Friedrich-Held-Gesellschaft, 2002. P. 463-478.
14. Dudgeon D. et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews. 2006. Vol. 81, No. 2. P. 163-182.
15. Vaughn C. C. Ecosystem services provided by freshwater mussels. Hydrobiologia. 2018. Vol. 810. P. 15-27.
16. Carpenter S. R., Stanley E. H., Vander Zanden M. J. State of the world's freshwater ecosystems: physical, chemical, and biological changes. Annual Review of Environment and Resources. 2011. Vol. 36, No. 1. P. 75-99.
17. Folke C. et al. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 2004. Vol. 35, No. 1. P. 557-581.
18. Palmer M. A., Menninger H. L., Bernhardt E. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? Freshwater Biology. 2010. Vol. 55. P. 205-222.

19. Ricciardi A., Rasmussen J. Predicting the identity and impact of future biological invaders: A priority for aquatic resource management. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1998. Vol. 55, No. 7. P. 1759-1765.
20. Cardinale B. J. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. Nature. 2012. Vol. 486, No. 7401. P. 59-67.
21. План управління річковим басейном Дніпра 2025-2030. URL: https://davr.gov.ua/fls18/DNIPRO4.pdf (дата звернення: 09.11.2024).
22. Piechocki A., Dyduch-Falniowska A. Mięczaki (Mollusca), małże (Bivalvia). Fauna słodkowodna Polski. Warszawa: PWN, 1993. 202 s.
23. Piechocki A., Wawrzyniak-Wydrowska B. Guide to freshwater and marine mollusca of Poland. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2016. 156 p.
24. Prié V. Naïades et autres bivalves d'eau douce de France. Paris: Muséum national d'Histoire naturelle, Biotope, 2017. 336 p.
25. Killeen I., Aldridge D., Oliver G. Freshwater Bivalves of Britain and Ireland. Shrewsbury: Field Studies Council, 2004. 114 p.

ЕКОЛОГІЯ АГРОВИРОБНИЦТВА

УДК 632.951.1.952.1: 633.853.494
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.9

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНГІЦИДІВ У СИСТЕМІ ЗАХИСТУ РІПАКУ ОЗИМОГО ВІД ХВОРОБ

Невмержицька О.М., Плотницька Н.М., Гурманчук О.В., Криворучко В.І., Гуменюк А.О.
Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10002, м. Житомир
onevmerzhitska@ukr.net

Наразі серед олійних культур важлива роль відводиться ріпаку, вирощування якого набуває все більших масштабів не лише у Європі, а й в Україні. Проте до значних втрат урожаю насіння ріпаку призводить розвиток хвороб, які починають проявляться ще з осені.

Серед основних грибних хвороб ріпаку озимого, які паразитують на рослині під час вегетації, є альтернаріоз (*Alternaria brassicae Sacc.*), пероноспороз (*Peronospora brassicae Gäum.*), склеротиніоз (*Sclerotinia sclerotiorum*), фомоз (*Leptosphaeria maculans (Sowerby) P. Karst*), борошниста роса (*Erysiphe cruciferarum Opiz ex L. Junell*).

Дослідження щодо вивчення ефективності дії фунгіцидів на розвиток найбільш поширених хвороб ріпаку озимого проводилися в умовах СТОВ «Надія ВП» Житомирської області протягом 2023–2024 рр.

Досліджувані фунгіциди Полігард, к.с., Фенікс Дуо, к.с., Тиназол, к.е. вносили шляхом обприскування рослин восени у фазі 3–5 листків та у весняний період за висоти рослин 20–25 см. Фунгіцидом Амістар Екстра, к.с. проводили обробку рослин ріпаку озимого у фазі цвітіння. У контрольному варіанті рослини обробляли водою без застосування препаратів.

У результаті проведених досліджень встановлено, що досліджувані фунгіциди сприяють зниженню розвитку хвороб як восени, так і у весняний період після відновлення вегетації. Так найменший розвиток хвороб у посівах ріпаку озимого спостерігали за весняного обприскування у фазі 3–5 справжніх листків і навесні за висоти рослин 20–25 см препаратом Талер, к.с. та в період цвітіння після обробки препаратом Амістар Екстра, 28% к.с. Встановлено, що показники ефективності дії фунгіциду становили 81,3% та 85,4% відповідно, а врожайність ріпаку озимого за такої схеми застосування була 40,45 ц/га. *Ключові слова:* ріпак озимий, фунгіциди, хвороба, ефективність, урожайність насіння.

The effectiveness of fungicide use in the system of protection of winter rapeseed from diseases. Nevmerzhytska O., Plotnytska N., Hurmanchuk O., Kryvoruchko V., Humeniuk A.

Currently, rapeseed plays an important role among oil crops, the cultivation of which is becoming increasingly large not only in Europe, but also in Ukraine. However, the development of diseases that begin to appear already in the fall leads to significant losses of the rape seed harvest.

Among the main fungal infections of winter rape that parasitize the plant during the growing season are Alternaria brassicae Sacc., Peronospora brassicae Gäum., Sclerotinia sclerotiorum, Leptosphaeria maculans (Sowerby) P. Karst, Erysiphe cruciferarum Opiz ex L. Junell.

Studies on the effectiveness of fungicides on the development of the most common diseases of winter rape were conducted in the conditions of the agricultural enterprise «Nadia VP» in the Zhytomyr region during 2023–2024. Researched fungicides Polygard, k.s., Fenix Duo, k.s., Tinazol, k.e. applied by spraying plants in the fall in the phase of 3–5 leaves and in the spring period at a height of 20–25 cm with the fungicide Amistar Extra, k.s. processed winter rapeseed plants in the flowering phase. In the control variant, plants were treated with water without the use of drugs.

As a result of the conducted research, it was established that the studied fungicides contribute to the reduction of the development of diseases, both in autumn and in the spring period after the restoration of vegetation. Thus, the smallest development of diseases in winter rapeseed crops was observed during spring spraying in the phase of 3–5 true leaves and in spring when the plants were 20–25 cm tall with the drug Thaler, c.s. and during the flowering period after treatment with the drug Amistar Extra, 28% c.s. It was established that the indicators of the effectiveness of the fungicide were 81,3% and 85,4%, respectively, and the yield of winter rape under this application method was 40,45 c/ha. *Key words:* winter rapeseed, fungicides, disease, efficiency, seed yield.

Постановка проблеми. Протягом останнього десятиріччя у світі та в Україні озимий ріпак, як цінний технічний олійний продукт, має велике важливе значення для галузі економіки. Ріпак озимий стає все більш поширеною олійною культурою нашої країни. Це рослина, яка використовується у різних галузях промисловості, а саме: харчовій, лакофарбовій, миловарній, біоенергетичній. У медичній галузі країни ріпак займає також одне з провідних місць. Із насіння ріпаку отримують такі продукти його переробки, як вазелін, деякі ліки, медичний та технічний гліцерин [3, 5, 12].

Зелену масу і пропарену макуху використовують як корм для тварин, а солому – для виготовлення паперу та картону.

За вмістом олії озимий ріпак займає перше місце серед олійних культур, оскільки в його насінні міститься близько 50% олії, яка є найкращою для споживання у свіжому вигляді [2, 3, 4, 6, 7].

Проте, значних збитків втрат ріпаку озимого завдають хвороби різної етіології. До найбільш небезпечних можна віднести фомоз, альтернаріоз, пероноспороз, фузаріозне в'янення. Вони знижують урожайність насіння, а також і його якість. Уражений ріпак має погані технологічні і посівні характеристики, знижується продуктивність [1, 2, 8, 15, 17].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Захист сільськогосподарських культур від хвороб є важливою складовою у їх вирощуванні і отриманні стабільних високих врожаїв, що особливо актуально наразі. Окрім того, вивчення і виявлення впливу окремих фунгіцидних препаратів на ріст і розвиток сільськогосподарських культур сприяє вирішенню прикладних задач на шляху подолання такої проблеми, як забезпечення населення продуктами харчування. На сьогодні в Україні є величезна кількість препаратів, вплив яких на ураження рослин ріпаку озимого збудниками хвороб ще не достатньо вивчений і це є надзвичайно важливим у зв'язку з необхідністю оптимізованого їх підбору для подальшого зменшення ураження рослин і нанесення мінімальної шкоди навколишньому середовищу [6, 8, 9].

Актуальність дослідження. Збудники хвороб, особливо грибного походження уражують рослини ріпаку озимого протягом усього вегетаційного періоду. Значний розвиток патогенних організмів у посівах призводить до завчасного відмирання листкової поверхні та розтріскування стручків ріпаку [3, 5, 14, 16]. Тому, основним завданням за вирощування ріпаку озимого є правильний науково-обґрунтований фунгіцидний захист, який включає протруювання насіння у поєднанні з мікродобривами та стимуляторами росту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчать праці Г. Косиловича, В. Мазур, В. Камінського, серед основних хвороб, які завдають значної шкоди посівам ріпаку озимого є чорна ніжка (ризоктоніоз), пероноспороз, альтернаріоз, фомоз, борошниста роса. Це хвороби, які набувають значного розвитку за умов нестачі кисню в ґрунті чи його перезволоження. Уражені рослини погано перезимовують, а навесні, після відновлення вегетації, більш сприйнятливі до розвитку кореневих гнилей [4, 7, 16].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Система захисту ріпаку від хвороб включає обробки фунгіцидами протягом вегетації та протруювання насіння протруйниками в різні фази онтогенетичного розвитку. Обробка рослин у кожній фазі дає позитивний результат на певні процеси в рослині, зменшуючи ураження хворобами від 30 до 50%. Своєчасна профілактика і ефективна система захисту від них є актуальною і тому, важливим є пошук нових та вдосконалення вже існуючих технологій вирощування ріпаку озимого, які дозволять отримати якісну сировину, сприятимуть підвищенню продуктивності та економічних показників культури [4, 8]. Саме ці питання були покладені в основу наших спеціальних досліджень, що здійснювалися в умовах СТОВ «Надія ВП» Житомирської області.

Новизна. Наші дослідження були спрямовані на встановлення ефективності фунгіцидів щодо розвитку найбільш поширених і небезпечних хвороб рослин ріпаку озимого в умовах СТОВ «Надія ВП» Житомирської області.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для проведення експерименту було закладено польовий дослід з визначення ефективного асортименту фунгіцидів з метою обробки посівів озимого ріпаку для захисту від найбільш поширених та небезпечних хвороб під час вегетації в умовах СТОВ «Надія ВП» Житомирської області.

Досліджували ефективність фунгіцидів Полігард, к.с., Фенікс Дуо, к.с., Тиназол, к.е. обприскуючи рослини восени у фазі 3–5 листків та у весняний період за висоти рослин 20–25 см. У фазі цвітіння проводили обробку фунгіцидом Амістар Екстра, к.с. У контролі фунгіциди не використовували, обприскуючи рослини водою. Дослідження проводили у 4-кратній повторності, ділянки розміщували рендомізовано.

Перше обприскування проводили препаратами Полігард, к.с., Фенікс Дуо, к.с., Тиназол, к.е. восени у фазі 3–5 справжніх листків з ціллю попередження і захисту рослин від найбільш поширених хвороб. Наступне обприскування відбувалося навесні при висоті рослин 20–25 см препаратами Полігард, к.с., Фенікс Дуо, к.с., Тиназол, к.е. Під час цвітіння варіанти досліду рослини обробляли фунгіцидним препаратом Амістар Екстра, 28% к.с.

У досліді використовували гібрид ріпаку озимого Грім.

У фазу повної стиглості у польовому досліді збирали врожай з кожної ділянки окремо. Із кожного варіанту визначали масу 1000 насінин. Статистичну обробку проводили методом дисперсійного аналізу.

Виклад основного матеріалу. У результаті проведених досліджень, вивчено динаміку розвитку хвороб ріпаку озимого протягом 2023–2024 років, досліджено і виведено відсоткове співвідношення найбільш поширених грибних хвороб, збудників яких було виявлено та ідентифіковано на рослинах озимого ріпаку гібриду Грім.

Провівши фітопатологічну оцінку досліджуваних рослин на дослідній ділянці було встановлено, що набули поширення і розвитку такі захворювання, як пероноспороз, альтернаріоз, ризоктоніоз, фомоз, борошниста роса та інші хвороби. За результатами проведених спостережень найвищий відсоток розвитку грибних фітопатогенів проявився на контрольному варіанті досліду, де не застосовувалися фунгіцидні препарати. Альтернаріоз показав найвищий відсоток – 29,1%, спостерігали значний розвиток борошнистої роси – 23,2%, пероноспо-

розу – 21,3% та фомозу – 17,8%, інші хвороби становили близько 6%.

Можна стверджувати, що згідно наших досліджень найбільш поширеними грибними хворобами рослин озимого ріпаку в умовах СТОВ «Надія ВП» Житомирської області є альтернаріоз, борошниста роса, пероноспороз і фомоз, розвиток яких у загальній структурі хвороб становить 29,1 та 21,3% відповідно.

Як відомо, перші ознаки фомозу і пероноспорозу починають свій розвиток восени. Восени 2023 р. у фазі утворення розетки листя з'являлися ознаки симптомів розвитку пероноспорозу, що становило – 6,3%, у 2024 р. нижче – 5,4%, розвиток фомозу становив 3,8% – у 2023 р. і 3,2% – у 2023 р. Навесні у фазу стеблування з'являлися перші ознаки ураження рослин збудниками борошнистої роси, альтернаріозу. Розвиток борошнистої роси становив – 4,5% у 2023 р. і 9,6% у 2024 р., 4,8% і 3,5% становив розвиток альтернаріозу і 1,1 і 1,3% – склеротініозу. У 2023 р. під час цвітіння спостерігався найвищий розвиток альтернаріозу і він становив 8,8%, а вже у 2024 р. найвищий розвиток був у борошнистої роси і він становив 14,3%.

Подальші дослідження рослин ріпаку гібриду Грім показали, що у фазі формування стручків спостерігалося збільшення ураження їх фітопатогенами і не лише стручків, а й стебел. У 2023 р. у цей період спостерігався найбільший розвиток альтернаріозу у порівнянні з іншими хворобами і становив 23,4%, а у 2024 р. найбільшої шкоди посівам ріпаку завдавали борошниста роса (23,1%) і альтернаріоз (21,1%). На кінець вегетації 2023 р. спостерігалося посилення розвитку фомозу (17,1%), пероноспорозу (17,8%), борошнистої роси (11,6%) і ін хвороб – до 9,4%. Подібна ситуація спостерігалася у 2024 р., де відмічався розвиток фомозу – 9,5%, пероноспорозу – 9,1% і склеротініозу – 4,6%.

В умовах СТОВ «Надія ВП» вивчалася ефективність застосування фунгіцидів на розвиток основних хвороб з метою створення ефективної інтегрованої системи захисту від хвороб ріпаку озимого.

Оскільки ознаки фомозу та пероноспорозу на рослинах ріпаку озимого з'являлися восени, то захист посівів потрібно розпочинати з цього періоду. Отже, восени після внесення препаратів Полігард, 0,5 л/га, к.с., Фенікс Дуо, 0,5 л/га, к.с., Тиназол, 0,5 л/га, к.е. 1,0 л/га, відмічалося зниження ступеня ураження рослин ріпаку озимого хворобами, якщо порівнювати із контрольним варіантом. Так, розвиток фомозу та пероноспорозу після обробки досліджуваними фунгіцидами становив 0,9–1,1% та 1,1–1,2%, а в той час у контрольному варіанті – 6,6% та 6,1%. Обприскування посівів в осінній період фунгіцидами сприяло стимуляції росту рослин. Так, висота рослин на препаратах була на 13,6–14,0 см меншою ніж у контролі. Окрім того, спостерігалося потовщення кореневої шийки рослини на 2,0–2,1 мм восени, що сприяло кращій перезимівлі рослин. Ця тенденція зберігалася і навесні під час відновлення вегетації рослин, де товщина кореневої шийки у варіантах із застосуванням фунгіцидних препаратів варіювала від 15,1 до 15,8 мм (табл. 1).

Дослідження ефективності внесення фунгіцидних препаратів восени показали, що проти фомозу та пероноспорозу вона була найвищою за застосування препарату Полігард, к.с. і вона становила 81,5% та 85,6% відповідно. Застосування Фенікс Дуо, к.с. та Тиназол, к.е. хоч і показали меншу ефективність,

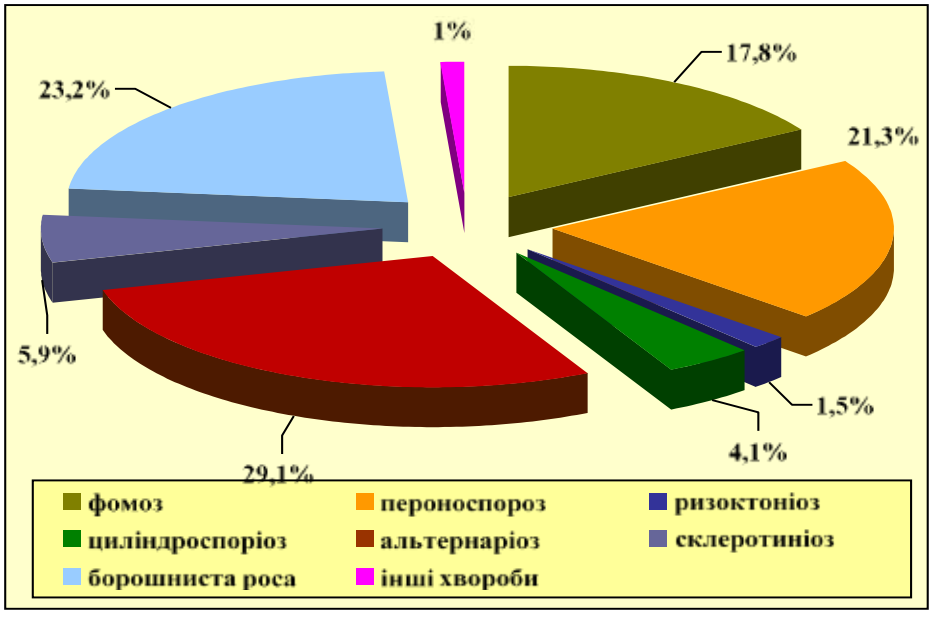


Рис. 1. Співвідношення розвитку хвороб ріпаку озимого, 2023–2024 рр.

Таблиця 1

Вплив осіннього внесення фунгіцидних препаратів на розвиток хвороб рослин ріпаку озимого (2023–2024 рр.)

Варіанти досліду	Норма витрати, л/га	Висота рослин, см	Товщина кореневої шийки, мм		Розвиток хвороб, %	
			на 15-й день	відновлення вегетації	фомоз	пероноспороз
Контроль (обприскування водою)	-	38,7	5,0	11,6	6,6	6,1
Полігард, 0,5 л/га, к.с.	1,0	25,0	6,9	15,1	0,9	1,1
Фенікс Дуо, 0,5 л/га, к.с.	1,25	24,7	7,1	15,8	1,0	1,1
Тиназол, 0,5 л/га, к.е. 1,0 л/га	1,5	25,1	7,0	15,7	1,0	1,2
$НІР_{05}$		0,1	0,1	0,1		

Таблиця 2

Врожайність ріпаку озимого за внесення фунгіцидів, гібрид Грім, (2023–2024 рр.)

Варіант досліду	Маса 1000 насінин, г	Урожайність, ц/га			± до контролю
		2023 р.	2024 р.	сер.	ц/га
Контроль (обприскування водою)	3,6	25,90	32,2	29,05	-
Полігард, к.с.; Полігард, к.с., Амістар Екстра,28% к.с.	4,8	39,40	41,10	40,45	12,2
Фенікс Дуо, к.с.; Дуо к.с., Амістар Екстра, 28% к.с.	4,6	37,50	38,90	38,20	9,8
Тиназол, к.е. Тиназол, к.е. Амістар Екстра, 28% к.с.	4,7	38,80	40,10	39,50	11,3
$НІР_{05}$	0,1	0,4	0,8		0,8

проте вона була незначною і варіювала в межах 84,6–85,2% проти фомозу і 78,8–80,9% проти пероноспорозу.

Тому, за рахунок внесення досліджуваних препаратів восени можна попередити ураження рослин хворобами, а також сприяти їх кращій перезимівлі.

Також було досліджено ефективність внесення на початку весняної вегетації за висоти рослин 20–25 см досліджуваних препаратів, а також в період цвітіння препарату Амістар Екстра, 28% к.с. проти пероноспорозу, фомозу, склеротиніозу, альтернаріозу, борошнистої роси.

Вивчаючи технічну ефективність фунгіцидів проти фомозу, встановлено, що розвиток фомозу за застосовування фунгіцидів на початку цвітіння варіював від 1,3 до 2,0%, у фазі формування стручків від 3,0 до 4,0%, у той час у контрольному варіанті відмічалося ураження на 16,0% та 22,1%. Найвищий показник технічної ефективності препаратів було відмічено за застосування Полігард, к.с. восени та Полігард, к.с., Амістар Екстра 28%, к.с. навесні, що становив на початку цвітіння 87,0–90,8% і під час формування стручків – 80,6–86,6%.

Досліджуючи ефективність фунгіцидів проти пероноспорозу, встановлено, що на початку цвітіння його розвиток був у межах 1,2–1,5%, вже у фазі формування стручків 2,1–2,9%, що значно менше порівняно із контролем (12,4% і 18,4%). Технічна ефективність препаратів на початку цвітіння варіювала в межах 86,2–89,1%, у фазі формування стручків – 81,7–88,3%.

Щодо альтернаріозу, то його розвиток на початку цвітіння був у межах 2,1–3,6%, у фазі формування стручків – 4,5–5,1, а у контролі ураження рослин становило 26,1% і 35,8% відповідно. Проте, ефективність препаратів на початку цвітіння варіювала від 80,5 до 87,1%, у фазі формування стручків від 86,5 до 87,9%.

Подібні результати спостерігали щодо технічної ефективності проти борошнистої роси та склеротиніозу.

Згідно результатів проведених досліджень встановлено, що найменший розвиток хвороб на рослинах ріпаку озимого було відмічено у варіанті, де восени в фазі 3–5 справжніх листків та навесні за висоти рослин 20–25 см застосовано препарат

Полігард, к.с., а в період цвітіння – препарат Амістар Екстра, 28% к.с. За такої комбінації встановлено найвищу ефективність щодо хвороб, яка варіювала в межах від 86,2 до 90,8%.

Вивчаючи врожайність культури залежно від застосування фунгіцидів встановлено, що у 2024 р. її показники були вищими, ніж у попередніх роках і становила 32,2 ц/га у контрольному варіанті, проте, значно вищі показники відмічено за застосування восени та навесні препарату Полігард, к.с., а під час цвітіння Амістар Екстра, 28% к.с., і становили 41,1 ц/га, що на 8,9 ц/га більше у порівнянні із контролем.

Вивчаючи застосування препаратів Фенікс Дуо, к.с. та Тиназол, к.е., встановлено їх ефективність щодо показників урожайності, які значно вищі, у порівнянні з контролем.

Спостерігаючи за масою 1000 насінин на варіантах, де застосовувалися фунгіциди, відмічено її збільшення на 1,0–1,28 г порівняно з контролем.

Таким чином, результати наших спостережень показали, що внесення восени та навесні препаратів Полігард, к.с., Фенікс Дуо, к.с. та Тиназол, к.е. та під час цвітіння – Амістар Екстра, 28% к.с., дозволяє не лише знизити розвиток мікозів, але й зберегти врожай насіння. Найвищі показники ефективності внесення фунгіцидів на ріпаку озимому забезпечив варіант за внесення препарату Полігард, к.с восени в фазі 3–5 справжніх листків + Полігард, к.с навесні за висоти рослин 20–25 см + Амістар Екстра, 28% к.с., у фазі цвітіння.

Головні висновки. В результаті проведених досліджень встановлено, що в умовах СТОВ «Надія ВП» Житомирської області найбільшого розвитку на рослинах ріпаку озимого набули такі хвороби: альтернаріоз (28,7%), борошниста роса – 24,3%, фомоз – 20,7%, пероноспороз – 16,8%. Досліджуючи вплив фунгіцидів на розвиток хвороб встановлено, що найменший розвиток хвороб у посівах ріпаку озимого спостерігається за весняного обприскування в фазі 3–5 справжніх листків та навесні за висоти рослин 20–25 см препаратом Талер, 0,5 л/га, к.с. та в період цвітіння обробки препаратом Амістар Екстра, 28% к.с. Показники ефективності дії препаратів у цьому варіанті досліду становила 81,3% та 85,4% і показники врожайності від 38,9 до 40,45 ц/га.

Перспективи використання результатів дослідження. Отже, в результаті проведених досліджень встановлено, що запропонована система захисту рослин ріпаку озимого від хвороб, яка передбачає внесення навесні препаратів Полігард, к.с., Фенікс Дуо, к.с. та Тиназол, к.е. та під час цвітіння препарату Амістар Екстра, 28% к.с., є актуальною і перспективною, тому що впливає на зменшення інфекційного навантаження, підвищує врожайність і рентабельність вирощування ріпаку озимого.

Література

1. Буткалюк Т.О, Вергелес П.М., Пінчук Н.В., Коваленко Т.М. Альтернаріоз ярого ріпаку та оцінка особливостей його розвитку і шкодочинності в умовах дослідного поля ВНАУ. Сільське господарство та лісівництво. 2018. № 9. С. 112-122.
2. Волощук О.П., Случак О.М., Распутенко А.О. Продуктивність ріпаку озимого залежно від строків, способів сівби та норм висіву насіння. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2018. № 64. С. 44-55. DOI: https://www.doi.org/10.32636/01308521.2018-(64)-4.
3. Камінський В. Ф., Вишнівський П. С. Народногосподарське значення ріпаку. Хімія. Агрономія. Сервіс. 2007. № 7. С. 11-13.
4. Косилович Г. О. Венгер І. Є. Використання пестицидів у системі захисту ріпаку озимого від шкідників і хвороб. *Вісник ЛНАУ. Серія : агрономія*. 2015. № 19. С. 154-161.
5. Лихочвор В. В. Особливості технології вирощування ріпаку. *Агроном*. К. : АгроМедіа, 2009. №. С. 72-76.
6. Луговський К. П. Контроль хвороб у посівах озимого ріпаку. *Карантин і захист рослин*. – К., 2016. № 1. С. 19-22.
7. Мазур В.А., Мацера О.О. Аналіз зміни якісних показників насіння озимого ріпаку залежно від строків посіву та системи удобрення. Сільське господарство та лісівництво. 2019. № 1 (12). С. 5-17. DOI: 10.37128/2707-5826-2019-1-1.
8. Мірошниченко М., Лісовий М., Бабинін В., Казаков В. Хвороби ріпаку в Україні та в світі. *Пропозиція*. 2015. С. 30-32.
9. Михайленко С. В. Хвороби ріпаку. *Карантин і захист рослин*. К., 2016. № 5. С. 2-6.
12. Невмержицька О., Плотницька Н., Гурманчук О., Мороз О., Кафтанатій Д., Паламарчук О. Ефективність фунгіцидного захисту від хвороб сої. *Всеукраїнська наукова інтернет-конференція «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку»* (17 листопада 2023 р.). Переяслав, 2023, Вип. 92. С.
13. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. К.: Юнівест Медіа, 2018. С. 156-162.
14. Трибель С. О., Стригун О. О. Проблеми фітосанітарії ріпаку та підвищення ефективності захисних заходів. *Агроном*. К. АгроМедіа, 2013. № 1(39). С. 118-128.
15. Пінчук Н.В., Вергелес П.М., Коваленко Т.М. Сільське господарство та лісівництво. 2021.№ 3 (22). С. 119-134.
16. Matsera O. Comparative evaluation of quality properties of winter rapeseed depending on the level of fertilizers and sowing date. Сільське господарство та лісівництво. 2020. № 1 (16). С. 108-118. DOI: 10.37128/2707-5826-2020-1-8. DSV-Raps-Berater. Krankheiten und Schadlinge. Lippstadt : Deutsche Saatveredelung, 2001. 36 c.
17. Jankowski K.J.; Sokólski M. Szatkowski A. The Effect of Autumn Foliar Fertilization on the Yield and Quality of Winter Oilseed Rape Seeds. Agronomy 2019. № 9. P. 849. DOI:https://doi.org/10.3390/agronomy9120849.

УДК [911.3:338.439:631.147:502.17](477.44):303.6
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.10

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

Петровська М.А., Петровський С.В., Попик О.О.
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів
petrovskamyr@gmail.com, sv.petrovskyi@gmail.com, dafa6566@gmail.com

Органічне виробництво, здатне дати відповіді на екологічні, економічні та соціальні виклики, є важливим у контексті європейської інтеграції України.

Вінницька область відома своєю сільськогосподарською традицією, має сприятливі умови для органічного виробництва, зокрема, родючі ґрунти та помірний клімат. Станом на 31.12.2023 р. у Вінницькій області працювали 25 операторів, сертифікованих відповідно до вимог законодавства України і 67 операторів, сертифікованих за стандартом, що еквівалентний органічному законодавству ЄС і NOP. Це найвищий показник серед областей України. Площа сільськогосподарських земель з органічним статусом, сертифікованих за міжнародними стандартами, становила 69 488 га, що дорівнює 18% таких земель України. За цим показником Вінничина поступається лише Київщині (71 442 га). На землі з органічним статусом, сертифіковані відповідно до вимог законодавства України, припадає 2 433 га. У цілому у Вінницькій області сільськогосподарські землі з органічним статусом займають площу 71 921 га, що становить 15,5% таких земель України. Серед органічних операторів найбільшу кількість становлять ті, хто вирощує продукти рослинництва, які не піддаються переробці.

Методом анкетування з'ясували, що 85% опитаних серед цінностей обрали сім'ю, 80% – здоров'я і лише 16,3% – навколишнє середовище. 37,5% дотримуються здорового способу життя. Тема органічної продукції є цікавою для 86,3% опитаних. Найбільше цікавить як відрізнити органічну продукцію від неорганічної (71,3%). Відсоток респондентів, які ставляться до органічної продукції швидше позитивно (37,5%) і дуже позитивно (57,5%) становить 95. Серед переваг органічного виробництва з підказкою 66,3% обирає не містить шкідливих складників і 45% – не забруднює навколишнє середовище. 72,5% вважає, що органічна продукція – це продукція, вирощена натуральним чином без хімії; 51,2% – вирощена за стандартами органічного сільського господарства і 45% – має органічну сертифікацію і маркування. Проведене опитування свідчить, що споживачі мають високий рівень зацікавленості органічними продуктами, хоча багато з них обмежені в купівлі через завищену вартість і фінансову неспроможність, а також їм бракує інформації щодо переваг цієї продукції та точок продажу. Вінницька область належить до перспективних регіонів для розвитку органічного виробництва в Україні. *Ключові слова:* органічне виробництво, органічна продукція, довкілля, органічні землі, оператор, споживач.

State and prospects of organic production development in the Vinnytsia region. Petrovska M., Petrovskyi S., Popyk O.

Organic production, which can respond to environmental, economic and social challenges, is important in the context of Ukraine's European integration.

Vinnytsia region is known for its agricultural tradition and has favorable conditions for organic production, including fertile soils and a temperate climate. By the time of 31.12.2023, there had been 25 operators in Vinnytsia region certified in accordance with the requirements of Ukrainian legislation and 67 operators certified to a standard equivalent to EU organic legislation and NOP. This is the highest figure among Ukrainian regions. The area of agricultural land with organic status certified according to international standards amounted to 69,488 hectares, which is equal to 18% of such land in Ukraine. By this indicator, Vinnytsia region is the second only to Kyiv region (71,442 hectares). The land with organic status, certified in accordance with the requirements of Ukrainian legislation, accounts for 2,433 hectares. In general, agricultural land with organic status in Vinnytsia region covers an area of 71,921 hectares, which is 15,5% of such land in Ukraine. Among organic operators, the largest number falls on those who grow crop products that are not processed.

The survey found that 85% of respondents chose family as their value, 80% chose health, and only 16,3% chose the environment. 37,5% adhere to a healthy lifestyle. The topic of organic products is interesting for 86,3% of respondents. Most people are interested in how to distinguish organic products from non-organic ones (71,3%). The percentage of respondents who have a rather positive (37,5%) and very positive (57,5%) attitude towards organic products is 95%. Among the advantages of organic production, 66,3% of respondents choose the fact that it does not contain harmful ingredients and 45% – that it does not pollute the environment. 72,5% believe that organic products are products grown naturally without chemicals; 51,2% believe that they are grown according to organic farming standards and 45% believe that they are certified and labeled organic. The survey shows that consumers have a high level of interest in organic products, although many of them are limited in their purchases due to high prices and financial insolvency as well as lack of information about the benefits of these products and points of sale. Vinnytsia region is one of the most promising regions for the development of organic production in Ukraine. *Key words:* organic production, organic products, environment, organic land, operator, consumer.

Постановка проблеми. Одним із пріоритетних напрямів економіки України для забезпечення сталого розвитку суспільства сьогодні є органічне виробництво. Власне органічна детермінанта засвідчує наявність соціально-екологічного прогресу в країні, незважаючи на труднощі, спричинені повномасштабною війною РФ проти України. Зважаючи на це, необхідним є створення таких умов для сіль-

ськогосподарських систем, які не лише забезпечуватимуть населення чистими і корисними продуктами, а й прибутком виробника та розвиватимуть дбайливе ставлення до довкілля.

Актуальність дослідження. Розуміння актуальності переходу з традиційних методів ведення сільського господарства на альтернативні, серед яких панівне місце належить органічному виробництву, має вирішальне значення не лише для сільськогосподарського сектору, але й для вирішення інших болючих питань, таких, як стійкість до зміни клімату, збереження біорізноманіття та здоров'я людини. Органічне виробництво, здатне дати відповіді на екологічні, економічні та соціальні виклики, є важливим у контексті європейської інтеграції України. Саме те, що Вінницька область належить до перспективних регіонів для розвитку органічного землеробства в Україні, і послужило для обрання теми дослідження.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Виконане дослідження є частиною науково-дослідної роботи кафедри конструктивної географії і картографії на тему: «Проблеми трансформації природно-антропогенних геосистем західного регіону України в контексті Євроінтеграції», номер держреєстрації 0123U102092.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками органічне виробництво в Україні стало свідком значних зрушень із ключовими законодавчими віхами. В Україні 2018 року прийнято Закон «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції», який заклав основу сталого ведення сільського господарства. Законом визначено п'ять основних напрямів державної політики щодо органічного виробництва [1]: екологічна цілісність (сприяння практикам, які підтримують здоров'я ґрунтів, екосистем і біорізноманіття); збереження біорізноманіття з наголосом на сільськогосподарські системи; добробут тварин за допомогою етичних і стійких методів ведення сільського господарства; узгодження методів виробництва з уподобаннями споживачів; заохочення практик, які сприяють стійкості до зміни клімату та зменшують екологічний слід сільського господарства. Важливим кроком є запуск 2023 року Реєстрів органів сертифікації й операторів у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції [2]. Нагадаємо, що 25 травня 2023 року ТОВ «Органік Стандарт» став першим органом сертифікації, акредитованим НААУ для сертифікації за українським органічним законодавством, внесений в офіційний Державний реєстр органів сертифікації у сфері органічного виробництва та обігу органічної продукції в Міністерстві аграрної політики та продовольства України [3]. До цього часу виробництво органічної продукції в Україні здійснювали відповідно до стандартів еквівалентних стандартам ЄС та інших країн [4]. З того часу оператори з Реєстру маркують свою продукцію українським державним логотипом. У зв'язку з цим, органічна карта України тепер містить вказівку щодо органа сертифікації: чи то за законодавством України, чи за ЄС, NOP (США) [5]. Станом на 31.12.2023 р. Вінницька область серед лідерів за кількістю операторів згідно обох законодавств, а за сертифікованими органічними землями – згідно законодавства ЄС, NOP. Ці події знаменують важливий прогрес в узгодженні практики органічного виробництва в Україні з міцною законодавчою базою на європейському ринку органічної продукції, позиціонуючи країну як прихильника сталого та екологічно відповідального сільського господарства.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на міжнародне визнання, органічний сектор України і Вінницької області, зокрема, потребує подальшої підтримки для адаптації до нових викликів і зміцнення своєї позиції на внутрішньому та зовнішньому ринках. З цією метою ми проаналізували стан органічного виробництва у Вінницькій області, з'ясували його проблеми, дослідили обізнаність споживачів про органічне виробництво та продукцію за допомогою анкетування.

Новизна. У статті наголошено на перевагах органічного виробництва. Зазначено, що органічне виробництво є сертифікованою діяльністю, яку провадять відповідно до законодавства України і до стандартів еквівалентних стандартам ЄС та інших країн. Простежено динаміку загальної площі органічних сільськогосподарських угідь, кількість органічних операторів і їхню спеціалізацію у Вінницькій області. Методом анкетування з'ясовано знання про переваги органічного виробництва і зацікавленість споживачів органічними продуктами.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для реалізації дослідження використовували методи спостереження, що забезпечило збір емпіричних даних; аналіз існуючих наукових джерел і нормативної бази; порівняння для виявлення відмінностей і спільних рис в розвитку органічного виробництва в інших регіонах; польових досліджень для збору даних безпосередньо у Вінницькій області; анкетування споживачів з метою оцінки проблем і перспектив розвитку органічного виробництва.

Викладення основного матеріалу. Вінницька область відома своєю сільськогосподарською традицією, має сприятливі умови для органічного виробництва, зокрема, родючі ґрунти та помірний клімат. Для того, щоб краще зрозуміти сильні та слабкі сторони, недоліки та загрози, які можуть виникати для органічного виробництва досліджуваного регіону, ми провели SWOT-аналіз. Найбільшою загрозою є війна. Багато органічних операторів зазнали збитків через окупацію і прямі влучання, руйнування

об'єктів інфраструктури та зростання цін на допоміжні продукти, паливо і логістику. Основними проблемами на внутрішньому органічному ринку стали порушення ланцюгів постачання, переміщення значної кількості споживачів органічних продуктів до інших областей чи за кордон, зниження купівельної спроможності та падіння попиту на органічні продукти.

Станом на 31.12.2021 р. загальна площа сільськогосподарських земель (органічних і перехідного періоду), сертифікованих за стандартами ЄС і NOP у Вінницькій області становила 2 829 га, у тім числі сільськогосподарські землі з органічним статусом – 2 693 га, працювали 52 органічні оператори. Через рік кількість операторів не змінилася, а площі сільськогосподарських земель, як органічних і перехідного періоду (2 753 га), так і з органічним статусом (2 618 га) зменшились на 2,5–2,8%. Загалом у регіоні працювали 11% операторів України (462) [6].

Незважаючи на труднощі, органічне сільське господарство виявляє більшу стійкість у кризових ситуаціях, ніж традиційне, демонструючи меншу вразливість, ніж інтенсивне виробництво. Позитивним є те, що органічні оператори менше залежать від великих логістичних центрів, оскільки володіють різноманітними канали збуту, включаючи прямі продажі споживачам. У свою чергу, віддаленість логістичних центрів від виробничих потужностей і проблеми з паливом показали недосконаліть довгих ланцюгів поставок у традиційному землеробстві [7].

Станом на 31.12.2023 р. загальна кількість операторів в Україні, сертифікованих відповідно до вимог її законодавства, налічувала 152, з яких 25 працювали у Вінницькій області (16,5%), а сертифікованих за стандартом, що еквівалентний органічному законодавству ЄС і NOP, було 67 [6]. Це найвищий показник серед областей України, який становить 14% її операторів. Окрім цього варто відзначити, що у Вінницькій області суттєво зросла площа сільськогосподарських земель з органічним статусом, сертифікованих за міжнародними стандартами (69 488 га), на які припадає 18% таких земель України. За цим показником Вінничина поступається лише Київщині (71 442 га). Землі з органічним статусом, сертифіковані відповідно до вимог законодавства України (2 433 га), становлять 3% від загальноукраїнських. В цілому у Вінницькій області сільськогосподарські землі з органічним статусом займають площу 71 921 га, що становить 15,5% таких земель України.

Серед органічних операторів Вінничини найбільшу кількість становлять оператори, які вирощують продукти рослинництва, що не піддаються переробці, таких є 40. Органічне рослинництво (у тому числі насінництво та розсадництво) є сертифікованою діяльністю семи операторів. Чотири оператори є виробниками сої. По три оператори займаються оптовою торгівлею хімічними продуктами і вирощують живі тварини або продукти тваринництва, що не піддаються переробці (продукція бджільництва). Два оператори займаються вирощуванням зернових культур (крім рису, бобових культур і насіння олійних культур). Також працюють оператори, сертифікованою діяльністю яких є розведення тварин; виробництво готових кормів для тварин, що утримують на фермах; оптова торгівля зерном, необробленим тютюном, насінням і кормами для тварин; органічне тваринництво (у тім числі птахівництво, бджільництво); вирощування зерняткових і кісточкових фруктів; роздрібна торгівля в неспеціалізованих магазинах, переважно продуктами харчування, напоями та тютюновими виробами тощо [8].

За обсягом імпорту органічної агропродовольчої продукції до ЄС із 125 країн у 2023 році Україна займала п'яте місце з часткою експорту в загальному обсязі 7% і в сукупному – 44,7% [9] та вже шостий рік поспіль залишається в топ-5 найбільших експортерів до ЄС [10]. Вінницька область також робить свій внесок у загальний обсяг експортованої продукції.

У Вінницькій області функціонує Іллінецький аграрний фаховий коледж, утворений 1921 року, який є піонером становлення і розвитку органічного руху в Україні. Завдяки тісній співпраці зі швейцарськими колегами створено Асоціацію виробників органічного виробництва «Біолан Україна» – центр компетенції в галузі органічного сільського господарства. На базі коледжу проводять міжнародні конференції, семінари, численні заходи, які сприяють впровадженню органічних технологій. У рамках проєкту «ЕкоФінЛан Україна» в коледжі вперше в Україні започатковано курс органічного виробництва для студентів, створено матеріально-технічну базу, лабораторію органічного виробництва (контроль якості органічної продукції). У 2020 році на базі коледжу створено регіональний навчально-практичний центр з органічного виробництва сільськогосподарської продукції [11].

Для розвитку інфраструктури та розширення виробництва органічні виробники потребують фінансування та інвестицій, які є обмеженими. Фермери зацікавлені в інформації та консультативній підтримці щодо технологій органічного виробництва та вимог сертифікації. Споживачам бракує інформації про переваги органічного виробництва, а звідти і органічних продуктів.

З метою вивчення як добре споживачі володіють знаннями про переваги органічного виробництва, наскільки цікавою для них є ця тема, у жовтні 2024 р. ми провели опитування за допомогою анкетування. Анкету, яка містить 28 запитань, завантажили у Google Forms. Опитуванням онлайн охопили 80 осіб. Серед опитаних чоловіки і жінки віком 20–29 років становили 11,3%, 30–39 років – 23,3%, 40–49 років – 36,3%, 50–59 років – 17,5%. Найменша частка припадає на респондентів віком понад 60 років. 70% респондентів мають дітей, з них дві дитини у 46,6%. З вищою освітою 65,4% опита-

них. Дохід родини до 15 000 грн. у 41,7% респондентів, від 15 000 до 20 000 – у 22,2%, від 20 000 до 25 000 – у 13,9%, більше 25 000 грн. – у 8,3% респондентів, а 13,9% опитаних відмовилися відповісти на питання. За соціальним статусом переважають працівники в галузі науки, освіти і охорони здоров'я (38,9%) і наймані робітники (27,8%), по 10% – керівники підприємства, установи і домогосподарки.

Дотримуються здорового способу життя 37,5%, а 10% опитаних – не дотримуються, решту відповісти не змогли.

85% респондентів серед цінностей обрали сім'ю, 80% – здоров'я, 45% – людяність і лише 16,3% – навколишнє середовище (рис. 1).

За самооцінкою щодо знання і сприйняття органічних продуктів 33,8% є швидше обізнаними, 31,3% – і так, і ні; на швидше не обізнаний, як обізнаний припадає 25%. Тема органічної продукції є цікавою для 86,3% опитаних. Найбільше цікавить як відрізнити органічну продукцію від неорганічної (71,3%) (рис. 2).

Відсоток респондентів, які ставляться до органічної продукції швидше позитивно (37,5%) і дуже позитивно (57,5%) становить 95. Серед куплених продуктів на органічні припадає 37,5% (рис. 3).

Серед переваг органічного виробництва з підказкою 66,3% обирає не містить шкідливих складників і 45% – не забруднює навколишнє середовище (рис. 4).

При наявності підказки що таке органічна продукція, 72,5% вважає, що то продукція вирощена натуральним чином без хімії; вирощена за стандартами органічного сільського господарства – 51,2% і має органічну сертифікацію і маркування – 45% (рис. 5).

Ті, що купують часто, і ті, що рідко – врівноважують один одного в межах 30%. 22,5% важко відповісти, а дуже часто купують 7,5% опитаних.

Рис. 1. Загальні цінності цільової аудиторії

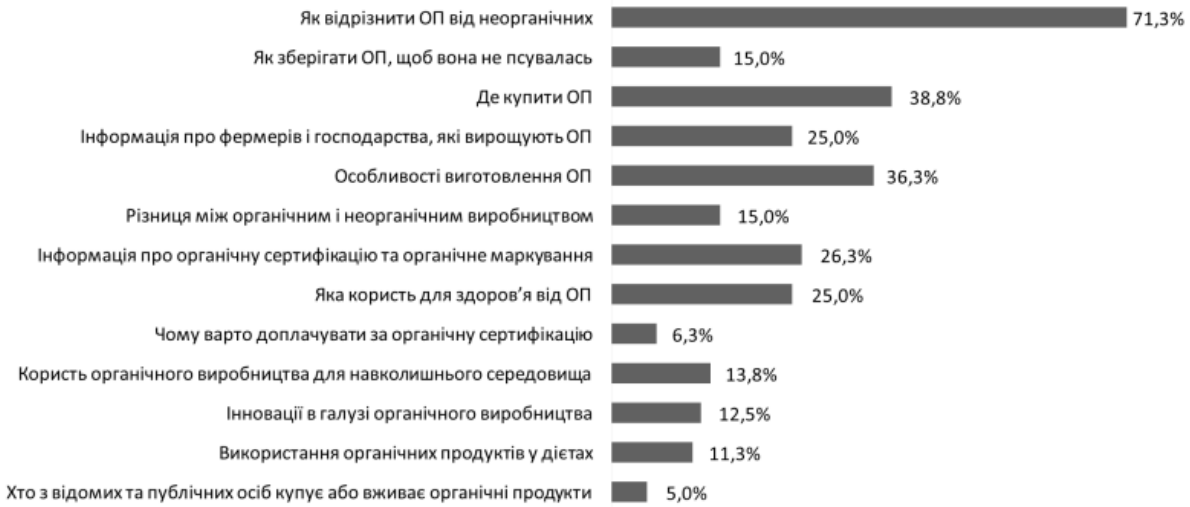


Рис. 2. Інформаційні потреби цільової аудиторії про органічну продукцію

Рис. 3. Купівля органічних продуктів у порівнянні з іншими категоріями

Рис. 4. Переваги органічного виробництва (з підказкою)

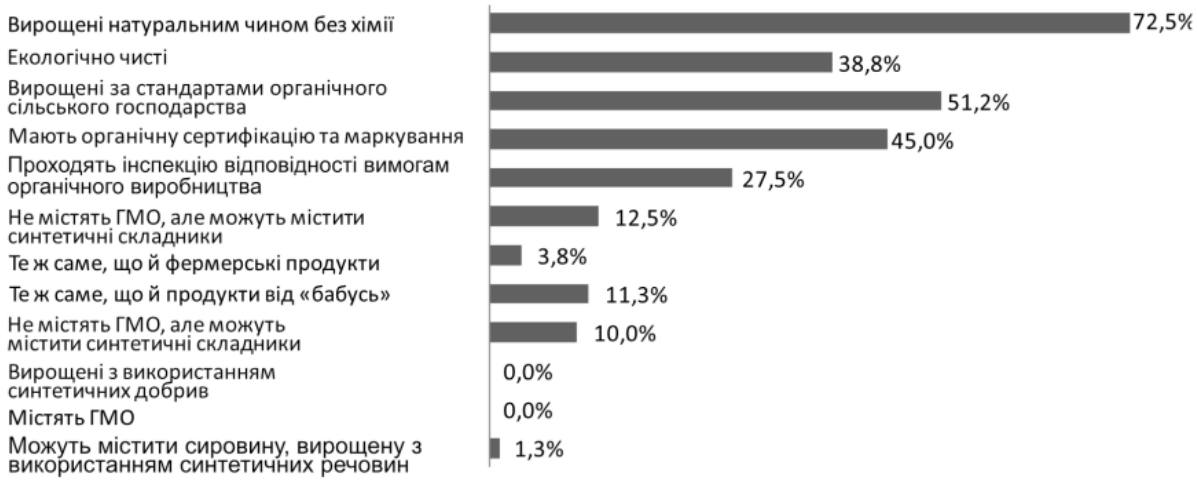


Рис. 5. Знання цільової аудиторії про органічні продукти

Не змінилася споживча поведінка на ринку органічної продукції у 41,3% опитаних, 25% не змогли відповісти, в межах 16% перебувають ті, що стали купувати більше і ті, що менше. За категорією органічних продуктів, які купували за останні три місяці і готові купувати, переважають овочі, фрукти, ягоди (76,3%), молочні продукти (63,7%), м'ясо, ковбаси (55%).

Найчастіше про органічну продукцію споживачі дізнаються з упакування (68,8%) та в інтернеті (58,8%) (рис. 6).

Серед проблем органічної сфери 50% назвали високу ціну, а 56,3% зазначили, що мало інформації про органічну продукцію і точки її продажу (рис. 7).

46,3% опитаних купують органічні продукти у фермерських магазинах і 43,8% – в мережевих магазинах, супермаркетах і гіпермаркетах. 63,7% респондентів вважає, що точками продажу такої продукції мають бути мережеві магазини, супермаркети та гіпермаркети і 61,3% – спеціалізовані магазини органічної продукції. 15% респондентів стверджує, що ціна на органічну продукцію може бути значно дорожчою, а 55% – трохи дорожчою, 12,5% вважає, що органічний статус не повинен впливати на вартість продукції.

Головні висновки. Перехід органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції у правове поле забезпечує євроінтеграційний курс України. Вінницька область вирізняється площею сільськогосподарських земель з органічним статусом і кількістю органічних операторів, які працюють як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Проведене опитування свідчить, що споживачі мають високий рівень інтересу до органічних продуктів, хоча багато з них обмежені в купівлі через завищену вартість і фінансову неспроможність, а також їм бракує інформації щодо переваг цієї продукції й точок продажу.

Перспективи використання результатів дослідження. Окрім забезпечення нас якісними та безпечними сертифікованими органічними продуктами харчування, наш вибір сприятиме протидії основним екологічним проблемам: зміні клімату, втраті біорізноманіття та екосистемних послуг, деградації земель, забрудненню повітря, води, ґрунту тощо; розвитку сільських територій, підвищенню зайнятості і добробуту населення.

Рис. 6. Джерела інформації про органічну продукцію

Рис. 7. Недоліки органічного виробництва та продукції

Література

1. Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції: закон України від 10 липня 2018 року № 2496-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2496-19#Text (дата звернення 21.11.2024).
2. Реєстри у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції. URL: https://minagro.gov.ua/file-storage/reiestry-u-sferi-orhanichnoho-vyrobnytstva-obihu-ta-markuvannia-orhanichnoi-produktsii (дата звернення 28.03.2024).
3. Інформаційний портал OrganicInfo. URL: https://organicinfo.ua/stages/ (дата звернення 05.04.2024).
4. Органік Стандарт. URL: https://organicstandard.ua/standards (дата звернення 09.10.2023).
5. Інфографіка. OrganicInfo. URL: https://organicinfo.ua/infographics/ (дата звернення 21.11.2024).
6. Інформаційний портал OrganicInfo. URL: https://organicinfo.ua (дата звернення 30.01.2023).
7. Громадська спілка «Органічна ініціатива» – інформаційний портал. URL: https://organicinitiative.org.ua/news/organic-agriculture-more-resilience (дата звернення 20.11.2023).
8. Клієнти. URL: https://organicstandard.ua/clients (дата звернення 21.11.2024).
9. Імпорт органічної агропродовольчої продукції до ЄС. URL: https://organicinfo.ua/wp-content/uploads/2024/07/agri-market-brief-23-organic-imports_ua.pdf (дата звернення 21.11.2024).
10. Україна – у топ-5 найбільших експортерів органічної продукції до ЄС. URL: https://agroportal.ua/news/ukraina/ukrajina-u-top-5-naybilshih-eksporteriv-organichnoji-produkciji-do-yes (дата звернення 21.11.2024).
11. Іллінецький аграрний фаховий коледж. URL: https://agroelita.info/illinetskyy-ahrarnyy-fakhovyy-koledzh/ (дата звернення 21.11.2024).

УДК 551.58:633.491
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.11

ВПЛИВ ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КАРТОПЛІ В ЛІСОСТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

Толмачова А.В., Барсукова О.А., Куришина В.Ю., Черняков М.П.
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, м. Одеса

Сільське господарство – це одна з найбільш вразливих галузей економіки, адже його ефективність безпосередньо залежить від природних умов, серед яких ключову роль відіграє клімат. Постійно зростаюча нестабільність кліматичних умов та зміни погоди, що виявляються в частих посухах, надмірних опадах, температурних коливаннях і аномальних явищах, можуть мати суттєвий вплив на процеси росту, розвитку й формування урожайності сільськогосподарських культур, таких як картопля.

У даній статті представлено детальні результати досліджень, які стосуються впливу агрометеорологічних умов на ріст, розвиток і продуктивність картоплі в Лісостеповій зоні України, на прикладі Тернопільської області. Аналіз впливу агрометеорологічних умов на ріст та розвиток картоплі був проведений як для кожного міжфазного періоду, так і для всього періоду вегетації, тобто від посадки до в'янення бадилля. На основі отриманих результатів було встановлено, що середня дата посадки картоплі в Тернопільській області припадає на кінець квітня, а кінець вегетації – на початок серпня. Протягом досліджуваного періоду сприятливі температурні умови та достатній рівень вологи сприяли активному росту картоплі, що свідчать про добрі перспективи для стабільного врожаю в регіоні. Для аналізу динаміки урожайності картоплі були використані щорічні середньообласні дані по урожайності культури за період з 1994 по 2023 роки. За цей час спостерігалися значні коливання фактичної урожайності картоплі від 87 ц/га (1995 р.) до 202 ц/га (2014 р.), середній урожай картоплі на даної території становив 145 ц/га. Таким чином, в умовах Тернопільської області є потенціал для збільшення врожаїв картоплі шляхом удосконалення технологій і методів догляду за культурою.

Метою дослідження являється визначення агрометеорологічних показників картоплі, уточнення біологічного мінімуму по міжфазним періодам, виявлення показників, що впливають на формування урожайності картоплі в Лісостеповій зоні України.
Ключові слова: температура, вегетація, міжфазний період, динаміка урожайності, вологозабезпеченість.

The influence of natural and climate factors on the formation of potato productivity in the Forest-Steppe zone of Ukraine. Tolmachova A., Barsukova O., Kuryshyna V., Chernyakov M.

Agriculture is one of the most vulnerable sectors of the economy, as its effectiveness is directly dependent on natural conditions, with climate playing a key role. The increasing instability of climatic conditions and weather changes, manifested in frequent droughts, excessive rainfall, temperature fluctuations, and abnormal phenomena, can significantly impact the growth, development, and yield formation of agricultural crops such as potatoes.

This article presents detailed results of research concerning the influence of agrometeorological conditions on the growth, development, and productivity of potatoes in the Forest-Steppe zone of Ukraine, specifically in the Ternopil region. The analysis of the impact of agrometeorological conditions on potato growth and development was conducted for each inter-phase period as well as for the entire growing season, from planting to the wilting of the foliage. Based on the results obtained, it was established that the average planting date for potatoes in the Ternopil region falls at the end of April, while the end of the growing season is at the beginning of August. During the study period, favorable temperature conditions and adequate moisture levels contributed to the active growth of potatoes, indicating good prospects for stable yields in the region. To analyze the dynamics of potato yield, annual average regional data on crop yields from 1994 to 2023 were utilized. Over this period, significant fluctuations in actual potato yields were observed, ranging from 87 c/ha (1995) to 202 c/ha (2014), with the average yield in the area being 145 c/ha. Thus, the conditions in the Ternopil region present potential for increasing potato yields through the improvement of technologies and methods for crop care.

The aim of the study is to determine the agro-meteorological indicators for potatoes, refine the biological minimum for inter-phase periods, and identify the factors influencing the yield formation of potatoes in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Key words:* temperature, vegetation, interphase period, yield dynamics, moisture supply.

Постановка проблеми. Картопля як стратегічно важлива сільськогосподарська культура за рівнем споживання у всьому світі посідає четверте місце після пшениці, рису та кукурудзи, воістину вважаючись «другим хлібом». За географічним поширенням та обсягами споживання картопля займає одне з провідних місць у структурі продовольчої продукції в Україні. Значне скорочення товарного виробництва продовольчої картоплі у господарствах пов'язане з розв'язанням цілого комплексу важливих питань, зокрема питань насінництва, агротехніки вирощування, застосування високоефективних пестицидів, наявність сільськогосподарської техніки та матеріально-технічне забезпечення. Складна екологічна й енергетична ситуація, яка складається в сільському господарстві, доводить, що отримувати високі й сталі врожаї усіх культур можна лише за наявності у виробництві сортів, адаптованих до різних ґрунтово-кліматичних умов [1].

Актуальність дослідження. Картопля займає важливе місце в аграрному секторі завдяки своїй універсальності, поживній цінності та адаптивності

до різних умов вирощування. Вона є основним продуктом харчування для багатьох населень, а також використовується в промисловості для виробництва крохмалю, спирту та інших продуктів. Значною мірою використовується і як фураж у тваринництві. За універсальністю використання у різних галузях народного господарства з картоплею не може зрівнятися жодна сільськогосподарська культура [2].

У біологічному аспекті картопля має значний генетичний потенціал. Багато сортів картоплі мають різноманітні характеристики, які роблять їх стійкими до хвороб і шкідників, а також здатними витримувати несприятливі умови середовища. Наприклад, деякі сорти демонструють високу стійкість до фітофтори, тоді як інші можуть мати вищі показники врожайності в умовах посухи чи надмірної вологості. Це відкриває можливості для селекційної роботи та створення нових сортів, адаптованих до специфічних умов вирощування.

Світова площа під картоплею становить близько 18 млн. га. В Європі посівна площа займає до 13 млн. га. Світове виробництво картоплі становить близько 300 млн. т. з деякими відхиленнями по роках. Основну частину картоплі в світі вирощують країни Європи. В Україні площі під картоплею займають приблизно 1,5 млн. га.

Вирощування картоплі завжди було і залишається актуальною темою для населення України. Її вирощують в усіх ґрунтово-кліматичних зонах. Основні посівні площі картоплі розміщенні у Поліссі (близько 60%) та в Лісостепу (30%). Середня врожайність бульб у сприятливі роки досягає 157,2-166,4 ц/га, а в приватному секторі, на присадибних ділянках – 200-300 ц/га. Природні умови України дозволяють вирощувати в зоні Полісся та Лісостепу по 200-400 ц/га бульб. Щорічне виробництво картоплі в останні роки становить 20-23 млн. т.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тематика досліджень відповідає основним напрямам наукової діяльності кафедри агрометеорології та агроекології Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова і виконується в рамках науково-дослідної теми «Біокліматичний потенціал земель сільськогосподарського призначення України в умовах зміни клімату».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Картопля вирощується повсюдно, вважається культурою, що добре пристосовується, до різних умов навколишнього середовища, за невеликий вегетаційний період (від 70 до 110 днів) показує високі врожаї. Урожайність картоплі залежить від багатьох факторів: вибір правильного сорту, здорового насіннєвого фонду, внесення добрив, дотримання правильної технології вирощування та погодних умов [1, 2, 3].

Погодні умови можуть радикально впливати на рослини картоплі і викликати зміни врожайності бульб на 50-100% відносно середніх багаторічних даних. Висока температура (30-40°С) з довгим сонячним днем викликає перетворення столонів у надземні пагони. Якщо такий температурний режим тривалий і збігається з періодом активного формування врожаю, то це призводить до «кліматичного виродження бульб». При цьому порушується нормальний обмін речовин, значно знижується врожай бульб і їх насіннєві якості [4].

Дослідженню кліматичних умов на формування врожаю картоплі присвячено багато публікацій як в Україні так і за кордоном. В Україні багаторічні дослідження вчених охоплюють широкий спектр питань, пов'язаних із характеристикою агротехнічних заходів вирощування картоплі в різних кліматичних зонах країни [2, 5, 6]. Науковці вивчають вплив метеорологічних умов на якість культури [7], особливість ґрунтів та екологічних факторів на ріст і розвиток картоплі. Зокрема, увага зосереджена на визначенні оптимальних термінів посадки, способів обробки ґрунту, добрива та систем зрошення [4], що дозволяють забезпечити максимальну врожайність у конкретних агроекологічних умовах. Окрім того, дослідження охоплюють питання захисту рослин від шкідників та хвороб, а також виведення нових сортів картоплі, які мають високу стійкість до кліматичних стресів [1]. Важливим аспектом є розробка сучасних технологій вирощування картоплі, які враховують зміни клімату та сприяють підвищенню ефективності використання ресурсів, таких як вода і добрива, з метою збереження родючості ґрунтів і забезпечення стійкого виробництва продукції.

Канадськими дослідниками [8] проведено комплексне дослідження впливу майбутніх змін клімату на врожайність картоплі в Канаді, на острові Принца Едварда. Дослідники детально проаналізували, як підвищення середньої температури вплине на вегетаційний період картоплі. Було встановлено, що підвищення температури на кілька градусів може мати як позитивні, так і негативні наслідки. З одного боку, більш теплі весняні місяці можуть сприяти ранньому початку посадки картоплі і скороченню періоду вегетації. Однак, підвищення температури в літній період, особливо вище 25-30°С, може спричинити температурний стрес для картоплі, що негативно позначається на її фотосинтезі, рості бульб і, відповідно, зниженні врожайності. А надмірні опади можуть спричиняти заболочення ґрунту і підвищувати ризики розвитку грибкових захворювань.

У своїх дослідженнях Rykaczewska K. [9] підкреслює, що підвищення температури негативно впливає на врожайність картоплі, причому найбільше страждають сорти, що мають низьку стійкість до стресових умов.

Польські науковці в своїй роботі [10] провели дослідження, щодо впливу погодних умов на врожайність ранньої картоплі в центрально-східній Польщі. Дослідниками було проаналізовано, як температура повітря, рівень опадів та вологість впливають на

ріст і врожайність картоплі. Було встановлено, що погодні умови в період росту, особливо навесні та влітку, мають вирішальне значення для продуктивності картоплі, а коливання температури і рівня опадів можуть значно змінювати врожайність.

Голландські науковці в своїх дослідженнях [11] спостерігали за весь вегетаційний період картоплі та встановили, що для забезпечення високої врожайності необхідно, щоб сума ефективних температур досягала визначених оптимальних значень. Якщо сума ефективних температур протягом вегетаційного періоду становить менше 1250°C, період буде надто коротким, і вирощування картоплі не забезпечить достатньої врожайності. Тому автори рекомендують використовувати дві посадки картоплі: осінню та весняну. Це можливо, наприклад, у середземноморському кліматі або у високогірних тропічних районах, де висота понад 2000 метрів над рівнем моря.

Отже, аналіз сучасних публікацій і досліджень свідчить про те, що погодні умови і зміна клімату продовжують бути критичними факторами для врожайності картоплі. Дослідники пропонують різні підходи для прогнозування та адаптації сільськогосподарських систем до цих змін, серед яких виділяються розробка нових сортів картоплі та використання сучасних технологій для оптимізації умов вирощування.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Однією з перспективних, але недостатньо вивчених культур у біологічному та господарському відношенні є картопля. Багато питань, таких як вплив агрокліматичних умов на її ріст і розвиток, оптимальні технології вирощування, а також економічна ефективність різних сортів, потребують подальшого дослідження. Вивчення цих факторів допоможе покращити продуктивності картоплі, зменшити втрати під час зберігання та транспортування, а також підвищити якість продукції. Таким чином, основною метою даного дослідження є аналіз впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності картоплі в Лісостеповій зоні України, на прикладі Тернопільської області.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для визначення агрометеорологічних умов вирощування картоплі було проведено розрахунки агрометеорологічних показників для кожного міжфазного періоду та за весь вегетаційний період. Для цього використано дані з агрокліматичного довідника [12]. На основі методу найменших квадратів проведено уточнення біологічного мінімуму картоплі по кожному міжфазному періоду.

Для аналізу режиму зволоження та вологозабезпеченості картоплі розраховані показники ресурсів вологи та вологозабезпеченості у Тернопільській області за період від 2003 по 2022 роки. Вологозабезпеченість вегетаційного періоду картоплі визначалась за допомогою біологічного методу, який запропонував О. М. Алпат'єв [13, 14] і розраховується за формулою:

$$V = \frac{E_{\Phi}}{E_o} 100\% , \qquad (1)$$

де $E_{ф}$ – фактичного вологоспоживання, мм; E_0 – вологопотреба рослин, мм.

Розрахунок фактичного вологоспоживання ($E_{ф}$) виконувалось за допомогою спрощеного рівняння водного балансу:

$$Eф = W_H - W_K + \Sigma R, \qquad (2)$$

де W_H і W_K – запаси продуктивної вологи метрового шару ґрунту на початок і кінець вегетації, мм; ΣR – сума опадів за цей же період, мм.

Вологопотреба рослин (E_o), що прирівнюється до випаровуваності, розраховується за формулою:

$$E_o = k\,\Sigma d, \qquad (3)$$

де k – біофізичний коефіцієнт випаровуваності даної культури, визначається з літературних джерел: якщо ж він не визначений, то приймають його значення 0,65; Σd – сума дефіцитів насичення вологою повітря за період, мм.

Аналіз динаміки врожаїв картоплі проводили із застосуванням методу гармонійних зважувань, запропонованим професором А. М. Польовим, алгоритм якого широко відомий в агрометеорології [15]. Основна ідея цього методу полягає в тому, що в результаті зважування певним методом окремих спостережень часового ряду, більш пізнім спостереженням надаються більші ваги. Тобто, вплив більш пізніх спостережень має більше відображуватися на прогнозованій оцінці, ніж вплив більш ранніх. Аналіз часових рядів урожайності проводився за такою схемою: визначення тенденції урожайності; аналіз динаміки урожайності та тенденції.

Викладання основного матеріалу. Агрометеорологічні умови відіграють ключову роль у забезпеченні успішного вирощування картоплі, оскільки від початкового етапу посадки залежить подальший розвиток рослин і майбутній урожай. Найважливішими факторами, що впливають на цей період, є температурний режим, вологість ґрунту, рівень опадів.

Спостереження проводилися за 20-річний період (2003-2022 рр.) по наступним міжфазним періодам вегетації: посадка – сходи, сходи – утворення бічних пагонів, утворення бічних пагонів – цвітіння, цвітіння – в'янення бадилля, а також проведено аналіз агрометеорологічних умов вирощування картоплі за весь вегетаційний період. Вплив термічного фактору аналізувалося шляхом осереднення температури повітря за період і сумами активних і ефективних температур. Умови зволоження аналізувалися за сумою опадів і запасами продуктивної вологи в шарі 0-50 см (табл. 1).

Таблиця 1

Агрометеорологічні умови вирощування картоплі в Тернопільській області

Тривалість періоду, дні	Суми температур повітря вище 7 °С		Середня температура повітря, °С	Сума опадів, мм	Середні запаси продуктивної вологи W_{0-50}	
	ΣТакт, °С	ΣТеф, °С			мм	% від НВ
Посадка – сходи (24.04 – 21.05)						
28	357	166	13,2	65	87	74
Сходи – утворення бічних пагонів (21.05 – 31.05)						
10	156	88	15,7	31	94	81
Утворення бічних пагонів – цвітіння (31.05 – 23.06)						
24	434	266	18,3	59	88	75
Цвітіння – в'янення бадилля (23.06 – 4.06)						
43	831	527	19,5	118	85	73

За середньобагаторічними даними (2003-2022 рр.) посадка картоплі в середньому в Тернопільській області спостерігається у третій декаді квітня (24 квітня). У цей період ґрунт прогрівається до оптимальної температури (7-10°С), що сприяє швидкому проростанню бульб. Тривалість міжфазного періоду посадка – сходи знаходиться в залежності від умов зволоження орного шару ґрунту і термічного режиму. Сходи з'являються через 28 днів після посадки, тобто 21 травня, при цьому середня температура повітря на дату посадки складає 10,2ºС.

Забезпеченість теплом міжфазного періоду характеризується сумою активних та ефективних температур, за біологічний мінімум прийнято 7ºС. Сума активних та ефективних температур становить в середньому 357 та 166ºС відповідно.

Запаси продуктивної вологи в шарі 0-50 см на момент посадки склали 87 мм (74% від найменшої вологомісткості). Основним джерелом вологи в цей період є весняні опади. Кількість опадів за період посадка – сходи в середньому становить 65 мм (табл. 1).

Тривалість початкових фаз розвитку рослин суттєво залежить від температурного режиму, вологості ґрунту та рівня освітлення. Температура визначає швидкість проростання насіння та початковий ріст пагонів, тоді як оптимальна вологість забезпечує належний рівень живлення для молодих рослин. Друга фаза утворення бічних пагонів у середньому спостерігається 31 травня. Середня тривалість міжфазного періоду сходи – утворення бічних пагонів склала 10 днів. Сума активних та ефективних температур за 20-річний період становить у середньому 156 та 88ºС відповідно. Середня температура повітря становила за цей період – 15,7ºС.

Опади характеризуються великою мінливістю по роках, в середньому за міжфазний період випало 31 мм. Запаси вологи в 0-50 см шарі ґрунту в Тернопільській області за розглянутий період складають в середньому 94 мм (81% від від найменшої вологомісткості) (табл. 1).

Оптимальні агрометеорологічні умови, зокрема температура, вологість, разом із правильними агротехнічними заходами, забезпечують успішний ріст і розвиток рослин.

Цвітіння картоплі в середньому спостерігається 23 червня. Середня тривалість третього міжфазного періоду утворення бічних пагонів – цвітіння в склала 24 днів. Сума активних температур за цей період становить у середньому 434ºС, сума ефективних температур в середньому становить 266ºС., середня температура повітря – 18,3ºС.

Для картоплі найбільш критичним періодом, коли потрібно більше опадів або зрошення, є фаза бутонізації та цвітіння. У цей міжфазний період рослина активно формує бульби, і потреба у воді значно зростає. Дефіцит вологи в цей час може призвести до зменшення кількості та розміру бульб, знижуючи загальну врожайність. Оптимальне зволоження в фазі бутонізації та цвітіння сприяє інтенсивному росту бульб і поліпшенню якості врожаю. В цей період картопля потребує регулярних опадів або зрошення для забезпечення оптимальних умов росту. Кількість опадів за період утворення бічних пагонів – цвітіння в середньому становить 59 мм. Запаси вологи в 0 шарі ґрунту 0-50 см за розглянутий період в середньому складають 88 мм (75% від найменшої вологомісткості) (табл. 1).

Період від цвітіння до в'янення бадилля є завершальною стадією вегетаційного циклу картоплі, під час якої формуються і визрівають бульби.

Агрометеорологічні умови в цей період мають вирішальне значення для врожайності та якості картоплі. В'янення бадилля спостерігається в середньому 4 серпня. Середня тривалість четвертого періоду від цвітіння до в'янення бадилля склала 43 дні. Сума активних та ефективних температур за періоду у середньому становить 831 та 527ºС відповідно.

Сума опадів у четвертий міжфазний період розвитку картоплі, що включає етап в'янення бадилля і підготовки рослини до дозрівання бульб, має важливе значення для завершення циклу формування врожаю. На цьому етапі зменшується потреба картоплі у великій кількості води, проте помірне зволоження ґрунту допомагає уникнути пересихання бульб і сприяє належному завершенню процесів накопичення поживних речовин. Надмірна кількість опадів або зайве зрошення в цьому періоді можуть призвести до погіршення якості врожаю, зокрема підвищення вологості бульб, що знижує їхню лежкість і товарний вигляд. Кількість опадів за період від утворення бічних пагонів до цвітіння в середньому становить 118 мм. Запаси вологи в 0-50 см шарі ґрунту в Тернопільській області за розглянутий період становили в середньому 85 мм (73% від НВ) (табл. 1).

На основі методу найменших квадратів проведено уточнення біологічного мінімуму картоплі по міжфазним періодам та отримано наступні рівняння:

– посадка-сходи ΣT = 4 N + 246,1;
– сходи-утворення бічних пагонів ΣT =13,9 N + 17;
– утворення бічних пагонів – цвітіння ΣT = 15,3 N + 69,1;
– цвітіння-в'янення бадилля ΣT = 20,1 N – 23.

Коефіцієнти кореляції, що дорівнюють 0,41-0,95 говорять про те, що отримані зв'язки є тісними. Таким чином, біологічний мінімум картоплі в період посадка-сходи дорівнює 4ºС, сходи-утворення бічних пагонів – 13,9ºС, утворення бічних пагонів-цвітіння – 15,3ºС, цвітіння-в'янення бадилля – 20,1ºС.

Проведено аналіз агрометеорологічних умов вирощування картоплі за весь вегетаційний період від посадки до в'янення бадилля (табл. 2).

Середньобагаторічна дата посадки картоплі спостерігається 24 квітня, в'янення бадилля – 4 серпня. Середня тривалість вегетаційного періоду від посадки до в'янення бадилля за 20-річними даними склала 104 днів.

Сума активних температур за період вегетації становить у середньому 1773ºС. Сума ефективних температур – 1084ºС. На території Тернопільської області середня температура повітря за весь період становила 17,0ºС. Кількість опадів за досліджуваний період в середньому становить 270 мм. Вологозабезпеченість є одним з ключових факторів, що впливають на ріст, розвиток та врожайність картоплі. Оптимальна вологість ґрунту протягом вегетаційного періоду забезпечує нормальне функціонування кореневої системи, утворення бульб і розвиток надземної частини рослини.

В результаті проведених розрахунків встановлено, що фактичне споживання ($E_ф$) картоплі за вегетаційний період в середньому становить 264 мм, вологопотреба (E_0) – 350 мм, середньодекадний дефіцит становить в середньому 716 мм. Середнє же значення вологозабезпеченості (V) – 78%, говорить о том, що на території Тернопільської області вологозабезпеченість картоплі хороша.

Проаналізував усі показники, можна зробити висновок, що на території Тернопільської області протягом всього періоду вегетації умови для росту та розвитку картоплі були сприятливими.

Отримання високих і стабільних урожаїв сільськогосподарських культур, зокрема картоплі, завжди було і залишається головною метою землеробства. Однак зі збільшенням середньої урожайності зростає і рівень коливань у її показниках.

Розглянемо часовий ряд урожайності як суму двох складових – рівня культури землеробства та погодних умов конкретних років. За методом гармонійних зважувань проведено аналіз динаміки урожаїв картоплі. Для аналізу динаміки урожайності картоплі були використані щорічні середньообласні дані по урожайності культури за період з 1994 по 2023 роки для Тернопільської області за даними Державної статистичної служби України [16].

На рис. 1 представлено графік динаміки урожайності картоплі та лінія тренду в Тернопільській області, де плавна лінія характеризує лінію тренда урожайності, а ламана – щорічні коливання урожайності за рахунок різних факторів, основу яких становить клімат.

Протягом досліджуваного періоду спостерігалися постійні коливання фактичної урожайності карто-

Таблиця 2

Агрометеорологічні показники розвитку картоплі впродовж вегетаційного періоду на території Тернопільської області

Дати настання фази		Тривалість періоду, дні	Суми температур повітря вище 7 ºС		Середня температура повітря, ºС	Сума опадів, мм	Середній декадний дефіцит, гПа	$E_ф$, мм	E_0, мм	V, %
посадка	в'янення бадилля		ΣТакт, °С	ΣТеф, °С						
24.04	4.08	104	1773	1084	17,0	270	716	264	350	78

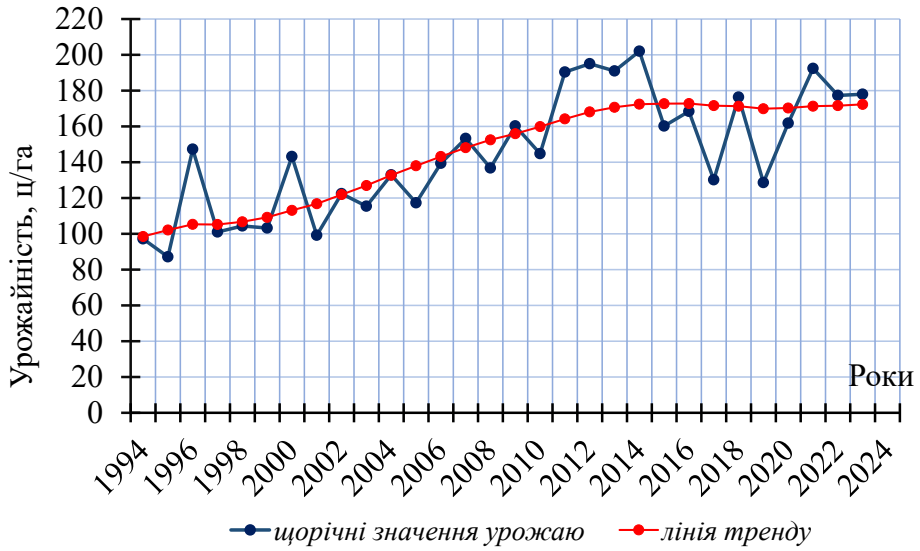


Рис. 1. Динаміка урожайності картоплі та лінія тренду в Тернопільській області за 1994-2023 рр.

плі. На початок періоду урожайність картоплі становила 97,2 ц/га, потім поступово зростає до 178 ц/га. В середньому за роки дослідження (1994-2023 рр.) урожай становив 145 ц/га.

Найбільші урожаї картоплі спостерігались в період з 2011 по 2016 рр. і були на рівні 168,4-202 ц/га та наприкінці досліджуваного періоду – 2021-2023 рр. і були на рівні 177-192,4 ц/га, але в 2014 році було зібрано найвищий урожай – 202 ц/га. Найменші урожаї спостерігалися на початку досліджуваного періоду в 1994, 1995 та 2001 рр. і становили 87; 97,2 та 99,2 ц/га відповідно.

Найбільші урожаї картоплі спостерігались в період з 2011 по 2016 рр. і були на рівні 168,4-202 ц/га та наприкінці досліджуваного періоду – 2021-2023 рр. і були на рівні 177-192,4 ц/га, але в 2014 році було зібрано найвищий урожай – 202 ц/га. Найменші урожаї спостерігалися на початку досліджуваного періоду в 1994, 1995 та 2001 рр. і становили 87; 97,2 та 99,2 ц/га відповідно.

На рис. 2 представлено багаторічний ряд відхилень від лінії тренду, що дає можливість оцінити вплив погодних умов кожного року на формування врожайності картоплі в умовах Тернопільської області.

За 30 років у 16 випадках спостерігались від'ємні відхилення, які коливалися від -1,3 до -41,4 ц/га. Найбільш несприятливими для вирощування картоплі були 1995, 2001, 2005, 2008, 2010, 2017 та 2019 рр., саме у ці роки спостерігалися найбільші від'ємні відхилення від лінії тренду – 15,0, -17,6, -20,7, -15,7, -15,1, -41,4 та -41,3 ц/га відповідно. Це свідчить про дуже несприятливі погодні умови, що склалися протягом цих років.

Найбільш сприятливим за весь період спостережень виявився в Тернопільській області був 1996 рік, коли додатне відхилення від лінії тренду становило 42 ц/га. Як можна бачити з рис. 2, також невеликі прирости урожаю за рахунок сприятливих погодних умов становило 30,1 ц/га у 2000 р.; 26,2 ц/га у 2011 р.; 26,9 ц/га у 2012 р.; 20,3 ц/га у 2013 р., а також 26,6 ц/га у 2014 р., саме в ці роки можна отримати збільшення урожаю картоплі.

Головні висновки. В результаті проведеного дослідження було встановлено, що умови вирощування картоплі за період вегетації були сприятливими. Вологозабезпеченість у Тернопільській області є достатньою для вирощування картоплі, що сприяє стабільності врожаїв. Протягом досліджуваного періоду в області спостерігалося значне зростання виробничої урожайності картоплі, яка в середньому склала 145 ц/га.

Подальше підвищення продуктивності можливе за умови впровадження інтенсивних технологій вирощування, які можуть ефективніше використовувати наявні ресурси та покращити агротехнічні показники. Таким чином, в умовах Тернопільської області є потенціал для збільшення врожаїв картоплі шляхом удосконалення технологій і методів догляду за культурою.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальші дослідження мають перспективу більш детально врахувати особливості кліматичних змін з урахуванням їх просторової та часової мінливості, а також параметри агрометеорологічних умов вирощування картоплі на даної території. Це включає аналіз впливу температурних і вологісних коливань, сезонних кліматичних трендів і особливостей мікроклімату в різних районах, що дозволить краще зрозуміти оптимальні умови для вирощування культури. У подальшому буде доцільно розробити практичні рекомендації щодо адаптації технологій вирощування картоплі в різних ґрунтово-кліматичних зонах.

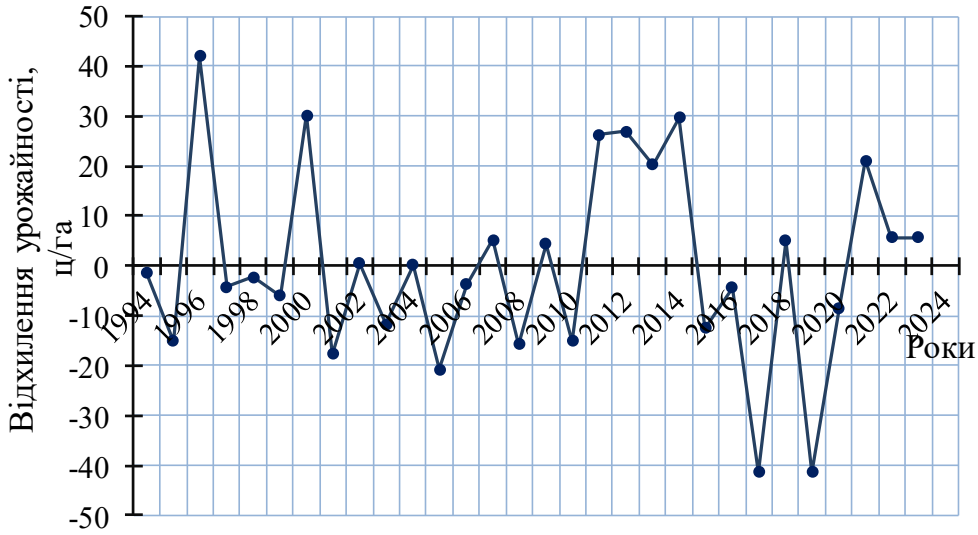


Рис. 2. Відхилення урожайності картоплі від лінії тренду в Тернопільській області за 1994-2023 рр.

Література

1. Крикунова О. В., Молоцький М. Я., Погорілий С. О. Продуктивність рослин картоплі в Правобережному Лісостепу України залежно від умов вирощування. *Картоплярство*. Київ: Нора-Прінт, 2000. № 30. С. 160-170.
2. Федосій І. О., Комар О. О., Фурдига М. М., Захарчук Н. А. Картоплярство: навч. посібник. Київ: ФОП Ямчинський, 2022. 382 с.
3. Агрометеорологічні ресурси картоплі / за ред. П. С. Теслюка. Київ: Урожай, 1992. 206 с.
4. Юзик С. М., Балашова Г. С., Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. С. Наукові основи та практичні аспекти вирощування картоплі за краплинного зрошення на півдні України: монографія. Вид-во: Олді+, 2019. 124 с.
5. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Барсукова О. А. Вплив погодних умов на формування врожаїв картоплі в Західному Поліссі. *Екологічні науки*, 2021. № 3(36). С. 104-109. doi: 10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.16.
6. Pysarenko N., Zakharchuk N., Furdyha M., Oliinyk, T. Influence of weather conditions in Central Polissia Ukraine, on the expression of quality indicators in potato cultivars of different maturity groups. *Scientific Horizons*, 2024. Vol. 27, No. 6, Pp. 51-62. doi: 10.48077/scihor6.2024.51.
7. Теслюк П. С., Клець С. А. Вплив метеорологічних умов вегетаційного періоду на врожайність і якість картоплі. *Картоплярство*. Київ: Урожай, 1987. Вип. 18. С. 47-49.
8. Adekanmbi T., Wang X., Basheer S., Nawaz R.A. er al. Assessing Future Climate Change Impacts on Potato Yields-A Case Study for Prince Edward Island, Canada. *Foods*, 2023. Vol. 12(1176). Pp. 5-20. doi: 10.3390/foods12061176.
9. Rykaczewska K. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *American Journal of Plant Sciences*, 2013. Vol. 4(12). Pp. 2386-2393. doi:10.4236/ajps.2013.412295.
10. Rymuza K., Radzka E., Lenartowicz T. Effect of weather conditions on early potato yields in east-central Poland. *Communications in Biometry and Crop Science Poland*, 2015. V. 10 (2). Pp. 65-72.
11. Haverkort AJ, Verhagen A. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. *Potato Research*, 2008. Vol. 51. Pp. 223-237. DOI:10.1007/s11540-008-9107-0
12. Агрокліматичний довідник по Тернопільській області: (1986–2005 рр). / за ред. С. Є. Софінський, Т. І. Адаменко. Тернопіль, 2010. 183 с.
13. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Ситов В. М., Ярмольська О. Є. Практикум з сільськогосподарської метеорології. Одесса: ОДЕКУ, 2002. 400 с.
14. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. Одеса, 2012. 629 с.
15. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: колективна монографія /за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: ТЕС, 2018. 548 с.
16. Державна служба статистики України. Головне управління статистики у Тернопільській області. Сільське господарство. Рослинництво URL: https://www.te.ukrstat.gov.ua/statinfoSG.html.

УДК 631.95
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.12

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ТА ВИРОБНИЦТВА В ЄС ТА В ОКРЕМИХ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇНАХ

Чернишенко Г.О., Єрмакович І.А.
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
вул. Іоанна Павла ІІ, 17, 01042, м. Київ
anna.pavl.cher@gmail.com, i.ermakovich@snu.edu.ua

Стаття присвячена дуже актуальній на сьогодні темі – сучасному розвитку органічного землеробства та органічного виробництва. Розкривається суть поняття "органічне землеробство", надається інформація про історію становлення цього напрямку у сільському господарстві, аналізуються його переваги і недоліки, розглянуто сучасний стан та стратегічні перспективи розвитку органічного землеробства та органічного виробництва у Європейському Союзі. Окрема увага приділяється органічному виробництву у Німеччині, як країні-локомотиві ЄС: порівнюється його сучасний розвиток у країні на фоні загальноєвропейського, аналізуються проблеми та перспективи.

В європейських країнах надзвичайна увага приділяється створенню та підтриманню здорових та безпечних умов життя населення. Обов'язковим компонентом якісного рівня життя є збереження екологічно чистого навколишнього середовища, дотримання стандартів якості питної води, повітря, продуктів харчування. Сучасне сільське господарство є потужним фактором забруднення довкілля та погіршення здоров'я населення через інтенсивне використання мінеральних добрив і пестицидів, надмірне споживання природних ресурсів, руйнування природних ландшафтів і біорізноманіття. Перехід на нові методи і технології землеробства та скотарства, екологічно безпечніші, "лагідніші" до довкілля і водночас економічно доцільні є глобальною проблемою, яку треба негайно вирішувати. Країни ЄС рухаються в авангарді цього процесу. Розвиток органічного виробництва, збільшення частки земель під органічними господарствами та продукції, яку вони виробляють, не лише субсідується урядами країн, але й має широку підтримку усіх верств населення, зокрема, через збільшення попиту на органічні продукти. І як показано у статті, цей процес набирає обертів, незважаючи на економічні та інші складнощі. Розвиток органічного сільського господарства мав місце ще у минулому столітті, а з 2010-х років суттєво прискорився.

У 2020-х рр. подальше впровадження та розвиток органічного сільського господарства в ЄС мають чітку стратегію, що закріплюється у законодавчих документах. На загальноєвропейському рівні провідними директивами з цього питання є "План дій щодо розвитку органічного виробництва", Європейська стратегія «від ферми до столу» тощо. Окремі країни розробляють власні програми розвитку органічного виробництва. Наприклад, в Німеччині це "Органічна стратегія 2030". *Ключові слова:* органічне землеробство, органічна продукція, екологічна стратегія ЕС, сільське господарство Німеччини, екологічна стратегія Німеччини**.**

Prospects for the development of organic farming and production in the EU and individual European countries. Chernyshekno H., Yermakovych I.

This article addresses the highly relevant issue of the modern development of organic farming and organic production. The author clarifies the concept of "organic farming," provides a historical overview of its evolution, and analyzes its benefits and drawbacks. Additionally, the article examines the current status and strategic outlook for organic farming and production within the European Union, with a particular focus on Germany as a leading example. By comparing Germany's advancements with broader European trends, the author highlights both challenges and future opportunities in the sector.

The article underscores that European countries prioritize creating and maintaining healthy and safe living conditions, emphasizing the importance of an ecologically clean environment and adherence to strict water, air, and food quality standards. Modern agricultural practices, characterized by the intensive use of chemical fertilizers and pesticides, excessive consumption of natural resources, and damage to natural landscapes and biodiversity, contribute significantly to environmental pollution and public health issues. Addressing these issues requires an urgent shift toward more sustainable farming and livestock practices that balance environmental protection with economic viability. EU countries are at the forefront of promoting this transition.

Government support and widespread public interest, driven by increasing consumer demand for organic products, have fueled the growth of organic farming across Europe. This trend, which gained momentum in the 20th century and accelerated in the 2010s, continues to thrive despite economic and logistical challenges. In the 2020s, the EU has solidified its commitment to organic agriculture through legislative measures and strategic frameworks such as the Action Plan for the Development of Organic Production and the Farm to Fork Strategy. Individual member states, like Germany, have also developed national initiatives, exemplified by Germany's Organic Strategy 2030, to enhance and expand organic production further. *Key words:* organic farming, organic products, EU environmental strategy, German agriculture, German environmental strategy.

Постановка проблеми. Органічне землеробство – це екологічно чистий, бережливий до тварин і ресурсозберігаючий вид сільського господарства.

У пункті 1 Постанови ЄС 2018/848 йдеться про те, що «органічне виробництво – це загальна система господарювання та виробництва харчових продуктів, що поєднує в собі найкращі екологічні та кліматичні практики, високий рівень біорізноманіття, збереження природних ресурсів і застосування високих стандартів благополуччя тварин

та високих стандартів виробництва відповідно до вимог зростаючої кількості споживачів до продуктів, вироблених із використанням натуральних речовин і процесів» [1].

Ділянки, на яких практикується органічне землеробство, мають показник біорізноманіття приблизно на 30% більше, ніж землі, на яких ведеться традиційне землеробство. На таких ділянках заборонено використовувати хімічні пестициди і синтетичні добрива. Крім того, в органічному землеробстві та тваринництві заборонено застосовувати технології, пов'язані з використанням досягнень генної інженерії та іонізуючого випромінювання, а застосування антибіотиків суворо обмежене [2].

Роком народженням органічного землеробства вважається 1924 рік. Рудольф Штайнер, відомий також як ініціатор вальдорфської педагогіки та антропософської медицини, дав перші вказівки на метод біодинамічного землеробства, який узагальнено представлений під торговою маркою Demeter. У 1930-х роках Ганс Мюллер спробував розробити методи органічного та біологічного землеробства. В обох випадках органічне землеробство припускало по можливості замкнений матеріальний цикл, при цьому особлива увага приділялася родючості ґрунту [3]. Пропонувалося вести сільське господарство на базі таких методів як використання гною тварин, компостування, сівозміни та біологічно засоби боротьбі з шкідниками. Ще до цього, на початку 1900-х років положення органічного землеробства були представлені в роботах А. Говарда.

Надалі у 1940-х роках Дж. І. та Р. Родейли видавали журнал «Органічне садівництво та фермерство» та ряд текстів з питань органічного землеробства. Попит на органічну їжу був стимульований у 1960-х роках публікацією журналу «Мовчазна весна» Рейчел Карсон, яка задокументувала ступінь шкоди навколишньому середовищу, спричиненої інсектицидами [4].

Органічне сільське господарство регулюється законодавством на рівні ЄС з 1991 року. Спочатку це були стандарти для сільськогосподарської продукції рослинного походження, а 1993 року до них додався збір дикорослих рослин. З 2000 року також регулюються стандарти для тваринництва. Правила органічного маркування рослинної та тваринної аквакультури було включено до регламенту 2009 року, а у квітні 2010 року було запроваджено новий органічний логотип ЄС. З 2012 року органічні стандарти для органічного виноробства також є частиною керівних принципів ЄС.

Основний регламент і поправки до нього містять правила переведення ферми на органічне землеробство, а також регулюють імпорт продуктів органічного землеробства з країн, що не входять до ЄС.

Органічні ферми повинні проходити планові перевірки раз на рік. Це здійснюється незалежними інспекційними органами, які потребують державного дозволу та підлягають контролю з боку відповідних державних органів [3].

Нове законодавство, що стосується органічного сектору, було запроваджено з 2022 року. Воно має відповісти на виклики, що виникають у зв'язку зі швидким розвитком органічного сільського господарства, шляхом створення більш ефективної правової бази для цієї галузі [2].

На сьогодні у європейському законодавстві встановлено такі мінімальні критерії органічного землеробства:

– відмова від застосування генної інженерії;
– відмова від використання хіміко-синтетичних пестицидів і легкорозчинних мінеральних добрив разом із вирощуванням стійких сортів;
– зелене підживлення за допомогою рослин, що накопичують азот, і використання повільно діючих натуральних добрив;
– підтримання родючості ґрунту за рахунок вираженого гумусового режиму;
– різноманітні сівозміни з проміжними культурами;
– відмова від використання синтетичних хімічних регуляторів росту та гормонів;
– обмежене поголів'я худоби, чітко прив'язане до території;
– годування тварин органічними і, за можливості, вирощеними в домашніх умовах кормами, мала кількість покупних кормів;
– широка відмова від антибіотиків;
– відсутність опромінення продуктів харчування під час виробництва органічної їжі;
– суворі обмеження на використання добавок [3].

Мета дослідження. Оцінити сучасний стан розвитку органічного сільського господарства у Європейському Союзі, проблеми та перспективи, акцентуючи увагу на задіяності в цьому процесі Німеччини як найпотужнішої країни ЄС.

Виклад основного матеріалу. Результати дослідження. У 2019 році 8,5% сільськогосподарських земель ЄС перебували під органічним землеробством. Це становить 13,8 мільйона гектарів порівняно з 9,5 мільйона гектарів у 2012 році, що на 45,8% більше. Згідно зі статистикою Eurostat, що стосується органічного землеробства, найбільшу площу сільськогосподарських земель відведено в Іспанії (2,4 млрд га, 17,4% від загального обсягу органічного землеробства ЄС), Франції (2,2 млрд га, 16,2% від загального обсягу ЄС), Італії (2,0 млрд га, 14,5% від загального обсягу) та Німеччині (1,3 млрд га, 9,4% від загального обсягу ЄС) [5].

Частка сільськогосподарських земель, зайнятих органічним виробництвом, для окремих країн ЄС на цей же період представлена на рис. 1.

У всьому ланцюжку створення вартості в ЄС діють майже 344000 виробників органічної продукції та понад 78000 переробників органічної продукції. У 2019 році обсяг ринку екопродукції в ЄС

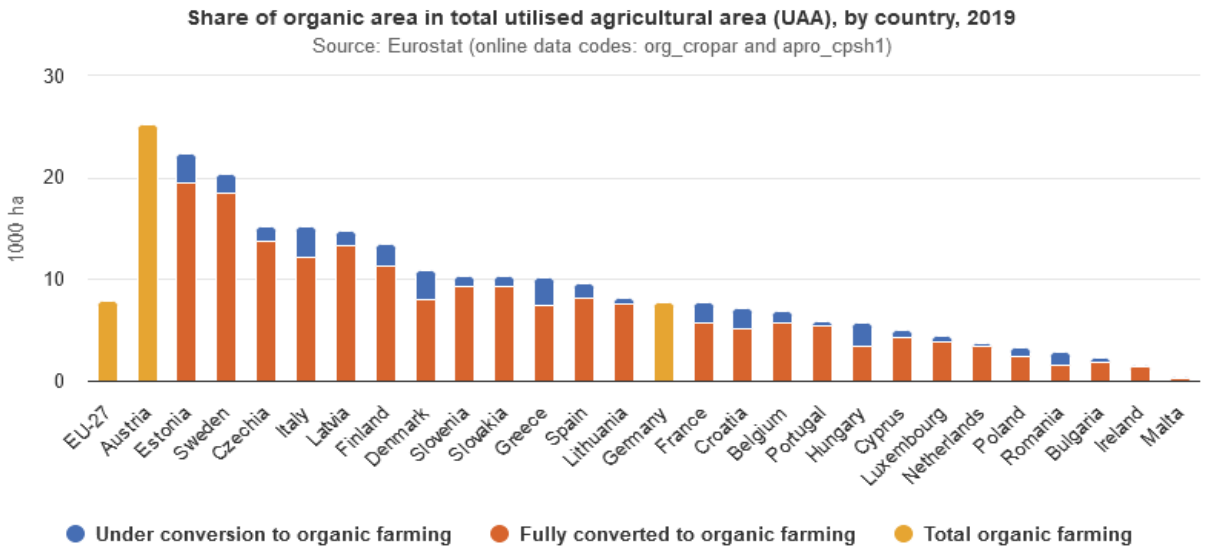


Рис. 1. Доля земель під органічним землеробством у загальному сільськогосподарському земельному фонді європейських країн, % [2]

становив 38,8 мільярда євро при світовому ринку в 106,4 мільярда євро, що є другим показником після ринку США, на який припадає 48,2 мільярда.

За статистикою FIBL, серед європейських країн найбільшими ринками є Німеччина (12,0 мільярда євро) і Франція (11,3 мільярда євро). Споживчі витрати на органічні продукти на душу населення найвищі в Данії (344 євро або 12% закупівель) і Люксембурзі (264 євро або 8% закупівель) [5].

Громадяни ЄС дедалі більше цінують органічні продукти. За даними опитування «Євробарометр» 2020 року про сільське господарство ЄС, громадяни вважають, що органічні продукти з більшою ймовірністю відповідають спеціальним правилам щодо пестицидів, добрив і антибіотиків (82% погодилися), є більш екологічними (81%) і виробляються з більшою повагою до благополуччя тварин (80%). Також зростає інформованість споживачів про органічний логотип ЄС. За даними цього ж опитування, 56% громадян впізнають логотип органічної продукції, порівняно з 27% у 2017 році [6].

Протягом минулого десятиліття обсяг роздрібних продажів органічних продуктів зріс більш ніж на 128% – з приблизно 18 млрд євро 2009 року до 41 млрд євро 2019 року. У середньому кожен європеєць витрачає на органічні продукти близько 84 євро на рік [2].

У березні 2021 року вищими органами Європейського союзу було ухвалено «План дій щодо розвитку органічного виробництва» [7]. Він опирається на досягнення плану дій на 2014-20 роки і враховує результати громадських консультацій з органічного виробництва, які проводилися з вересня по листопад 2020 року. У цьому плані Європейська комісія поставила конкретні завдання, зокрема, до 2030 року охопити органічним землеробством щонайменше 25% сільськогосподарських земель ЄС і значно збільшити обсяг органічної аквакультури.

Головною причиною, що уповільнює розвиток органічного землеробства, можна вважати економічний фактор. Традиційні фермери, що насичують грунт синтетичними добривами разом із його глибоким оранням та широко використовують отрутохімікати проти біологічних конкурентів, зазвичай збирають набагато більше врожаю. Це дозволяє їм отримувати достатні прибутки із меншими зусиллями та виставляючи на ринок свою продукцію за більш дешевою ціною. Дійсно, органічні рослинні та тваринні продукти коштують дорожче та потребують більше зусиль для вирощування. Причому не лише матеріальних, але й фізичних вкладень. У сучасних демографічних умовах важливим фактором є і необхідність вирощування великої кількості продуктів харчування для вирішення продовольчих проблем.

Але головні здобутки традиційного сільського господарства – кількість та порівняна дешевизна продукції – є дійсно перевагами лише на короткій дистанції. У тривалій перспективі саме органічне виробництво, що прагне мінімізувати навантаження на довкілля, обережно використовує природні ресурси та постачає більш якісну та корисну для здоров'я продукцію, має беззаперечну перевагу.

Для порівняння, органічне землеробство потребує від третини до половини менше поживних речовин, ніж традиційне. Це показав довгостроковий експеримент, що проводився протягом двадцяти років у Швейцарії. Хоча врожайність з гектара була

в середньому на п'яту частину нижчою, у підсумку енергетичний баланс виявився на користь органічного землеробства.

Якщо взяти за еталон не врожайність, а методи вирощування, то виявиться, що органічне землеробство може бути таким же продуктивним, як і звичайне. Це довели вчені з Каліфорнійського університету в метадослідженні, в якому вони порівняли 115 досліджень із понад 1000 наборів даних. Згідно з дослідженням, розрив між двома системами скорочується до 8-9 відсотків, якщо вирощування ведеться в сівозміні або в змішаній культурі. При вирощуванні бобових культур, таких як горох, квасоля або сочевиця, врожайність навіть зрівнялася. Провідний автор дослідження Лорен Понсіо робить висновок, що розрив у врожайності можна скоротити або навіть ліквідувати за рахунок більш інтенсивних досліджень стійких форм вирощування [8].

Екологічна політика Європейського Союзу та окремі її напрями об'єднує у собі досягнення в цій галузі окремих його членів. Кожна європейська країна обирає власну стратегію у рамках загальноєвропейського правового поля, і розвиток екологічно орієнтованих галузей в них має свої особливості. Розглянемо більш детально сучасний розвиток органічного виробництва у Німеччині. Вона відноситься до найбільших за територією європейських країн та є на сьогодні одним зі світових економічних лідерів. Щодо переорієнтації промисловості, сільського господарства в екологічному напрямку, то ця країна виступає як локомотив ЄС.

Якщо Європейська стратегія «від ферми до столу» закликає до того, щоб до 2030 року щонайменше 25% сільськогосподарських земель у ЄС оброблялися органічним способом, то Німеччина пішла ще далі. У коаліційній угоді 2021 року федеральний уряд поставив перед собою мету досягти 30% органічного сільського господарства до 2030 року [9].

Більше половини екологічних господарств у Німеччині не тільки «керують» своїми господарствами відповідно до мінімальних стандартів ЄС для органічного землеробства, а й є членами однієї з асоціацій органічного землеробства. Це означає, що майже 70% сільськогосподарських угідь, що функціонують за органічними стандартами, обробляються відповідно до більш суворих критеріїв органічного землеробства, прийнятих у різних фермерських асоціаціях (дані за 2011 рік).

У Німеччині органічним землеробством займаються такі організації, як Bioland, Naturland, Demeter, Biokreis, Biopark, Gäa, Verbund Ökohöfe, Ecovin та Ecoland. Керівні принципи німецьких асоціацій органічного землеробства відповідають критеріям Регламенту ЄС з органічного сільського господарства і в деяких моментах є більш суворими [3, 9].

У червні 2002 року була заснована Федерація органічної харчової промисловості (Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft – BÖLW). Її метою є сприяння розвитку органічного сільського господарства у співпраці з широким колом учасників із фермерських асоціацій, харчової промисловості та торгівлі.

Сьогодні великий вибір органічних продуктів можна знайти в багатьох супермаркетах, на ринку, в магазинах органічних і натуральних продуктів, у фермерських магазинах або безпосередньо у фермерів. Як правило, слово «органічний» або «екологічний» не можна довільно використовувати щодо продуктів харчування. Лише виробники, які виконують вимоги Постанови ЄС про органічну продукцію та проходять інспекції, мають право продавати свою продукцію як «органічну» або «екологічну». Це означає, що якщо на етикетці написано «organic», то вона також містить «organic».

Крім того, органічні продукти, вироблені або упаковані в Німеччині, повинні мати на етикетці кодовий номер відповідального інспекційного органу, наприклад, «DE-001-Öko-Kontrollstelle» [3].

Із середини 1990-х років кількість посівних площ у країні, зайнятих органічним землеробством, повільно й неухильно збільшувалися. У 2020 році 35396 підприємств у Німеччині (13,5% усіх сільськогосподарських підприємств) управляли сільськогосподарською площею 1,7 млн га або часткою площі 10,3% за правилами органічного землеробства (BMEL 2021). Останні дані показують подальше зростання. У 2022 році 36 912 ферм (14,2% від усіх ферм) органічно обробляли площу 1 859 842 га. Це відповідає частці 11,2% сільськогосподарських площ Німеччини [9].

Для порівняння, у 2011 році в Німеччині органічним землеробством було зайнято трохи більше 1 млн. гектарів (~ 6,1% сільськогосподарських угідь). Порівняно з попереднім роком зростання становило лише 2,3 відсотка, тоді як з 2009 по 2010 рік – 5,4 відсотка [3].

Органічне сільське господарство має різне значення у федеральних землях. Під час основного обстеження землекористування 2020 року та сільськогосподарського перепису 2020 року Федеральне статистичне управління виявило більші площі земель для органічного землеробства в Саарі (18,0%), у Гессені (14,9%), у Бранденбурзі (13,2%) і в Баден-Вюртемберзі. (12,3%). Значно менше площ оброблялося органічним способом у Нижній Саксонії (4,7%), землі Північний Рейн-Вестфалія (5,7%) і Тюрінгії (6,5%).

На 2022 рік за даними Федерального міністерства продовольства та сільського господарства (BMEL) показали високу частку територій, що перебувають під органічним землеробством, в Саарі (20,7%), Гессені (16,5%), Баден-Вюртемберзі (14,5%) і Бранденбурзі (16,7%), а в Нижній Саксонії (5,7%), Північному Рейн-Вестфалії (6,3%) та Тюрінгії (7,6%) нижчу за середній показник по країні (BLE 2022, власний розрахунок) [9].

Екологічна політика уряду в європейських країнах і тенденції економічного розвитку, звичайно, орієнтуються на підтримку широких верств населення, мають враховувати думку громадян. І тут ми бачимо неухильне зростання популярності екологічного підходу до споживання продуктів харчування, усвідомлення необхідності здорового способу життя та збереження довкілля.

Попит на екологічно чисті продукти харчування зростає величезними темпами. Продажі органічних продуктів харчування в Німеччині зросли з 1,5 млрд євро (мільярда євро) до 15,3 млрд євро з 1997 по 2022 рік (BÖLW 2023). Попит у 2022 році впав на 3,5% порівняно з попереднім 2021 роком, але збільшився на 25% порівняно з 2019 роком до пандемії [9]. І власне сільське господарство на ним не встигає. Наприклад, у 2011 році кожне друге органічне яблуко і майже кожна друга органічна морква були імпортовані [3].

Для отримання прямого зворотного зв'язку від населення з конкретного політичного питання німецький уряд – Бундестаг часто проводить опитування громадської думки, а також використовує громадянські асамблеї, учасники обираються випадковим чином серед усіх жителів Німеччини віком від 16 років і старше. Метою зборів громадян є підготовка громадянського звіту з конкретними рекомендаціями щодо дій.

У лютому 2024 року Бундестагу був представлений звіт від громадянської асамблеї за темою «Харчування в перехідний період: між приватною справою та державною відповідальністю». Основні проблеми, що турбують громадян за цим звітом – це тема добробуту тварин, кліматично-орієнтоване харчування та запровадження стандартизованого та обов'язкового державного маркування для всіх продуктів, що продаються в ЄС. Відповідно до стратегії уряду, учасники виступили за постійне просування щонайменше 30 відсотків органічних продуктів для харчування у дитячих садках та школах.

Члени Громадянських Зборів також хотіли б бачити більше прозорості щодо умов життя та походження тварин, які забиваються заради м'яса та м'ясних продуктів. Вони рекомендують обов'язкове, контрольоване державою та цілісне маркування добробуту тварин, яке має відображати весь життєвий цикл тварини. Крім того, рекомендується запровадити спеціальний податок на споживання м'яса та продуктів тваринного походження, щоб сприяти переобладнанню та будівництву стійл для худоби, покращення умов їх утримання. На відміну від м'яса, ПДВ на фрукти та овочі, бобові, горіхи та цільнозернові продукти, а також мінеральну та столову воду має бути встановлений на нульовому рівні. Далі члени німецького Бундестагу вирішують, чи будуть і якою мірою реалізовані рекомендації звіту громадян [10].

Висновки.

1. Заміна традиційного землеробства на органічне є важливим інструментом покращення екологічної ситуації та зниження забруднення навколишнього середовища, але сучасний темп його розвитку є, на жаль, недостатнім. Навіть у Німеччині при досягненні цілей Органічної стратегії 2030 70% сільськогосподарських земель, як і раніше, будуть оброблятися традиційним способом. Для досягнення національних екологічних цілей традиційне сільське господарство також має стати більш екологічно чистим.

2. Оскільки високий попит перевищує внутрішнє виробництво, роздрібні торговці імпортують органічні продукти. Якби цей попит задовільнявся виробництвом всередині країни, можна було б уникнути негативного впливу транспорту на навколишнє середовище і задовольнити попит на регіональну продукцію – з позитивним впливом на природу і навколишнє середовище.

3. Перехід на органічне землеробство для багатьох європейських фермерів дуже дорогий і дуже ризикований, особливо у перші роки. Державне фінансування недостатньо велике, щоб достатньо пом'якшити фінансові ризики, а конкуренція з-за кордону зростає. Але в очікуваній перспективі фермери-органіки отримуватимуть більшу вигоду від цінових надбавок, які органічні продукти отримують на ринку, і від швидко зростаючого попиту кінцевих споживачів на органічні продукти.

Література

1. Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018R0848 (дата звернення 21.03.2024)
2. Organic action plan. Agriculture and rural development. URL: https://agriculture.ec.europa.eu/farming/organic-farming/organic-action-plan_en (дата звернення 21.04.2024)
3. Vorteile des Ökolandbaus. Basisinfos zur ökologischen Bewirtschaftungsform. URL: https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/landnutzung/ landwirtschaft/anbaumethoden/oekolandbau/oekolandbau.html (дата звернення 3.07.2024)
4. Органічне землеробство. Jodoinstitute.com URL: https://uk.jodoinstitute. com/1145-organic-farming (дата звернення 3.07.2024)
5. EU Organic Awards 2024: Jetzt bewerben! URL: https://www. oekolandbau.de/landwirtschaft/betrieb/wettbewerbe-und-foerderpreise/eu-organic-awards-2024-jetzt-bewerben/ (дата звернення 19.03.2024)
6. Public opinion on the common agricultural policy. URL: https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance/eurobarometer_en (дата звернення 20.04.2024)

7. Document 52021DC0141. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions empty. On an action plan for the development of organic production. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52021DC0141 (дата звернення 07.07.2024)
8. Stillt „Bio“ den Hunger der Welt? URL: https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/landnutzung/landwirtschaft/anbaumethoden/oekolandbau/23492.html (дата звернення 20.04.2024)
9. Ökologischer Landbau – 07.08.2023. URL: https://www.umweltbundesamt. de/daten/land-forstwirtschaft/oekologischer-landbau#okolandbau-in-deutschland (дата звернення 20.04.2024)
10. Empfehlungen für Verpflegung in Kita und Schule – 15.03.2024. URL: https://www.oekolandbau.de/ausser-haus-verpflegung/bildung-und-beratung/empfehlungen-fuer-verpflegung-in-kita-und-schule/ (дата звернення 3.07.2024)

УДК 001.85:623
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.13

НАПРЯМИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ЯК ТЕМИ БІБЛІОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ НАУКОМЕТРИЧНОЇ БАЗИ ДАНИХ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ WEB OF SCIENCE

Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Валерко Р.А.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
gerasim4uk@ukr.net

Дослідження має на меті охопити вивчення питання гуманітарного розмінування у реферативній наукометричній базі даних наукових публікацій Web of Science за період 1996 – 2024 рр. Інформаційною базою досліджень стала наукометрична база даних наукових публікацій Web of Science за ключовими словами «humanitarian demining». Проведений аналіз наукометричної бази Web of Science Core Collection за запитом «humanitarian demining» дозволив проаналізувати наукові публікації за типами, індексом цитувань, а також виокремити десятку лідерів за мезо- та мікротемами цитування, серед авторів та їх приналежністю до наукових установ і наукових підрозділів (кафедр), за країнами, категоріями, напрямками досліджень та Цілями сталого розвитку. У наукометричній базі Web of Science Core Collection знайдено 460 результатів за запитом «humanitarian demining», найбільша кількість яких у 2003 р. (7,2%). Серед типів наукових публікацій переважають матеріали конференцій (64,1%), статті (38,5%) та розділи книг (3,3%); за індексом цитувань – CPCI-S (63,3%), SCI-EXPANDED (27,4%), ESCI (5,87%); за мезотемами цитування – 8.212 (сенсори та томографія) (34,6%), 4.116 (робототехніка) (13,04%), 4.61 (штучний інтелект і машинне навчання) (5,4%), за мікротемами – 8.212.652 (георадар) (31,7%), 4.116.1097 (двоногий робот) (11,09%), 5.135.1550 (нейтронна спектрометрія) (3,91%); серед науковців найбільшу кількість публікацій за даним напрямом має Sato M. (4,35%); за приналежністю авторів до наукових установ лідирує університет Тохоку (4,57%) та його Центр досліджень (2,2%); за країнами – США (18,7%), Японія (12%), Італія (11,1%); за категоріями WoS – інжиніринг, електротехніка, електроніка (31,96%), дистанційне зондування (17,4%), робототехніка (16,5%); за напрямками досліджень – інженерія (48,04%), комп'ютерні науки (18,7%), дистанційне зондування (17,39%); за Цілями сталого розвитку – ЦСР06 (Чиста вода та належні санітарні умови) (32%), ЦСР11 (Сталий розвиток міст та спільнот) (18,9%), ЦСР03 (Міцне здоров'я і благополуччя) (12,6%). Проведене дослідження дозволило систематизувати накопичені наукові знання з теми гуманітарного розмінування, що сприяє кращому розумінню основних тенденцій та ключових тем, на які необхідно спрямувати майбутні наукові зусилля, що особливо важливо для подальших досліджень. *Ключові слова:* гуманітарне розмінування, реферативна наукометрична база даних наукових публікацій Web of Science, типи наукових публікацій, індекс цитувань, напрямки досліджень, Цілі сталого розвитку.

Directions and trends in humanitarian demining as a topic for bibliometric analysis of the Web of Science scientometric database of scientific publications. Herasymchuk L., Patseva I., Valerko R.

The research aims to cover the study of humanitarian demining in the abstract scientometric database of scientific publications of Web of Science for the period 1996 – 2024. The information base of the research was the scientometric database of scientific publications of Web of Science using the keywords «humanitarian demining». The analysis of the Web of Science Core Collection scientometric database for the query «humanitarian demining» allowed us to analyze scientific publications by types, citation index, and to identify the top ten leaders in citation topics meso and micro, among authors and their affiliations with departments, by countries, categories, research areas and the Sustainable Development Goals. The Web of Science Core Collection scientometric database contains 460 results for the query "humanitarian demining", the largest number of which was in 2003 (7.2%). Among the types of documents, conference proceedings (64.1%), articles (38.5%), and book chapters (3.3%) prevail; by WoS index – CPCI-S (63.3%), SCI-EXPANDED (27.4%), ESCI (5.87%); by citation topics meso – 8.212 (sensors and tomography) (34.6%), 4.116 (robotics) (13.04%), 4. 61 (artificial intelligence and machine learning) (5.4%), by citation topics micro – 8.212.652 (georadar) (31.7%), 4.116.1097 (bipedal robot) (11.09%), 5.135.1550 (neutron spectrometry) (3.91%); among sauthors, Sato M. has the largest number of publications in this area. (4.35%); by authors' affiliation to scientific institutions, Tohoku University (4.57%) and its Research Center (2.2%) are in the lead; by countries – USA (18.7%), Japan (12%), Italy (11.1%); by WoS categories – engineering, electrical engineering, electronics (31.96%), remote sensing (17.4%), robotics (16.5%); by research areas – engineering (48.04%), computer science (18.7%), remote sensing (17.39%); by Sustainable Development Goals – Goal 06 (Clean water and adequate sanitation) (32%), Goal 11 (Sustainable cities and communities) (18.9%), Goal 03 (Good health and well-being) (12.6%). The study made it possible to systematize the accumulated scientific knowledge on humanitarian demining, which contributes to a better understanding of the main trends and key topics to be addressed in future research efforts, which is especially important for further research. *Key words:* humanitarian demining, Web of Science abstract scientometric database of scientific publications, document types, citation index, research areas, Sustainable Development Goals.

Постановка проблеми. Проблематика теми гуманітарного розмінування стає дедалі актуальнішою у зв'язку зі зростанням кількості постконфліктних територій та масштабами замінування. Триваючі військові дії високої інтенсивності зумовлюють значну небезпеку як цивільному населенню, інфраструктурі, так і довкіллю, перешкоджаючи його відновленню [1, 2, 4, 5, 7, 8], а також обумовлюють унікальність розмінування території України. Практика систематичного ретельного гуманітарного розмінування – необхідна передумова сталого управління навколишнім природним середовищем в подальшому на постконфліктних територіях, адже дозволить запобігти та мінімізувати деградації ґрунтів, земельних ресурсів, біорізноманіття, їх забруднення, викиди забруднюючих речовин, що можуть навіть сприяти зміні клімату [3, 6], а також сприяти збереженню природних ресурсів.

Актуальність дослідження з теми гуманітарного розмінування обумовлена серйозними загрозами, які несуть заміновані території для життя і безпеки людей, а також для відновлення постконфліктних регіонів. Проблема розмінування є критично важливою для багатьох країн, що зазнали впливу збройних конфліктів [11, 12, 14, 15], і потребує як оперативних практичних рішень, так і глибоких наукових досліджень для розробки нових підходів до мінної безпеки. У зв'язку з цим, бібліометричний аналіз наукових публікацій з бази даних Web of Science дозволяє визначити ключові тенденції та вектори розвитку досліджень у сфері гуманітарного розмінування. Такий аналіз дозволяє не тільки виявити основні напрями досліджень та найвпливовіші наукові роботи, але й зрозуміти ступінь інтеграції знань, що може сприяти поширенню найефективніших практик і технологій у цій сфері.

Таким чином, актуальність цього дослідження полягає в необхідності наукового обґрунтування стратегій гуманітарного розмінування, підвищення обізнаності про сучасні досягнення та прогалини у цій сфері, а також у формуванні ефективної наукової бази для підтримки міжнародних ініціатив із забезпечення мінної безпеки.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторський доробок у сфері бібліометричного аналізу гуманітарного розмінування є важливим внеском як у наукові, так і в практичні завдання, пов'язані з безпекою та відновленням постконфліктних територій. Результати дослідження з наукової точки зору допоможуть створити базу для подальших досліджень, спрямованих на розробку нових технологій і методів розмінування, а також підвищать якість і точність аналізу наявної літератури; з практичної точки зору – дозволить ідентифікувати прогалини у дослідженнях, що можуть гальмувати розвиток ефективних заходів з розмінування. Результати такого аналізу можуть стати основою для розробки рекомендацій і стратегій щодо гуманітарного розмінування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження з теми гуманітарного розмінування висвітлюють широке коло проблем, пов'язаних із ризиками для цивільного населення, технічними та екологічними аспектами розмінування. У наукових роботах приділяється увага розробці нових технологій виявлення та знешкодження мін (Zyada Z. et al., 2007; Sato M., Kikuta K., 2009), а також удосконаленню стратегій безпеки для зони конфлікту (Kostelnick J. et al., 2008). Аналіз наукових публікацій демонструє значну увагу до таких напрямів, як виявлення мін, використання штучного інтелекту для аналізу ризиків, а також залучення безпілотних технологій (Camacho-Sanchez C. et al., 2023; Hassan M. et al., 2024). Відзначено важливість швидкого очищення територій для запобігання довготривалим наслідкам, негативний вплив мін на безпеку населення і довкілля, а також складність його відновлення (Pedraza D., 2023; Robinson T., O'Keeffe R., 2019; Герасимчук Л. та ін., 2024).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна досліджень. Незважаючи на стратегічне значення гуманітарного розмінування, зокрема для збереження людських життів та підтримки сталого розвитку, систематичний науковий аналіз на цю тему досі залишається обмеженим, що й обумовило вибір даного напрямку досліджень.

Методологічне значення. Інформаційною базою досліджень стала реферативна наукометрична база даних наукових публікацій Web of Science (WoS) за ключовими словами «humanitarian demining». На основі цього запиту було сформовано набір наукових публікацій, що охоплює період досліджень 1998–2024 рр. Знайдені наукові публікації за темою гуманітарного розмінування аналізувалися за такими аспектами: типи, індекс цитувань, мезо- та мікротеми цитування, автори та їх приналежність до наукових установ і підрозділів, країни, назвами видання, категорії WoS, напрямки досліджень, Цілі сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу. У наукометричній базі Web of Science Core Collection знайдено 460 результатів за запитом «humanitarian demining».

В розрізі 1996 – 2024 рр. найбільша кількість публікацій за даними ключовими словами у 2003 р. – 33 (або 7,2%). У 2005 р. було опубліковано 29 (6,3%), 2006 р. – 26 (5,7%), 2004 р. і 2016 р. – 24 (5,2%), 2024 р. – 11 (2,4%) таких наукових праць (рис. 1).

Проведений аналіз наукометричної бази Web of Science Core Collection за запитом «humanitarian demining» дозволив поділити наукові публікації за типами, індексом цитувань, цілями сталого розвитку, тематикою, а також виокремити десятку лідерів за мезо- та мікротемами цитування, серед авторів та їх приналежністю до наукових установ і наукових підрозділів (кафедр), за країнами і категоріями (рис. 2).

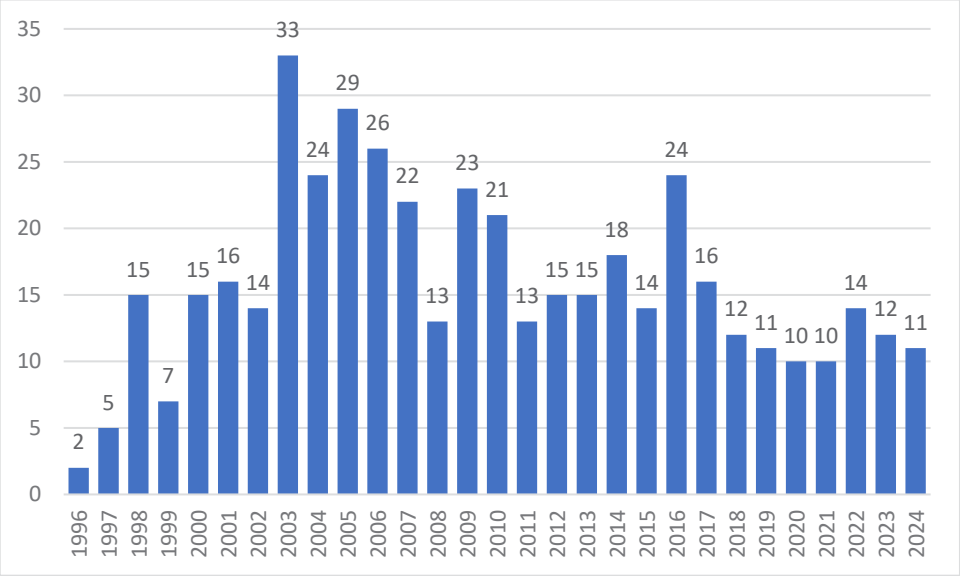


Рис. 1. Кількість публікацій у наукометричній базі Web of Science Core Collection за запитом «humanitarian demining» за період 1998–2024 рр.

Серед типів наукових публікацій наявні матеріали конференцій – 295 (64,1%), статті – 177 (38,5%), розділи книг – 15 (3,3%), оглядові статті – 5 (1,09%), редакційні матеріали – 2 (0, 44%), книга – 1 (0,22%), ранній доступ – 1 (0,22%), відкликана публікація – 1 (0,22%) (рис. 2*а*).

За індексом цитувань Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S) проіндексовано 291 публікації (63,3%), Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) – 126 (27,4%), Emerging Sources Citation Index (ESCI) – 27 (5,87%), Social Sciences Citation Index (SSCI) – 19 (4,13%), Book Citation Index – Science (BKCI-S) – 14 (3,04%), Arts & Humanities Citation Index (A&HCI), Conference Proceedings Citation Index – Social Science & Humanities (CPCI-SSH) – 9 (1,96%), Book Citation Index – Social Sciences & Humanities (BKCI-SSH) належать 2 публікації (0,44%) (рис. 2б).

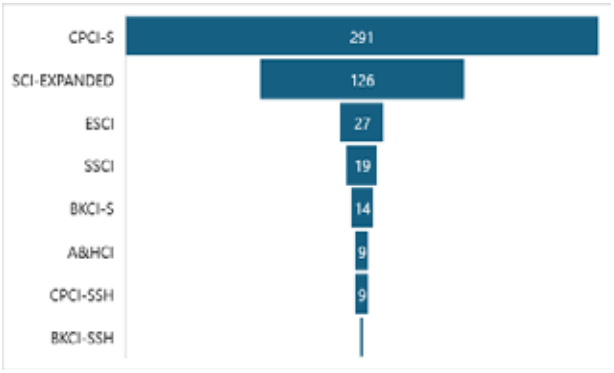
Десятку лідерів за мезотемами цитування складають: 8.212 (сенсори та томографія) – 159 (34,6%), 4.116 (робототехніка) – 60 (13,04%), 4.61 (штучний інтелект і машинне навчання) – 25 (5,4%), 5.135 (ядерна фізика) – 18 (3,91%), 4.29 (системи автоматизації та управління) – 14 (3,04%), 4.58 (бездротові технології) – 12 (2,61%), 4.169 (дистанційне зондування) – 10 (2,17%), 4.84 (ланцюг постачання та логістика) – 9 (1,96%), 7.262 (вибухові речовини) – 8 (1,74%), 1.134 (травма та невідкладна хірургія) – 7 (1,52%) (рис. 2в); за мікротемами – 8.212.652 (георадар) – 146 (31,7%), 4.116.1097 (двоногий робот) – 51 (11,09%), 5.135.1550 (нейтронна спектрометрія) – 18 (3,91%), 4.61.1335 (самоорганізаційні карти) – 13 (2,83%), 4.29.435 (багатоагентні системи) – 11 (2,39%), 8.212.547 (сейсмічні дані) – 9 (1,96%), 7.262.2024 (TNT) – 8 (1,74%), 1.134.1839 (госсибіома), 4.84.1632 (розташування об’єкта) – по 7 (1,52%), 4.116.133 (одночасна локалізація та картографування) – 6 (1,30%) (рис. 2г).

Серед науковців найбільшу кількість публікацій за даним напрямом мають Sato M. – 20 (4,35%), Fukushima E.F., Hirose S., Acheroy M., Das Y. – по 12 (2,61%), Armada M., Baudoin Y., De Santos P.G. – по 10 (2,17%), Capineri L., Montes H. – по 9 (1,96%).

Розподіл наукових публікацій за приналежністю авторів до наукових установ виглядає наступним чином: університет Тохоку – державний університет у Японії (Tohoku University) – 21 (4,57%), Вища рада з наукових досліджень (CSIC) – державний орган Іспанії (Consejo Superior de Investigaciones Cientificas CSIC) – 18 (3,91%), університет у столиці Хорватії місті Загребі (University of Zagreb) – 20 (4,35%), Токійський технічний університет (Tokyo Institute of Technology), Інститут науки Токіо (Institute of Science Tokyo) – державні університети Японії – по 15 (3,26%), Делфтський технічний університет – найстаріший та найбільший технічний університет в Нідерландах (Delft University of Technology), Женевський міжнародний центр з гуманітарного розмінування (Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD)) – по 12 (2,61%), Центр автоматизації та робототехніки (Мадрид) (CSIC UPM Centro de Automatica y Robotica), Технічний університет Мадрида – державний університет Іспанії (Universidad Politecnica de Madrid) – по 11 (2,39%) (рис. 2д).

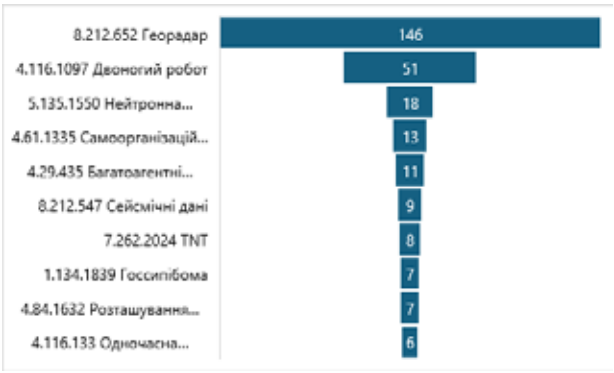
Розподіл наукових публікацій за приналежністю авторів до наукових підрозділів (кафедр) виглядає наступним чином: Центр досліджень Північно-Східної Азії університету Тохоку (Tohoku University Center for Northeast Asian Studies) – 10

а)

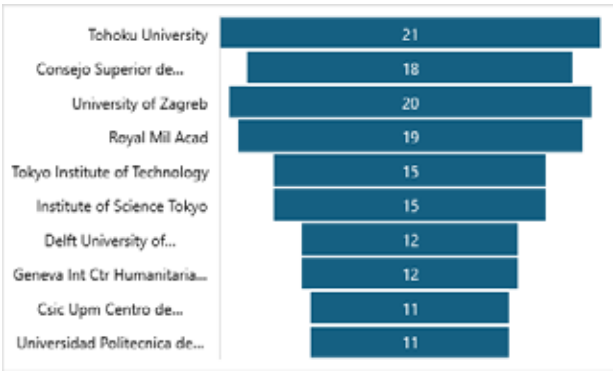


б)

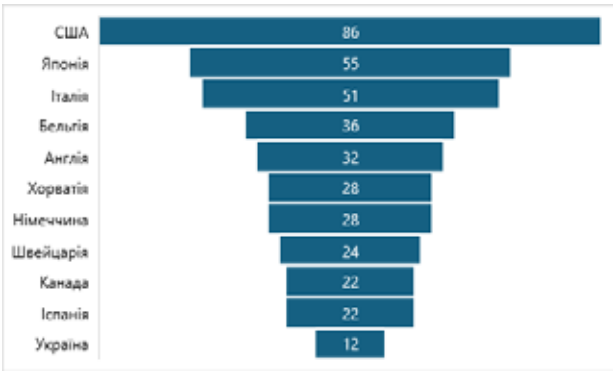
в)



г)

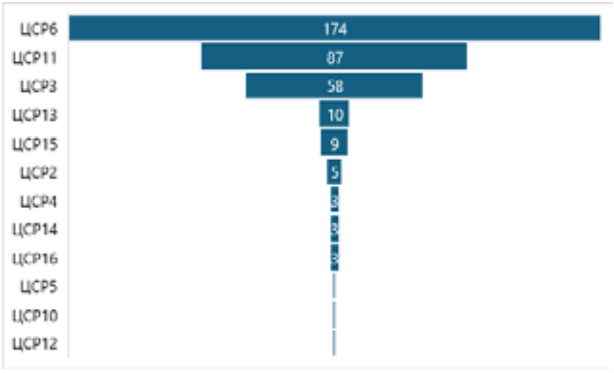


д)



е)

є)



ж)

Рис. 2. Розподіл наукових публікацій у наукометричній базі Web of Science Core Collection за запитом «humanitarian demining» за період 1998–2024 рр.: а – за типами; б – за індексом цитувань; в, г – за мезо- та мікротемами цитування відповідно; д – за приналежністю авторів до наукових установ; е – країнами; є – напрямками досліджень; ж – Цілями сталого розвитку

(2,2%), Департамент електротехніки та комп'ютерної інженерії університету Коїмбри (University of Coimbra Department of Electrotechnical and Computer Engineering), науково-технічний факультет університету Коїмбри (University of Coimbra Faculty of Sciences and Technology), Інститут систем і робототехніки університету Коїмбри (University of Coimbra Institute of Systems and Robotics) – по 9 (1,98%), факультет геодезії університету м. Загреб (University of Zagreb Faculty of Geodesy), факультет Землі та навколишнього середовища коледжу Франкліна та Маршалла (Franklin and Marshall College Department of Earth and Environment) – по 7 (1,52%), Школа архітектури Міланського політехнічного університету (Polytechnic of Milan School of Architecture Urban Planning Construction Engineering), факультет електротехніки та обчислювальної техніки університету м. Загреб (University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing) – по 6 (1,3%), факультет природничих наук Сент-Ендрюського університету (University of St Andrews Faculty of Science), Школа фізики та астрономії Сент-Ендрюського університету (University of St Andrews School of Physics and Astronomy) – по 5 (1,09%).

За назвами видання переважають матеріали оптики та фотоніки SPIE – 54 (11,74%), матеріали товариства інженерів фотооптичного приладобудування SPIE – 36 (7,83%), виявлення протипіхотних мін для гуманітарного розмінування, технології виявлення та очищення від мін і міноподібних об'єктів – по 13 (2,83%).

У топ-10 країн за кількістю публікацій увійшли: США – 86 (18,7%), Японія – 55 (12%), Італія – 51 (11,1%), Бельгія – 36 (7,8%), Англія – 32 (7%), Хорватія – 28 (6,1%), Німеччина – 28 (6,1%), Швейцарія – 24 (5,2%), Канада, Іспанія – по 22 (4,8%). По Україні таких публікацій 12 (2,6%) (рис. 2е).

Знайдені публікації розподіляються за категоріями WoS: інжиніринг, електротехніка, електроніка – 147 (31,96%), дистанційне зондування – 80 (17,4%), робототехніка – 76 (16,5%), фототехніка – 59 (12,8%), комп'ютерні науки, штучний інтелект – 56 (12,17%), оптика – 55 (11,96%), приладобудування – 52 (11,3%), системи автоматизації та управління – 50 (10,87%), міждисциплінарні інженерні науки – 42 (9,13%), прикладна фізика – 38 (8,26%), геохімія і геофізика, телекомунікації – по 24 (5,22%), мультидисциплінарні науки про Землю – 19 (4,13%), інженерія – 18 (3,91%), міждисциплінарні застосування комп'ютерних наук, гірництво – по 16 (2,48%), теоретичні методи комп'ютерних наук – 15 (3,26%), інженерна механіка – 14 (3,04%), інформаційні системи в комп'ютерних науках – 13 (2,83%), технології ядерних наук – 11 (2,39%), екологічні науки – 10 (2,17%), прикладна хімія – 8 (1,74%), акустика, хімія аналітична, програмна інженерія, фізика ядерна – по 7 (1,52%), інженерія аерокосмічна, географія, географія фізична, радіологія і ядерна медицина – по 6 (1,3%), хімія неорганічна ядерна, комп'ютерні науки і кібернетика, матеріалознавство і випробування характеристик, фізика елементарних частинок, соціальні науки міждисциплінарні, спектроскопія – по 5 (1,09%), дослідження розвитку, економіка, інженерія біомедична, міжнародні відносини, міждисциплінарні науки, політологія, психологія клінічна – по 4 (0,87%), астрономія і астрофізика, комп'ютерні науки і апаратна архітектура, інженерія хімічна, геологічна, виробничі, інформаційні науки і бібліотекознавство, право, менеджмент, міждисциплінарне матеріалознавство, механіка, дослідження операцій і управління, фізика – по 3 (0,65%), поведінкові науки, хімія міждисциплінарна, фізична, екологія, електрохімія, екологічні науки, гуманітарні науки мультидисциплінарні, метеорологія і атмосферні науки, нанонауки і нанотехнології, океанографія, фізика мультидисциплінарна, соціальні питання, термодинаміка – по 2 (0,44%), сільське господарство і молочне тваринництво, агрономія, антропологія, археологія, аудіологія і дефектологія, біофізика, біотехнологія і прикладна мікробіологія, кримінологія і пенологія, освіта і педагогічні дослідження, освітні наукові дисципліни, енергетика і паливо, інженерія цивільна, інженерія екологічна, інженерна океанологія, зелені технології сталого розвитку науки, історія, історія і філософія науки, матеріалознавство текстилю, математична обчислювальна біологія, математика прикладна, математика міждисциплінарних застосувань, медицина юридична, патологія, полімерні науки, психологія біологічна, психологія експериментальна, державне управління, ґрунтознавство, ветеринарні науки, водні ресурси – 1 (0,22%).

За напрямками досліджень лідерами є: інженерія – 221 (48,04%), комп'ютерні науки – 86 (18,7%), дистанційне зондування – 80 (17,39%), робототехніка – 76 (16,52%), науки про зображення і фотографічні технології – 59 (12,83%), оптика – 55 (11,96%), приладобудування – 52 (11,3%), фізика – 49 (10,65%), автоматизовані системи управління – 50 (10,87%), геохімія і геофізика – 24 (5,22%) (рис. 2є).

Наукові публікації уточнені й за Цілями сталого розвитку, зокрема ЦСР06 (Чиста вода та належні санітарні умови) – 147 публікацій (32%), ЦСР11 (Сталий розвиток міст та спільнот) – 87 (18,9%), ЦСР03 (Міцне здоров'я і благополуччя) – 58 (12,6%), ЦСР13 (Пом'якшення наслідків зміни клімату) – 10 (2,2%), ЦСР15 (Захист екосистем суші) – 9 (2%), ЦСР02 (Подолання голоду) – 5 (1,1%), ЦСР04 (Якісна освіта), ЦСР14 ((Збереження морських ресурсів), ЦСР16 (Мир, справедливість та сильні інститути) – 3 (0,7%), ЦСР05 (Гендерна рівність), ЦСР10 (Зменшення нерівності), ЦСР12 (Відповідальне споживання та виробництво) – по 1 публікації (0,2%) (рис. 2ж).

Проведене дослідження дозволило систематизувати накопичені наукові знання з теми гуманітарного розмінування, що сприяє кращому розумінню основних тенденцій та ключових тем, на які необхідно спрямувати майбутні наукові зусилля, що особливо важливо для подальших досліджень.

Головні висновки. Проведений бібліометричний аналіз теми «гуманітарне розмінування» в наукометричній базі Web of Science Core Collection за 1996–2024 роки дозволив отримати важливі висновки щодо обсягу досліджень, їх тематичних напрямів, найбільш впливових авторів і установ. У наукометричній базі Web of Science Core Collection знайдено 460 результатів за запитом «humanitarian demining», найбільша кількість яких у 2003 р. – 33 (або 7,2%). Серед типів наукових публікацій переважають матеріали конференцій (64,1%); за індексом цитувань Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S) (63,3%); за мезотемами цитування – 8.212 (сенсори та томографія) (34,6%), за мікротемами – 8.212.652 (георадар) (31,7%); серед науковців найбільшу кількість публікацій за даним напрямом має Sato M. (4,35%); за приналежністю авторів до наукових установ лідирує університет Тохоку (4,57%) та його Центр досліджень (2,2%); за країнами – США (18,7%); за категоріями WoS переважають інжиніринг, електротехніка, електроніка (31,96%); за напрямками досліджень – інженерія (48,04%); за Цілями сталого розвитку – ЦСР06 (Чиста вода та належні санітарні умови) (32%).

Перспективи подальших досліджень вбачаємо у висвітленні результатів гуманітарного розмінування України.

Література

1. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Примера І. О. Оцінка розміру шкоди для довкілля, спричинена військовими діями. Таврійський науковий вісник. 2022. № 126. С. 251–258. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.126.35.
2. Герасимчук Л. О. Військові дії як чинник утворення відходів. Таврійський науковий вісник. 2023. № 133. С. 305–312. DOI: 10.32782/2226-0099.2023.133.41.
3. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Пацева І. Г. Прояв зміни температури повітря на території м. Житомир. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Серія «Екологія». 2023. № 29. С. 6–16. DOI: 10.26565/1992-4259-2023-29-01.
4. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Ярошенко Б. О., Члек О. М. Загрози довкілля внаслідок військових дій очима дітей. Екологічні науки. 2022. № 4(43). С. 168–173. DOI: 10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.28.
5. Герасимчук Л. О., Пацева І. Г., Валерко Р. А. Гуманітарне розмінування України. Аграрні інновації. 2024. № 24. С. 232–238. DOI: 10.32848/agrar.innov.2024.24.33.
6. Герасимчук Л., Валерко Р., Розгон В., Маліновська В. Тенденції викидів діоксиду вуглецю як чинника кліматичних змін в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. № 3. С. 49–58. DOI: 10.32782/pcsd-2023-3-7
7. Пацев І. С., Барабаш О. В., Пацева І. Г. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми Житомирщини. Екологічні науки. 2023. № 5(50). С. 114–118. DOI: 10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.16.
8. Пацева І., Нонік Л. Рециклінг відходів руйнації – крок до зменшення ризиків воєнного екоциду. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2023. № 3. с. 73–81. DOI: 10.32782/pcsd-2023-3-10.
9. Camacho-Sanchez C., Yie-Pinedo R., Galindo G. Humanitarian demining for the clearance of landmine-affected areas. Socio-Economic Planning Sciences, 2023. № 88. 101611. DOI: 10.1016/j.seps.2023.101611.
10. Hassan M. I., Ahmat D., Ouya S. Technologies Behind the Humanitarian Demining: A Review. International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets), Harrisonburg, VA, USA, 2024. P. 1–7. DOI: 10.1109/SmartNets61466.2024.10577706.
11. Herrera Martínez L. A., Fonseca Piedrahita J. H. Differences in geographical coordinates of minefields in Colombia according to their acquisition method Revista. Logos Ciencia & Tecnología. 2023. № 15(2). P. 33–48. DOI: 10.22335/rlct.v15i2.1742.
12. Ikpe E., Njeri S. Mine clearance, peacebuilding and development: interactions between sustainable development goals and infrastructure in Angola. Peacebuilding. 2024. P. 1–17. DOI: 10.1080/21647259.2024.2335427.
13. Kostelnick J. C., Dobson J. E., Egbert S. L., Dunbar M. D. Cartographic Symbols for Humanitarian Demining. The Cartographic Journal. 2008. № 45(1). P. 18–31. DOI: 10.1179/000870408X276585.
14. Mitchell A. Hair-raising Adventures Loosely Organised: Early Years of The HALO Trust and Humanitarian Mine Action in Afghanistan, 1988–92. The Scottish Historical Review. 2023. № 102(3). P. 394–439. DOI: 10.3366/shr.2023.0623.
15. Pedraza D. P. Ethical disconcertment and the politics of troublemaking. American Ethnologist. 2023. № 50. P. 462–473. DOI: 10.1111/amet.13198.
16. Robinson T., O'Keeffe R. The Challenges of Humanitarian Mine Clearance in Ukraine. The Journal of Conventional Weapons Destruction. 2019. № 23(1). P. 17–23. URL: https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol23/iss1/8.
17. Sato M., Kikuta K. Dual Sensor "Alis" for Humanitarian Demining. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, Spain, 2018. P. 8428–8431. DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8517439.
18. Zyada Z., Matsuno T., Hasegawa Y., Sato S., Fukuda T. *Advances in GPR-based landmine automatic detection.* J. Frankl. Inst. 2011. № 348. P. 66–78. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2009.02.014.

УДК [556.55:574.5:341.31] (477.41)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.14

ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ І РОЗМІНУВАННЯ НА ОЗЕРНУ ЕКОСИСТЕМУ ОКОЛИЦЬ МІСТА БОРОДЯНКА (КИЇВСЬКА ОБЛАСТЬ)

Коваленко Ю.О.
Інститут гідробіології Національної академії наук України
пр. Володимира Івасюка, 12, 04210, м. Київ
kovalenkoyuliia888@gmeil.com

В роботі представлені наслідки військових дій і розмінування на озерну екосистему в околицях міста Бородянка (Бучанський район, Київської області). Після відходу російських військ у 2022 році на безім'янному озері були проведені масштабні заходи з розмінування та очищення, що включали видалення донних відкладів, прорідження прибережної рослинності, зокрема очерету та рогозу, а також значне зниження рівня антропогенного впливу на екосистему. Ці дії дозволили озерній екосистемі поступово відновлюватися. Одним із важливих показників цього процесу стало збільшення чисельності видів птахів з 17 до 25. Особливий вплив на відновлення екосистеми мало зникнення інвазійного виду карася китайського, який раніше домінував у водоймі, витісняючи аборигенні види риб. Його відсутність сприяла збільшенню угруповань аборигенних видів риб, таких як краснопірка звичайна, верховодка звичайна, а також окунь річковий. Ці зміни в іхтіофауні створили більш сприятливі умови для появи рибоїдних птахів, таких як чепура велика, чапля сіра, бугайчик, пірникоза велика та інші водно-болотні види, що раніше не реєструвались на цьому озері.

Аналіз даних показав, що після проведення цих заходів індекс Шеннона для водно-болотної орнітофауни зріс з 2,57 до 2,84, що свідчить про певне підвищення видового різноманіття. Хоча тест Вілкоксона не виявив статистично значущих змін у чисельності риб та птахів до і після військових дій (рівень значущості $p = 0,093$), ці показники можуть вказувати на початкові позитивні зміни у екосистемі. Незначні відмінності у структурі угруповань риб та птахів можуть вказувати на формування озерного та прибережного біоценозу, а також трофічних зв'язків.

Отримані результати підкреслюють необхідність продовження довгострокового моніторингу для кращого розуміння наслідків військових дій на водні екосистеми та біорізноманіття на деокупованих територіях. Цей досвід може стати корисним для оцінки впливу опосередкованих наслідків військових дій на подібні екосистеми, які зазнали руйнувань через бойові дії. *Ключові слова:* птахи, видове багатство, чисельність риб, рекреаційне навантаження, військові дії, середовище існування, екологічний моніторинг.

Impact of military actions and demining on the lake ecosystem in the vicinity of Borodyanka city (Kyiv region). Kovalenko Yu.

The paper presents the consequences of military actions and demining on the lake ecosystem near the city of Borodyanka (Bucha district, Kyiv region). After the withdrawal of Russian forces in 2022, large-scale demining and cleanup activities were carried out on the unnamed lake, including the removal of bottom sediments, thinning of shoreline vegetation, particularly reeds and cattails, and a significant reduction in anthropogenic pressure on the ecosystem. These actions allowed the gradual recovery of the lake ecosystem. One of the key indicators of this process was the increase in bird species from 17 to 25. A significant factor in the ecosystem's recovery was the disappearance of the invasive Chinese crucian carp, which had previously dominated the lake, displacing native fish species. Its absence contributed to the growth of native fish populations, such as common rudd, bleak, and European perch. These changes in the fish fauna created more favorable conditions for the appearance of fish-eating birds, such as the great egret, grey heron, little bittern, great crested grebe, and other wetland species that had not been previously recorded at this lake.

Data analysis showed that after these measures were implemented, the Shannon index for wetland birds increased from 2.57 to 2.84, indicating a slight increase in species diversity. Although the Wilcoxon test did not reveal statistically significant changes in the numbers of fish and birds before and after the military actions ($p = 0.093$), these indicators suggest early positive changes in the ecosystem. The slight differences in the structure of fish and bird communities may point to the formation lake and coastal biocenosis and trophic connections.

The results highlight the need for continued long-term monitoring to better understand the impact of military actions on aquatic ecosystems and biodiversity in de-occupied areas. This experience could be useful for assessing the indirect effects of military actions on similar ecosystems that have suffered damage from hostilities. *Key words:* birds, species richness, fish abundance, recreational pressure, military actions, habitat, ecological monitoring.

Постановка проблеми. Військові конфлікти мають значний вплив на природні екосистеми, особливо в регіонах із високим біорізноманіттям. За дослідженнями, близько 80% таких конфліктів відбувалися в «гарячих точках» біорізноманіття, що робить ці території вразливими до антропогенних чинників [2]. Російське вторгнення в Україну у 2022 році спричинило масштабні руйнування природних середовищ, зокрема лісів, луків і водних об'єктів, що призвело до деградації екосистем, втрати біорізноманіття та змін у гідрологічному режимі [1].

Безіменне озеро біля Бородянки, розташоване в Поліській зоні, п'ять тижнів перебувало на лінії фронту, що призвело до змін гідрологічних характеристик, пошкодження структури макрофітів та

замулення водойми. Після деокупації були проведені заходи з розмінування та очищення, що сприяло поступовому відновленню екосистеми. Припинення підпалів торф'яників і зниження рекреаційного навантаження позитивно вплинули на гідроекологічний стан озера.

Актуальність дослідження визначається необхідністю оцінки впливу військових дій на природні екосистеми. Воєнні дії часто призводять до втрати біорізноманіття та зміни структури екосистем [2, 3, 5, 7]. Трансформація біоценозів спостерігалися в інших районах дослідження Київської області, де військові дії вплинули на гідроморфологічні характеристики водойм басейну річки Ірпінь, через руйнування природних екосистем [4].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження є актуальним через масштабні руйнування природних екосистем, спричинені бойовими діями. Аналіз наслідків військових дій на біорізноманіття необхідний для розуміння екологічних втрат і розробки подальших заходів із відновлення природних угруповань. Це дослідження також дає можливість оцінити екосистемні зміни, що відбуваються після відновлення антропогенного впливу на деокупованих територіях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередні дослідження підтверджують значний вплив антропогенних факторів на біорізноманіття [6] в умовах війни. Однак наслідки військових дій для водних екосистем залишаються недостатньо вивченими через складність доступу до постраждалих територій, зокрема водних об'єктів які можуть приховувати вибухонебезпечні предмети [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на попередні дослідження наслідків військових дій для довкілля, недостатньо вивченими залишаються зміни у водно-болотних угрупованнях, зокрема у трофічних взаємодіях між іхтіофауною та орнітофауною. Це дослідження спрямоване на вивчення цих невирішених питань у контексті впливу бойових дій та розмінування на озерну екосистему.

Новизна. Вперше проведено комплексний аналіз змін у видовому складі іхтіофауни та орнітофауни поліського озера на деокупованій території. Результати показують зміну в структурі видів після військових дій та відновлення водойм.

Район досліджень. Дослідження проводилося на безіменному озері в околицях міста Бородянка, яке під час війни п'ять тижнів перебувало під впливом бойових дій. Після деокупації проведено розмінування, очищення донних відкладів та проріджения рослинності (рис. 1).

До війни озеро зазнавало антропогенного впливу, зокрема від щорічних підпалів торф'яних покладів, на тушіння яких пожежники використовували воду з озера – погіршувало водний баланс. Після деокупації цієї території проведені заходи з розмінування, що супроводжувалося відновленням озера та припинились підпали торф'яників.

Це сприяли підвищенню рівня води й поступовому відновленню екосистеми (рис. 2).

Наразі на озері наявно два основних типи середовищ існування: відкриті ділянки води та очеретяні плавні. Відкриті водні ділянки (рис. 3 А) забезпечують сприятливі умови для рибоїдних та водоплавних птахів, які використовують ці зони для живлення. Очеретяні плавні (рис. 3 Б) з густими заростями – слугують середовищем для гніздування та прихистку очеретянок, а також лісових птахів таких як шпак та синиця, а також є кормовим майданчиком для чапель, адже в заростях скупчуються безхребетні та молодь риб.

Метеріали та методи досліджень. Для дослідження іхтіофауни озера використовували іхтіологічні сачки з розміром вічка 5-10 мм, що дозволяло виловлювати риб різного розміру на глибинах

А Б

Рис. 1. А – Карта Deep State, що показує окуповані території України станом на 6.4.2022 з позначенням озера; Б – карта тимчасово деокупованої території на північно-західному напрямку Київської області з позначенням місця дослідження

2020 рік 2011 рік

Рис. 2. Супутникові знімки до початку військової агресії РФ. Фотографія 2011 року використовується для умовної ілюстрації сучасного стану озера та процесів його відновлення. Актуальні супутникові зображення у відкритих джерелах наразі відсутні

А Б

Рис. 3. Різні типи середовищ існування водойми: А – відкриті ділянки та Б – очеретяні плавні як середовища існування водно-болотних птахів

0,5–1,5 м. Додаткові дані про видовий склад отримували від місцевих рибалок. Показники чисельності риб оцінювалися в кількості особин на 10 м², а для аналізу вікової структури використовували морфометричні показники та визначення віку за лусками. Номенклатурні назви наведені згідно іхтіологічного сайту Fish Base. Риби після ідентифікації повертали в їх природне середовище.

Для вивчення орнітофауни застосовували маршрутно-точковий метод із використанням оптичних приладів. Спостереження проводилися з червня по вересень 2024 року. Номенклатурні назви наведені за (Фесенко, Бокотей 2002).

Отримані дані аналізувалися статистичними методами. Індекс Шеннона та тест Вілкоксона використовувалися для оцінки змін чисельності риб і птахів до і після військових дій.

Викладення основного матеріалу. Опосередковані наслідки війни позначились на екологічних параметрах озера, зокрема на температуру води та стан прибережної рослинності (табл. 1). Температура води після війни знизилася на 1,3 °С, що може бути наслідком збільшення водності у водоймі. Прозорість води залишилася стабільною, що вказує на відсутність значного забруднення під час війни. Проте проективне покриття макрофітами значно змінилося: до війни відзначалося значне заростання, тоді як після війни проведеного розмінування було видалено значний відсоток асоціацій занурених водних рослин, а також проріджено щільність гелофітів, що, ймовірно, позитивно вплинуло на екосистему.

Ці зміни також позначились на умовах існування водних організмів, зокрема риб, для яких рослинність є важливим елементом середовища

Таблиця 1

Екологічних параметрів озера до та після війни

Параметр	До війни	Після війни
Температура води	24,0-27,3 ºС	23,0-26,0 ºС (Зниження на 1,3 °С)
Прозорість води	35-40 см	35-40 см (незмінна)
Покриття макрофітів	Значне заростання (кушир занурений, рдесник пронизонолистий, водопериця кільчаста)	Видалення надмірних заростей, прорідження гелофітів

Таблиця 2

Видовий склад іхтіофауни та частка видів риб в уловах до і після окупації (2019-2024 рр.)

Видові назви риб		До окупації (2019-2021 рр.)	Після окупації (2024 р.)
Carassius auratus	**Карась китайський**	19	0
Scardinius erythrophthalmus	**Краснопірка звичайна**	16	47,1
Abramis brama	**Лящ**	3	5,6
Esox lucius	**Щука**	3	3
Perca fluviatilis	**Окунь** звичайний	8	22,3
Alburnus alburnus	**Верховодка** звичайна	24	16,7
Leucaspius delineatus	**Верховка**	27	6
Видове багатство		7	6

існування. Як наслідок, військові дії суттєво позначилися на видовому багатстві та загальному біорізноманітті озера, зокрема. Після окупації спостерігалося скорочення видового складу риб із 7 до 6 видів, а розрахунок індексу Шеннона показав зниження різноманіття іхтіофауни з 2.48 до 1.76. Це свідчить про скорочення кількості видів та ймовірне домінування кількох окремих видів після військових дій.

Зникнення інвазійного карася китайського (*Carassius auratus*), який домінував до війни, сприяло зростанню чисельності аборигенних видів, таких як краснопірка звичайна (*Scardinius erythrophthalmus*) та окунь звичайний (*Perca fluviatilis*) (табл. 2). Це забезпечило додаткові харчові ресурси для птахів-іхтіофагів, сприяючи їхньому поверненню до озера та зростанню їх чисельності. Хоча тест Вілкоксона не виявив статистично значущих змін у загальній чисельності риб до і після військових дій (p-value = 0.9375 та 1.0), структурні зміни у складі видів вказують на зміни в екосистемі озера.

Частка цьогорічок зросла на 31,0% (рис. 4), що свідчить пр сприятлив умов для молоди особин після зникнення карая, яки раніше створюва конкуренці за

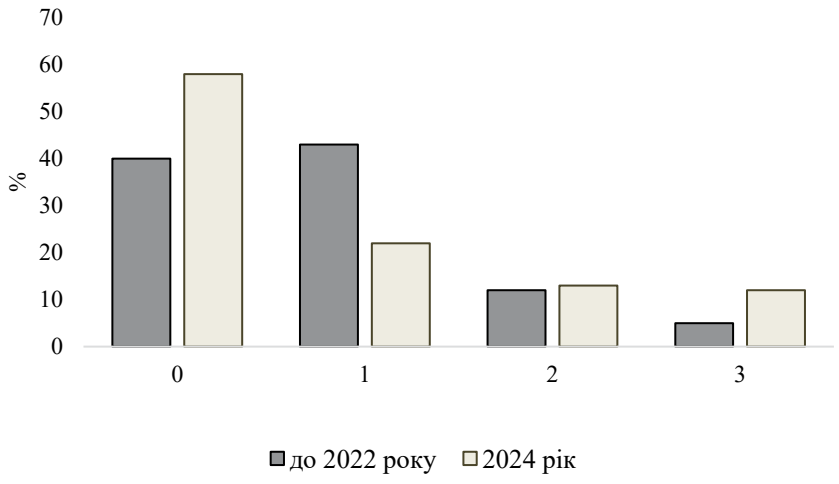


Рис. 4. Порівняння віково структур рибног населення озер до 2022 року та 2024 році

ресурс різним вида, що займають схож екологічні ніші, зокрем молодь окуня, краснопірк, я. Водночас, частка однорічо зменшилая на 48,8% чере природни процес заміни вікови груп. Крім цьог, збільшеня частки трирічни ри на 58,3% вказує на успішн виживання та зростання старши особин іхтіоценоз після зменшення вилову.

Позитивні зміни у структурі іхтіофауни озера, завдяки збільшенню чисельності аборигенних видів, створили сприятливі умови для водно-болотної орнітофауни, зокрема рибоїдних птахів. Посилення харчової бази стало важливим фактором для повернення цих груп птахів, що дозволяє оцінити взаємозв'язок між рибним населенням та птахами.

У 2019-2021 роках на озері стабільно реєструвалось 15 видів птахів. Після деокупації їх кількість збільшилась до 19, передусім за рахунок появи водно-болотних видів: лелека білий (*Ciconia ciconia*), чепура велика (*Ardea alba*), чапля сіра (*Ardea cinerea*), крячок річковий (*Sterna hirundo*), пірникоза велика (*Podiceps cristatus*), курочка водяна (*Gallinula chloropus*), а також болотно-лучний вид сорокопуд сірий (*Lanius excubitor*) (табл. 3).

Кількісні спостереження свідчать про те, що чисельність птахів на озері збільшилася на 23%. Зменшення антропогенного впливу після військових дій, що сприяло появі водно-болотних птахів та створили більш сприятливі умови для гніздування й міграції.

Індекс Шеннона для водно-болотних птахів до війни був 2.57, а після деокупації та розчищення озера збільшився до 2.84. Попри появу окремих

Таблиця 3

Зміни у видовому складі та чисельності птахів досліджуваного озера до та після окупації та розмінування (2019-2024 рр.)

Видові назви птахів		**БК (Рез. 6)**	**До окупації (2019-2021 рр.)**	**Після окупації (2024 р.)**
Acrocephalus arundinaceus	Очеретянка велика	–	5 ♂	7 ♂
Acrocephalus scirpaceus	Очеретянка ставкова	–	3 ♂	4 ♂
Lanius collurio	Сорокопуд терновий	✓	5	8
****Lanius excubitor***	*Сорокопуд сірий	✓	–	1
Pica pica	Сорока звичайна	–	2-5	1
Upupa epops	Одуд	✓	3	1
Phoenicurus phoenicurus	Горихвістка звичайна	–	5	5
Phoenicurus ochruros	Горихвістка чорна	–	3	4
Passer montanus	Горобець польовий	–	✓	✓
Hirundo rustica	Ластівка сільська	–	✓	✓
Delichon urbicum	Ластівка міська	–	✓	✓
Corvus corax	Крук	–	1	1
Accipiter nisus	Яструб малий	–	1	1
Buteo buteo	Канюк звичайний	–	1	1
****Circus pygargus***	*Лунь лучний	✓	2	–
Circus aeruginosus	Лунь очеретяний	✓	1	1
Turdus merula -	Дрізд чорний	–	✓	✓
Turdus torquatus	Дрізд білолобий	–	✓	✓
Ciconia ciconia	Лелека білий	–	–	1
Ixobrychus minutus	Бугайчик	–	–	2
Ardea alba	Чапля біла	–	–	1
Gallinula chloropus	Курочка водяна	–	–	2
Anas platyrhynchos	Крижень звичайний	–	–	3
Podiceps cristatus	Пірникоза велика	–	–	1
Sterna hirundo	Крячок річковий	✓	–	1
Motacilla alba	Плиска біла	–	–	2
Sturnus vulgaris	Шпак звичайний	–	–	≈1000
Всього видів		6	17	26

видів, різниця між орнітофауною «до» та «після» війни підвищення різноманіття після окупації незначне. Тест Вілкоксона також показав, що різниця між чисельністю є близькою до значущості (статистичне значення = 36, p = 0,093), що може вказувати на певні тенденції до змін у видовому складі, але вони не є статистично значущими на рівні 0,05.

Відсутність луня лучного (*Circus pygargus*) може бути наслідком руйнування його місць гніздування та зміни гідрологічного режиму озера. Натомість поява червонокнижного сорокопуда сірого (*Lanius excubitor*) свідчить про можливі екологічні зміни в досліджуваній екосистемі.

Отже, в перший рік дослідження спостерігаються деякі зміни в структурі іхтіофауни та орнітофауни, що вказує на зміну структури харчового ланцюга. Хоча отримані результати свідчать про те, що після деокупації спостерігалося незначне збільшення видового різноманіття птахів (на що вказує індекс Шеннона), загальні зміни у чисельності видів не є статистично значущими. Це може вказувати на тимчасову стабільність або навіть відновлення певних видів у постконфліктному середовищі. Однак, тест Вілкоксона показує, що різниця в чисельності видів між періодами до і після деокупації та розмінування знаходиться на межі статистичної значущості, що означає потенційні зміни в орнітофауні, які потребують подальших досліджень.

Головні висновки. Виявлено, що внаслідок проведення робіт з розмінування, що включало у себе розчищення донних відкладів, розрідження угруповань очерету та рогоза на фоні зменшення рекреаційного навантаження на озеро – видове багатство, передусім птахів довкола озера збільшилося з 17 до 25 видів. Індекс Шеннона водно-болотних птахів показав незначне підвищення видового різноманіття (з 2.57 до 2.84), а відмінність, виявлена тестом Вілкоксона (статистичне значення = 36, p = 0,093), вказує на можливі тенденції до позитивних змін у орнітофауні.

Зникнення інвазійного виду карася китайського (*Carassius auratus)* з екосистеми, а також суттєве зниження впливу аматорського рибальства, шумового навантаження та відновлення водності призвели до збільшення чисельності риб, що створило сприятливі умови для птахів-іхітофагів та інших видів птахів.

Попри виявлені зміни, проведений статистичний тест Вілкоксона не виявив статистично значущих змін у чисельності риб та птахів до і після військових дій (p-value = 0.9375 та 0.093, близький до значущого 1.0 та 0.05, відповідно). Це може вказувати на первинні зміни, які ще не достатньо виражені. З огляду на це подальші довгострокові спостереження дозволять більш точно оцінити наслідки розмінування та опосередкованого впливу війни на озерний та прибережний біоценози та біорізноманіття водно-болотних птахів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть використовуватися для моніторингу екологічних змін на деокупованих територіях та розробки рекомендацій щодо відновлення озерних екосистем після війни. Дані сприятимуть екологічно збалансованим заходам, зокрема контролю інвазійних видів і підтримці аборигенних риб і птахів.

Література

1. Антоненко В., Хуткий В. Впли російської військової агресі на природні туристичні ресурс Україн. *Вісник Київського національног університету культури мистецтв. Серія: Туризм*, 2022, 5(1), 64-82. DOI: 10.31866/2616-7603.5.1.2022.262003
2. Hanson T. War and biodiversity conservation: the role of warfare ecology. *Warfare ecology: a new synthesis for peace and security*. Springer Netherlands. 2011. P. 125-132. DOI: 10.1007/978-94-007-1214-0_9
3. Hilario-Husain B.A., Tanalgo K.C., Guerrero S.J.C., Garcia F.G.N., Lerios T.E., Garcia M.E.Z., & Agduma A.R. Caught in the crossfire: biodiversity conservation paradox of sociopolitical conflict. *Biodiversity*. 2024, Vol. 3(1), P. 10. DOI: 10.1038/s44185-024-00044-8
4. Ivanova N.O., Dubniak S.S., Zorina-Sakharova K.Y., Lietytska O.M., Nezbrytska I.M., Pohorielova M.S., & Afanasyev S.O. 2024. Hydrological and Morphological Characteristics of the Water Bodies of the Irpin River Basin in View of Hostilities' Impact. *Hydrobiological Journal*, Vol. 60(6), p. 73-87. DOI: 10.1615/HydrobJ.v60.i6.60
5. Lawrence M.J., Stemberger H.L., Zolderdo A.J., Struthers D.P., Cooke S.J. The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews*, 2015, 23(4), 443-460. DOI: 10.1139/er-2015-0039
6. Причепа М.В., Коваленко Ю.О. Рідкісні види птахів водн-болотних та лучних угід окреми районі Київсько област. *Поширення раритетног біорізноманіття Україн*. Київ, Чернівці: Друк Ар, 2024. 472. (Серія: Conservation Biology in Ukraine. Ви. 38. 363-395.
7. Westing A.H. Ecological effects of military defoliation on the forests of South Vietnam. *BioScience*, 1971, 21, 893–898. DOI: 10.2307/1295667
8. Фесенко Г. В., Бокоте А. А. Птах фаун Україн: польовий визначни. Київ: Українське товариство птахів, 2002. 416.

УДК 502.1:504/628.1:628.4
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.15

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПІД ЧАС ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Сахновська В.М., Ткаченко Т.М.
Київський національний університет будівництва і архітектури
пр. Повітряних Сил, 31, 03037, м. Київ
vsahnovskaya@gmail.com

У статті комплексно досліджено як національне і міжнародне законодавство, а також сучасні наукові вишукування в галузі забезпечення екологічної безпеки системи водовідведення. Проведено аналіз динаміки пошкодження елементів системи водовідведення України від активних бойових дій, який показав стрімке збільшення обсягу руйнувань, що в такому випадку призводить до значного зниження екологічної безпеки навколишнього середовища. Таким чином, внаслідок бойових дій виявили пошкодження не тільки фізичної структури каналізаційних систем, але й їх функціональні можливості, що ускладнює забезпечення належного водовідведення та санітарії. Це, у свою чергу, призводить до збільшення забруднення водних ресурсів, ризиків для здоров'я населення та погіршення загальної екологічної ситуації в регіонах, що постраждали від конфлікту. Важливим є також те, що відновлення цієї системи потребує значних фінансових та людських ресурсів, а також координації зусиль на різних рівнях, включаючи міжнародну допомогу, що підкреслює необхідний комплексний підхід для вирішення цієї проблеми.

Неможливість точного прогнозування масштабів руйнувань систем водовідведення в умовах війни ускладнює планування відновлювальних робіт. Для вирішення цього завдання пропонується алгоритм, який складається з чотирьох етапів і дозволяє швидко та ефективно визначити пріоритетність відновлення систем водовідведення на основі мінімального обсягу даних, що в свою чергу дозволить оптимізувати використання ресурсів, мінімізувати негативні екологічні наслідки та забезпечити швидке відновлення життєво важливої інфраструктури.

Запропоновано термінові заходи, що спрямовані на стабілізацію роботи систем водовідведення, які спираються на комплексну оцінку значущості кожного елемента системи водовідведення та їхнього ранжування з подальшим техніко-економічним обґрунтуванням методу відновлення.

З метою підвищення екологічної безпеки та зменшення навантаження на існуючі системи запропоновано використання зелених конструкцій, що зменшує ризики забруднення, аварій та енергоспоживання. *Ключові слова:* системи водовідведення, військові дії, комплексна оцінка, екологічна безпека.

Ensuring environmental safety of wastewater systems during military operations. Sakhnovska V., Tkachenko T.

The article comprehensively examines both national and international legislation, as well as current scientific research in the field of ensuring the environmental safety of wastewater systems. An analysis of the dynamics of damage to elements of the Ukrainian wastewater system caused by active hostilities has been conducted, which has shown a rapid increase in the scale of destruction, leading to a significant decrease in the environmental safety of the surrounding environment. Thus, as a result of hostilities, not only the physical structure of sewerage systems was damaged, but also their functional capabilities, which complicates the provision of adequate wastewater disposal and sanitation. This, in turn, leads to increased pollution of water resources, risks to public health, and a deterioration of the overall environmental situation in regions affected by the conflict. It is also important that the restoration of this system requires significant financial and human resources, as well as coordination of efforts at various levels, including international assistance, which underlines the need for a comprehensive approach to solving this problem.

The impossibility of accurately predicting the scale of destruction of wastewater systems in wartime complicates the planning of restoration work. To address this challenge, an algorithm is proposed that consists of four stages and allows for the rapid and efficient prioritization of wastewater system restoration based on a minimal amount of data, which in turn will optimize resource utilization, minimize negative environmental impacts, and ensure the rapid restoration of critical infrastructure.

Urgent measures are proposed to stabilize the operation of wastewater systems, which are based on a comprehensive assessment of the significance of each element of the wastewater system and their ranking, followed by a technical and economic justification of the restoration method.

To enhance environmental safety and reduce the load on existing systems, the use of green infrastructure is proposed, which reduces the risks of pollution, accidents, and energy consumption. *Key words:* wastewater systems, military actions, comprehensive assessment, environmental safety.

Постановка проблеми. Забезпечення населення України якісними послугами водовідведення є однією з ключових державних задач, що набула особливої актуальності через загострення екологічної ситуації та значне забруднення водних ресурсів. Це питання стало критичним у контексті об'єктивної необхідності реагування на зміни клімату та довкілля, викликані людською діяльністю, високою концентрацією промислового виробництва з використанням застарілих технологій, а також накопиченням великої кількості відходів. Додатковою складністю є руйнування об'єктів водовідведення внаслідок бойових дій.

Актуальність дослідження. Забезпечення техногенної та екологічної безпеки систем водопостачання та водовідведення під час військових дій є надзвичайно важливим завданням для задоволення основних потреб населення та охорони навколиш-

нього середовища. Ця проблема стає особливо актуальною через руйнування систем водопостачання та водовідведення, яке відбувається в умовах бойових дій [1], необхідністю охорони водних систем від ймовірних атак [2] та забезпечення регулярного технічного обслуговування систем водопостачання та водовідведення для підтримання їх ефективності та надійності в умовах військових дій [3], погіршенням загального екологічного стану та значним забрудненням водних об'єктів [4, 5].

Лише за перший рік повномасштабної війни загальна сума прямих задокументованих збитків, завданих житловій і нежитловій нерухомості, а також іншій інфраструктурі, перевищила $143,8 млрд (за вартістю заміщення), з яких 25,5% становлять об'єкти інфраструктури. Вартісна оцінка прямих збитків для об'єктів теплопостачання (без врахування ТЕЦ), водопостачання, водовідведення та об'єктів управління побутовими відходами на лютий 2023 року сягнула $1,4 млрд [6].

З одного боку екологічна безпека регіону залежить від функціонування систем водопостачання а водовідведення, з іншого боку – ефективне відновлення пошкодженої інфраструктури є критично важливим для підтримки соціально-економічної стабільності.

Таким чином, відновлення пошкоджених систем є терміновим завданням, яке безпосередньо впливає на екологічну безпеку регіону та життя людей.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Необхідність проектування та експлуатації систем водовідведення з урахуванням вимог екологічної безпеки стала актуальною в контексті глобальних зобов'язань України, які виникли внаслідок ратифікації Рамкової конвенції ООН про зміну клімату в Ріо-де-Жанейро [7]. Ця конвенція встановлює основи для міжнародного співробітництва у боротьбі зі змінами клімату, підкреслюючи важливість адаптації та зменшення впливу на навколишнє середовище. Підписання Паризької угоди у 2015 році [8] ще більше акцентувало увагу на необхідності вживання заходів для досягнення цілей у сфері екологічної безпеки, що в свою чергу включає підвищення екологічної безпеки систем водовідведення. Ухвалення Водної стратегії України на період до 2050 року [9] визначило ключові індикатори для підвищення екологічної безпеки систем водовідведення, які знайшли своє відображення в ЗУ «Про водовідведення та очищення стічних вод» [10] та постанові КМУ № 548 [11] та стали особливо актуальними для критичної інфраструктури під час триваючих військових дій [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив збройних конфліктів на водні ресурси та екосистеми є предметом багатьох досліджень [1, 4, 6, 13-16]. При чому для об'єктивної оцінки масштабів екологічної шкоди, завданої внаслідок збройної агресії, на загальнонаціональному рівні постійно оновлюються спеціальні методики, які дозволяють кількісно визначити збитки, що понесені довкіллям [17-20]. В той же час існує необхідність прийняття швидких рішень для забезпечення екологічної безпеки систем водовідведення в умовах війни, що в свою чергу вимагає швидкого аналізу ситуації та розробки універсальних алгоритмів, які спираються мінімальні обсяги вхідних даних.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Дослідження пропонує практичний інструмент для ефективного прийняття рішень при розробці заходів з відновлення систем водовідведення після військових конфліктів на підставі використання обсягу екологічної шкоди як ключового критерію для визначення пріоритетних напрямків відновлювальних робіт.

Новизна. Розвинуто методику прийняття рішень та техніко-економічного обґрунтування, яка дозволяє комплексно оцінити ефективність різних варіантів відновлення систем водовідведення з урахуванням як економічних витрат, так і потенційного екологічного збитку.

Методологічне значення полягає в тому, що запропонований алгоритм є новим та простим інструментом для прийняття обґрунтованих рішень щодо управління інфраструктурою систем водовідведення, який в подальшому може бути застосований для систем водопостачання.

Викладення основного матеріалу. Станом на початок 2024 року прямі збитки від руйнувань та пошкоджень об'єктів інфраструктури сягало 36,8 млр. дол. США [6]. Станом на листопад 2024 року військові дії тільки активізуються, спонукаючи все більше руйнування об'єктів водопостачання та водовідведення. Так 11 листопада 2024 року було пошкоджено дамбу Кураховського водосховища Донецької області, підрив Каховської ГЕС спричинив, що найменше $2 млрд прямих збитків [6]. Попередній аналіз стану каналізаційної інфраструктури вказує на значні пошкодження, спричинені військовими діями. Фіксується зростання обсягу пошкоджень об'єктів водовідведення (рис. 1). Наразі зафіксовано 582 погонних кілометри пошкоджених каналізаційних мереж. Крім того, 183 каналізаційні насосні станції зазнали часткових або повних руйнувань, переважно у Харківській області. Також 51 каналізаційна очисна споруда класифікується як зруйнована або пошкоджена [6].

Враховуючи неможливість точного прогнозування загальної кількості об'єктів водовідведення, що постраждають до кінця військових дій, питання визначення пріоритетності відновлювальних робіт набуває критичної важливості. Необхідний алгоритм прийняття рішень має бути простим, швидко впроваджуваним та базуватися на мінімальній кількості даних.

Виходячи з того, що обсяг екологічної шкоди, завданої навколишньому середовищу та здоров'ю людей, безпосередньо залежить від обсягу неочище-

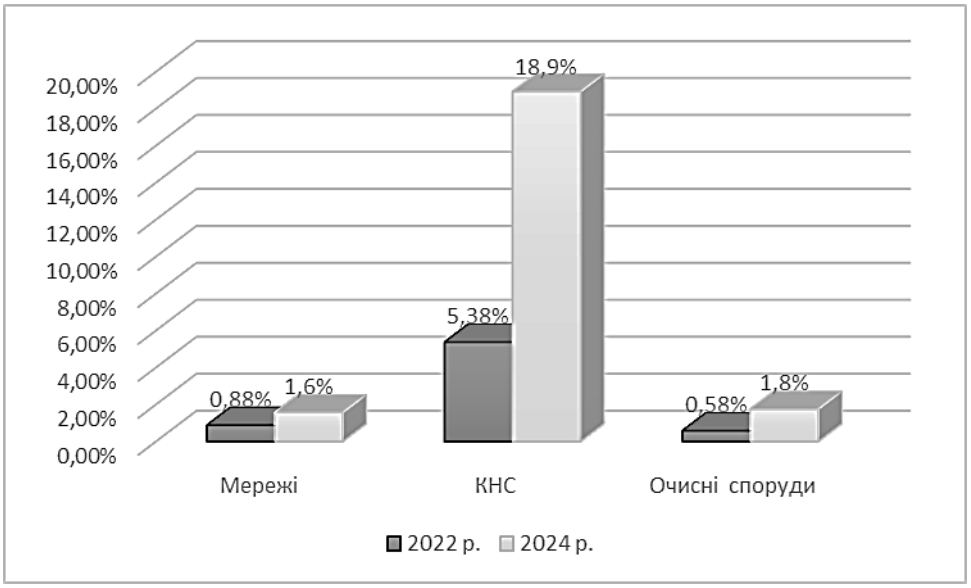


Рис. 1. Динаміка пошкодження систем водовідведення під час військових дій [6, 21]

них стічних вод, що скидаються в результаті пошкодження об'єктів водовідведення під час військових дій, пропонується використовувати обсяги водовідведення як ключовий критерій при визначенні пріоритетності відновлювальних робіт. Цей підхід дозволить зосередити ресурси на тих об'єктах, відновлення яких матиме найбільший позитивний вплив на екологічну ситуацію та мінімізує негативні наслідки для населення.

В такому випадку алгоритм визначення пріоритетності заходів з відновлення елементів системи водовідведення буде складатися з чотирьох етапів.

І. Першим кроком є визначення загального обсягу водовідведення, що обслуговується муніципальним підприємством. Цей показник, позначений як $Q_{заг}$, (м³/добу), відображає сумарний об'єм стічних вод, що надходять до системи водовідведення за добу. Він є ключовим для подальшого аналізу та визначення пріоритетів відновлювальних робіт, оскільки дозволяє оцінити масштаб потенційного екологічного збитку в разі аварій та пошкоджень інфраструктури. Точне визначення є критично важливим для ефективного планування та розподілу ресурсів на відновлення системи водовідведення. Для цього необхідно врахувати всі джерела надходження стічних вод, включаючи побутові, промислові та зливові стоки.

ІІ. Наступним важливим етапом є визначення обсягу стічних вод, що потрапляють у навколишнє середовище внаслідок пошкодження конкретного об'єкта чи ділянки мережі водовідведення. Цей показник позначається як q_i (м³/добу), де індекс i відповідає номеру пошкодженого об'єкта/ділянки. В ідеальному випадку, значення q_i визначається на основі фактичних даних про витік. Проте, за умов обмеженого доступу до інформації внаслідок надзвичайних ситуацій, якщо точне значення обсягу витоку невідоме, пропонується використовувати розрахунковий середньодобовий обсяг стічних вод, що надходять до даного об'єкта або елементу мережі. Це дозволить хоча б приблизно оцінити масштаб забруднення та визначити пріоритетність відновлювальних робіт. Важливо розуміти, що використання розрахункових значень може призвести до певних похибок, тому за можливості необхідно уточнювати фактичний обсяг витоку. Такий підхід забезпечить більш точне визначення пріоритетів та ефективніше використання ресурсів на відновлення.

ІІІ. Далі відбувається визначення коефіцієнту значущості пошкодженого об'єкта γ_i^K екологічну безпеку всієї системи, за формулою:

$$\gamma_i^K = \frac{q_i}{Q_{заг}},\ \gamma_i^K \in (0;1) \qquad (1)$$

Отримане числове значення відображає ступінь впливу пошкодженого об'єкта на всю систему. Чим вище цей коефіцієнт, тим більшу загрозу становить пошкодження для довкілля.

IV. На четвертому етапі виконується ранжування елементів системи на основі їхніх кількісно визначених коефіцієнтів значущості. Цей процес передбачає впорядкування елементів за спаданням значень цих коефіцієнтів, що дозволяє ідентифікувати найбільш вагомі компоненти системи та встановити пріоритетність їх відновлення.

Припустимо, що в системы водовідведення пошкоджено n елементів. Для кожного елемента i (де i = 1, 2, …, n) розраховуються коефіцієнти значущості γ_i^K, як описано раніше. Отримаємо множину коефіцієнтів значущості: $\{\gamma_1^K, \gamma_2^K, \ldots, \gamma_n^K\}$.

Для ранжування елементів системи необхідно впорядкувати цю множину за зростанням.

Сортування результатів можна представити у вигляді непорядкової компоненти (індекс елементів, коефіцієнт значущості):

$$[(i_1, \gamma_1^K), (i_2, \gamma_2^K), \ldots, (i_n, \gamma_n^K)], \quad (2)$$

$$\gamma_1^K \le \gamma_2^K \le \ldots \le \gamma_n^K, \quad (3)$$

де $i_1, i_2, \ldots, i_n$ – індекси елементів системи.

Елемент з найвищим коефіцієнтом значущості γ_1^K має найвищий пріоритет з точки зору екологічної безпеки, а елемент з найбільшим коефіцієнтом γ_n^K – найнижчий.

Нехай під час військових дій система постраждали каналізаційна насосна станція (i=1), ділянка безнапірної мережі (i=2), очисні споруди (i=3). Розраховані коефіцієнти значущості склали:

$$\gamma_1^K = 0,5; \gamma_2^K = 0,04; \gamma_3^K = 0,8.$$

Після сортування вибираємо впорядковану послідовність:

$$[(3, 0.8), (1, 0.5), (2, 0.04)]$$

Це означає, що елемент 3 має найвищий пріоритет, елемент 1 – середній, а елемент 2 – найнижчий (таблиця 1).

Таблиця 1

Приклад ранжування пошкоджених елементів муніципальної системи водовідведення

Ранг	Назва елементу	γ_i^K
1	Очисні споруди	0,8
2	КНС№ 1	0,5
3	Ділянка мережі 150 м, діаметр 400 мм	0,04

Таким чином, послідовність визначення заходів з відновлення визначається відповідно до значення коефіцієнту значущості: відновлення здійснюється за принципом пріоритетності, де об'єкти з більшим коефіцієнтом значущості мають найвищий пріоритет.

Вибір оптимального варіанту реконструкції повинен здійснюватися на підставі розрахунку порівняльної економічної ефективності [22] з врахуванням еколого-економічного збитку. Так, наприклад, умовою вибору оптимального методу реконструкції мереж водовідведення пропонується дотримання умови:

$$0,12 \cdot K_i + q_{Ki} \cdot L_i \cdot \lambda_i \cdot T_{cp_i} \cdot B_{E3_i} + \\ + ЗП_i + L_i \cdot K_{p_i} + A_i = min. \quad (2)$$

де K_i – капітальні витрати на відновлення і-того об'єкту, які залежать від умов та місцевості спорудження, та розраховуються муніципальними підприємствами водовідведення для кожного окремого випадку на підставі Настанови [23], грн./рік;

q_{Ki} – витрати стічної рідини на ділянці, м^3/рік;

B_{E3_i} – експертно оцінений питомий вартісний збиток, що нанесено водним, земляним, біологічним ресурсам та атмосфері, в результаті виливу 1 м^3 стічної рідини у навколишнє середовище (може визначатися за [18-20]), грн./м^3;

λ_i – фактична інтенсивність відмов ділянки, приймається за даними спостережень за останній календарний рік, $\frac{1}{км \cdot рік}$;

L_i – довжина і-ї ділянки трубопроводу, км;

T_{cp_i} – середній час відновлення трубопроводу, рік;

$ЗП_i$ – заробітна плата робітників, що зайняті обслуговуванням ділянки мережі з врахуванням нарахувань на заробітну плату, грн./рік;

K_{pi} – затрати на ремонт 1 км трубопроводу, грн./км·рік;

A_i – амортизація трубопроводу, приймається в залежності від строку його служби, грн./рік.

Після вибору оптимального методу реконструкції ділянки на основі фактичних витрат стічних вод необхідно провести додаткову оцінку перспективних навантажень на систему. У разі виявлення значних відхилень, слід здійснити корекцію проекту, зокрема, змінити тип відновлювальних робіт, діаметр трубопроводу або матеріал конструкцій.

Головні висновки. Кількість об'єктів водовідведення, які постраждають до повного завершення військових спрогнозувати не можливо, тому, до термінових заходів, які повинні бути спрямовані на стабілізацію роботи систем водовідведення потрібно віднести:

1. Запобігання екологічній кризі, викликаній забрудненням водних ресурсів стічними водами, шляхом оцінки стану систем водовідведення, визначення фактичних та майбутніх потреб у водовідведенні, складу стічних вод, а також подальшої модернізації очисних споруд на основі передових технологій. При чому пріоритетність заходів з відновлення систем водовідведення, пошкоджених внаслідок військових дій, визначається на основі комплексної оцінки значущості кожного елемента системи та їхнього ранжування з подальшим техніко-економічним обґрунтуванням методу відновлення.

2. Одним зі шляхів підвищення екологічної безпеки та зменшення навантаження на існуючі системи водовідведення є використання зелених конструкцій: зменшення ризиків біологічного та хімічного забруднення навколишнього середовища за рахунок зменшення ризиків витоків; зменшення ризиків аварій на очисних спорудах, за рахунок зменшення навантаження; зниження енергоємності систем для перекачування стічних вод та відповідно викидів CO_2 до навколишнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути впроваджені в діяльність муніципальних підприємств водопостачання та водовідведення.

Література

1. Бабаніна І. Зруйнована інфраструктура водопостачання та водовідведення на Сході та Півдні України : Аналіт. записка. / ред. О. Кравченко. *Екологія, право, людина*., 2022. 41 с. URL: https://epl.org.ua/wp-content/uploads/2023/02/rujnuvannya-infrastruktury_vychytana-versiya.pdf (дата звернення: 18.11.2024).
2. Pashchenko O. M., Hoshtynar S. L. International legal principles for guaranteeing water safety during military conflicts. *Environmental la*. 2022. No. 3-4. P. 57–62. URL: https://doi.org/10.37687/2413-7189.2022.3-4-4.12 (date of access: 28.11.2024).
3. Яцюк М., Кравченко О. Проведення досліджень з підвищення ефективності управління водними ресурсами і системами водопостачання/водовідведення та розробка аналітичної записки для уряду України. Київ, 2023. 104 с. URL: https://ukrainian-water-association.org/wp-content/uploads/2023/07/UWA_Water_Management_Report.pdf (дата звернення: 18.11.2024).
4. Impact of the long-time armed conflicts on the ecological safety of industrial objects / O. V. Pyrikov et al. *Journal of geology, geography and geoecology*. 2022. Vol. 31, no. 2. P. 380–389. URL: https://doi.org/10.15421/112235 (date of access: 28.11.2024).
5. Loboichenko V. M., Vasyukov A. E., Tishakova T. S. Investigations of Mineralization of Water Bodies on the Example of River Waters of Ukraine. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2017. Vol. 14, no. 4. P. 37–41. URL: https://doi.org/10.3233/ajw-170035 (date of access: 15.05.2024).
6. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. 2024. 39 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf (дата звернення: 26.11.2024).
7. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату : Конвенція Орг. Об'єдн. Націй від 09.05.1992 : станом на 29 жовт. 1996 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text (дата звернення: 25.11.2024).
8. Паризька угода : Угода Орг. Об'єдн. Націй від 12.12.2015 : станом на 14 лип. 2016 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_l61#Text (дата звернення: 25.11.2024).
9. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 09.12.2022 № 1134-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-р#Text (дата звернення: 28.11.2024).
10. Про водовідведення та очищення стічних вод : Закон України від 12.01.2023 № 2887-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text (дата звернення: 28.11.2024).
11. Про затвердження Порядку проведення оцінки стану водовідведення та очищення стічних вод : Постанова Каб. Міністрів України від 14.05.2024 № 548. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-2024-п#Text (дата звернення: 25.11.2024).
12. Про критичну інфраструктуру : Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX : станом на 21 верес. 2024 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text (дата звернення: 25.11.2024).
13. Strokal V., Kovpak A. Military conflicts and water: consequences and risks. *Ecological sciences*. 2022. Vol. 44, no. 5. P. 94–102. URL: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.14 (date of access: 26.11.2024).
14. Дідковська Л. Водні конфлікти в Україні та світі. *Acta academiae beregsasiensis. economics*. 2024. № 5. С. 69–85. URL: https://doi.org/10.58423/2786-6742/2024-5-69-85 (дата звернення: 26.11.2024).
15. Наслідки для довкілля війни росії проти України / О. Ангурець та ін. Електрон. науково-попул. вид., 2023. 84 с. URL: https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-war-damages-ua-version-04-low-res.pdf (дата звернення: 25.11.2024).
16. Кравченко В. В., Плаксій Т. М. Екологічні наслідки російсько-української війни для України. *XXX Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених» Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства»*. 2023. URL: https://doi.org/10.32782/2222-5099.2023.10.4 (дата звернення: 26.11.2024).
17. Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану: Наказ М-ва зах. довкілля та природ. ресурсів України від 04.04.2022 № 167. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text (дата звернення: 26.11.2024).
18. Про затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації: Постанова Каб. Міністрів України від 20.03.2022 № 326: станом на 2 груд. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-п#Text (дата звернення: 26.11.2024).
19. Про затвердження Методики визначення збитків, заподіяних внаслідок забруднення та/або засмічення вод, самовільного користування водними ресурсами: Наказ М-ва зах. довкілля та природ. ресурсів України від 21.07.2022 № 252: станом на 25 груд. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0900-22#Text (дата звернення: 26.11.2024).
20. Про затвердження Методики визначення шкоди та обсягу збитків, завданих підприємствам, установам та організаціям усіх форм власності внаслідок знищення та пошкодження їх майна у зв'язку із збройною агресією Російської Федерації, а також упущеної вигоди від неможливості чи перешкод у провадженні господарської діяльності : Наказ Всі міжнар. док. від 18.10.2022 № 3904/1223. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1522-22#Text (дата звернення: 26.11.2024).
21. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. 2023. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf (дата звернення 01.05.2024).
22. Мних Є.В. Економічний аналіз: [підручник] К.: Знання, 2011. – 630 с
23. Наказ Мінрегіону від 01.11.2021 № 281. Настанова з визначення вартості будівництва зі змінами 1,2,3,4. На заміну ДСТУ Б Д.1.1-1:2013. Вид. офіц. 2021. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/2699601180912256347?doc_type=6 (дата звернення: 25.11.2024).

ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.064
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.16

ЕКОСИСТЕМИ КРИМСЬКИХ ГІР ТА УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Руденко С.В.[1], **Руденко В.П.**[2], **Руденко С.С.**[3], **Пахомов О.Є.**[1]
[1]Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро
[2]Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, 58002, м. Чернівці
[3]Донецький національний університет імені Василя Стуса
вул. 600-річчя, 21, 21021, м. Вінниця
rudenkostepan@gmail.com, v.rudenko@chnu.edu.ua, rudenko.prof.eco@gmail.com, a.pakhomov@i.ua

Стверджується, що серед чотирнадцятьох провінційних екосистем України Кримська гірська та Українські Карпати займають особливе місце. З одного боку, вони іменуються як гірські провінційні екосистеми, а з другого боку, поряд зі Східно-Європейською рівниною, відносяться до біомів рівня країн. Аргументується, що на рівні вищих ієрархічних таксонів екосистеми Кримської гірської провінції та Українських Карпат досліджені більш-менш задовільно, а на рівні таксонів низького рангу – біогеоценозних екосистем, що включають у себе парцелярні та консорційні комплекси і які охоплюються фізико-географічними районами, комплексні екологічні вишукування ще потребують значної активізації. Йдеться про розробку, як стверджував академік М.А. Голубець, «скрупульозного екологічного кадастру кожної ландшафтної екосистеми, кожної використовуваної ділянки біогеоценотичного покриву, визначення їх первинних і вторинних екологічних потенціалів». Обґрунтовується, що скрупульозний екологічний кадастр екосистем повинен обов'язково включати в себе достовірну оцінкову інформацію про їх територію (акваторію), населення та природно-ресурсний потенціал (ПРП). Авторами кількісно визначена величина і структура потенціалу території (акваторії), населення та ПРП на рівні 39 первинних біогеоценозних екосистем – фізико-географічних районів Кримських гір та Українських Карпат та здійснений їх порівняльний аналіз. Доводиться, що за абсолютною величиною потенціалу території (акваторії) населення та ПРП переважають екосистеми Українських Карпат над екосистемами Кримських гір. Йдеться про Передкарпатську височинну, Зовнішньо-Карпатську області чи Чоп-Мукачівський, Надвірнянсько-Печеніжинський, Вашковецько-Глибоцький, Невицько-Чинадіївський, Мостисько-Яворівський, Верхньоосвіцько-Верхньобистрицький, Славсько-Сколівський, Старосамбірсько-Східницький та інші райони. У той же час за відносними показниками, зокрема, за величиною потенціалу тріади на одиницю площі екосистеми Кримських гір значно випереджають екосистеми Українських Карпат. Так, найбільш потужні екосистеми районного рівня – Нижньочорноріченська, Бахчисарайсько-Перовська, Середньосалгирсько-Зуйська, Балаклавсько-Ялтинська Кримських гір є територіально значно більш продуктивними ніж Чоп-Мукачівська, Невицько-Чинадіївська, Вашковецько-Глибоцька чи Надвірнянсько-Печеніжинська екосистеми Українських Карпат. Обґрунтовується, що ресурсний потенціал екосистем Кримських гір та Українських Карпат, оцінений на рівні таксонів низького рангу – парцелярних та консорційних комплексів (первинних природних районів), є надійною основою для розробки перспективних планів збалансованого розвитку природокористування. *Ключові слова:* Кримські гори, Українські Карпати, біогеоценозні екосистеми, потенціал території, населення, природних ресурсів, екологічний кадастр.

Ecosystems of Crimean Mountains and Ukrainian Carpathians: a comparative analysis. Rudenko S., Rudenko V., Rudenko S., Pakhomov O.

It is stated that, among 14 provincial ecosystems of Ukraine, the Crimean Mountains and the Ukrainian Carpathians are in a class of their own. On the one hand, they are referred to as mountainous provincial ecosystems, on the other – along with the East-European Plain they fall into biomes of the country level. It is argued that, at a level of the high hierarchical taxons, the ecosystems of the Crimean Mountains Province and the Ukrainian Carpathians are rather deeply characterized, while at a level of those of low rank, i.e., bio-geo-cenotic ecosystems that include parcel and consortium complexes and are covered by physic-geographical rayons, their complex ecological study still requires serious activation. According to Academician M.A. Holubets, here we should speak of the development of "scrupulous ecological cadastre of each landscape ecosystem, each used land area of bio-geo-cenotic cover, and of disclosure of their primary and secondary ecological potentials". It is substantiated that scrupulous ecological cadastre should invariably include reliable estimative information on their territory (water area), population, and nature-resource potential (NRP). The authors have already quantitatively defined the value and the structure of the territory (water area) potential at the level of 39 primary bio-geo-cenotic ecosystems – physic-geographical rayons of the Crimean Mountains and the Ukrainian Carpathians, and conducted respective comparative analysis. It has been proved that, in terms of the absolute value of the potential of territory (water area), population and NRP, the ecosystems of the Ukrainian Carpathians prevail over those of the Crimean Mountains. This is the case of the Pre-Carpathian Upland Oblast and the External Carpathian Oblast, as well as of the Chop-Mukachevo, Nadvirna-Pechenihy, Vashkivtsi-Hlyboka, Nevytsko-Chynadiivskyy, Mostyska-Yavoriv, Upper Osvitsko-Upper Bystrytsia, Slavsko-Skolivskyy, Starosambirskyy-

Skhidnytskyy, and other rayons. At the same time, with regard to relative indicators, in particular, those of the value of the potential of the ternary per unit of the area, the ecosystems of the Crimean Mountains significantly surpass those of the Ukrainian Carpathians. For example, the most powerful Crimean Mountain rayon-level ecosystems, such as Lower Chornorichenska-Perovska, Balaklava-Yalta ecosystems are territorially much more productive than those of Chop-Mukachevo, Nevytsko-Chynadiivska, Vashkivtsi-Hlyboka or Nadvirna-Pechenihy in the Ukrainian Carpathians. It is substantiated that the resource potential of ecosystems of the Crimean Mountains and the Ukrainian Carpathians estimated at a level of low-rank taxons – parcel and consortium complexes (primary natural rayons) shall be a reliable basis for the development of the long-term plans of sustainable development of nature use. *Key words:* Crimean Mountains, Ukrainian Carpathians, bio-geo-cenotic ecosystems, potential of the territory, population and nature resources, ecological cadastre.

Постановка проблеми та її актуальність. Серед чотирнадцятьох провінційних екосистем України Кримська гірська та Українські Карпати займають особливе місце. З одного боку, їх іменують як гірські провінційні екосистеми, а з другого боку, поряд зі Східно-Європейською рівниною, відносять до біомів рівня країн [1; 2]. І якщо на рівні цих вищих ієрархічних таксонів екосистеми Кримської гірської провінції та Українських Карпат досліджені більшменш задовільно, то на рівні таксонів низького рангу – біогеоценозних екосистем, що включають у себе парцелярні та консорційні комплекси і які охоплюються фізико-географічними районами, комплексні екологічні вишукування потребують значної активізації. Йдеться про розробку, як стверджував академік М.А. Голубець, «скрупульозного екологічного кадастру кожної ландшафтної екосистеми, кожної використовуваної ділянки біогеоценотичного покриву, визначення їх первинних і вторинних екологічних потенціалів, втрат первинних екологічних потенціалів у процесі експлуатації і пошук способів їх відновлення, збереження та сталого використання» [2, с. 162]. На нашу думку, такий «скрупульозний екологічний кадастр» екосистем повинен обов'язково включати в себе достовірну оцінкову інформацію про їх територію (акваторію), населення та природно-ресурсний потенціал (ПРП).

Аналіз останніх наукових публікацій та методика досліджень. Вивчення потенціалу екосистем, екорегіонів є предметом наукового пошуку М.А. Голубця [1], М.Д. Гродзинського [3; 4], В.М. Петліна [5], П. Клампа [8], Р. Деардена [9], Дж.А. Дірінгера [10], Р.Т.Т. Формана [11], Т.Р. Герцога [12] та інших дослідників. Разом з тим комплексна оцінка тріади-території (акваторії) – населення – ПРП екосистем загалом і їх низького таксономічного рангу – біогеоценозних екосистем, фізико-географічних (природних) районів, зокрема, залишається малодослідженою проблемою. Виходячи з цього, висвітлення результатів оцінки території (акваторії), населення та ПРП по біогеоценозних екосистемах – фізико-географічних районах (таксонах низького рангу) Кримських гір та Українських Карпат – **основна мета нашої публікації**.

Чисельність населення природних районів (біогеоценозних екосистем) Кримських гір та Українських Карпат обчислювалась за матеріалами офіційної статистики передвоєнного (2012 р.) періоду картографічним методом [6]. Для цього картосхема екорайонів (фізико-географічних районів) [7] накладалась на карту щільності населення України в розрізі адміністративних районів в масштабі 1:750000. Кількість мешканців екорайонів, межі яких розчленовували той чи інший адміністративний район, оцінювалась методом палетки за картограмами щільності населення адміністративних районів.

Природно-ресурсний потенціал екорегіонів держави проіндексований нами у цінах 2015-2021 рр. [13]. У зв'язку з масовими еміграційними потоками українців, спричинених воєнними лихоліттями, населення як і територія (акваторія), природно-ресурсний потенціал подані в табл. 1 у відсоткових показниках, що з одного боку, дозволяє їх порівнювати між собою, а з другого боку, відносні величини у більшій мірі (ніж абсолютні) згладжують вплив нестабільних процесів сьогодення (див. табл. 1).

Виклад основного матеріалу. Подані в табл. 1 оцінкові матеріали, дають можливість визначити величину потенціалу тріади: території, населення, природно-ресурсного потенціалу порівнюваних екорегіонів. Українські Карпати, займаючи в 9 разів більшу територію, в 3,8 рази перевищують показники величини сумарного потенціалу Кримських гір.

Серед десяти екосистем обласного рівня за величиною території (акваторії), населенням та ПРП оцінювані таксони розмістилися у такому порядку (від найбільших до найменших показників): Передкарпатська височинна область, Зовнішньо-Карпатська, Передгірно-Кримська, Вулканічно-міжгірно-улоговинна, Полонинсько-Чорногірська, Закарпатська низовинна, Вододільно-Верховинська, Гірсько-Кримська, Південнобережно-Кримська та Мармароська область. Співвідношення за величиною сумарного потенціалу між Передкарпатською височинною та Мармароською областями як 33,8 до 1,0, у тому числі: за площею цих екосистем – 34,3 до 1,0, населенням – 79,0 до 1,0, ПРП як 23,0 до 1,0. Якщо ж порівнювати Передкарпатську височинну область з найпотужнішою у Кримських горах Передгірно-Кримською областю, то за розмірами території (акваторії) вони різняться між собою як 6,2 до 1,0, за кількістю населення – відповідно, як 2,2 до 1,0 і, нарешті, за величиною ПРП, як 2,9 до 1,0.

Не менш цікавими і важливими є оцінкові показники потенціалу тріади на рівні біогеоценозних екосистем (фізико-географічних районів) Кримських гір та Українських Карпат. З 49 таких біогеоценозних екосистем до десятки найбільших (в порядку

Таблиця 1

Територія, населення та природно-ресурсний потенціал екосистем Кримських гір та Українських Карпат

Природні країни (біоми), провінційні екосистеми, природні області та райони	Територія (акваторія)		Населення, %	ПРП, %
	тис.км²	%		
1	2	3	4	5
Кримські гори	**4,10**	**0,70**	**2,82**	**1,90**
Кримська гірська провінційна екосистема	**4,10**	**0,70**	**2,82**	**1,90**
І. Передгірно-Кримська область	***2,20***	***0,40***	***1,78***	***0,80***
Райони: 1. Качинсько-Альминський	0,24	0,05	0,06	0,06
2. Середньосалгирсько-Зуйський	0,79	0,14	0,35	0,21
3. Василівсько-Старокримський	0,20	0,04	0,02	0,18
4. Нижньочорноріченський	0,22	0,04	0,79	0,12
5. Бахчисарайсько-Перовський	0,43	0,08	0,52	0,12
6. Білогірсько-Курський	0,32	0,05	0,04	0,11
ІІ. Гірсько-Кримська область	***1,40***	***0,20***	***0,31***	***0,80***
Райони: 7. Верхньочорноріченський	0,19	0,03	0,03	0,13
8. Верхньокачинський	0,37	0,05	0,01	0,22
9. Верхньосалгирський	0,30	0,04	0,06	0,17
10. Верхньоіндольський	0,31	0,05	0,10	0,16
11. Айпетринсько-Карабіяйлинський	0,23	0,03	0,11	0,12
ІІІ. Південнобережно-Кримська область	***0,50***	***0,10***	***0,73***	***0,30***
Райони: 12. Південнокрутосхиловий	0,34	0,07	0,22	0,08
13. Балаклавсько-Ялтинський	0,10	0,02	0,38	0,10
14. Алуштинсько-Судацький	0,06	0,01	0,13	0,12
Українські Карпати	**38,20**	**6,30**	**8,16**	**6,40**
І. Передкарпатська височинна область	***13,70***	***2,20***	***3,96***	***2,30***
Райони: 1. Мостисько-Яворівський	2,24	0,36	0,40	0,17
2. Добромильсько-Самбірський	1,36	0,22	0,30	0,24
3. Дрогобицько-Меденицький	1,06	0,17	0,33	0,14
4. Стрийсько-Жидачівський	1,27	0,20	0,29	0,30
5. Долинсько-Калуський	1,24	0,20	0,29	0,30
6. Завійсько-Ямницький	1,06	0,17	0,24	0,22
7. Надвірнянсько-Печеніжинський	1,56	0,25	0,84	0,23
8. Обертинсько-Гвіздецький	0,60	0,10	0,11	0,22
9. Яблунівсько-Кутський	0,79	0,12	0,16	0,14
10. Вижницько-Сторожинецький	1,28	0,21	0,25	0,16
11. Вашковецько-Глибоцький	1,24	0,20	0,73	0,19
ІІ. Зовнішньо Карпатська область	***8,20***	***1,40***	***1,23***	***1,20***
Райони: 12. Старосамбірсько-Східницький	1,72	0,29	0,32	0,22
13. Вигодсько-Битківський	0,76	0,13	0,12	0,24
14. Космацько-Виженський	0,99	0,17	0,18	0,19
15. Славсько-Сколівський	1,75	0,30	0,17	0,36
16. Верхньоосвіцько-Верхньобистрицький	2,19	0,38	0,35	0,11
17. Криворівнянсько-Дихтинецький	0,79	0,13	0,09	0,08
ІІІ. Вододільно-Верховинська область	***3,70***	***0,60***	***0,36***	***0,70***
Райони: 18. Турківсько-Опорецький	1,10	0,18	0,08	0,14
19. Торунсько-Лопухівський	0,98	0,16	0,13	0,17

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
20. Ясінянський	0,32	0,05	0,04	0,04
21. Ворохтянсько-Путильський	0,38	0,06	0,02	0,11
22. Ужоцько-Жденівський	0,29	0,05	0,02	0,11
23. Воловецько-Колочавський	0,63	0,10	0,07	0,13
IV. Полонинсько-Чорногірська область	***5,20***	***0,90***	***0,58***	***0,70***
Райони: 24. Стужинсько-Рунський	0,71	0,13	0,06	0,38
25. Боржавсько-Краснянський	1,58	0,27	0,25	0,08
26. Свидовецько-Чорногірський	2,02	0,35	0,23	0,18
27. Гринявсько-Яровицький	0,89	0,15	0,04	0,06
V. Мармароська область	***0,40***	***0,10***	***0,05***	***0,10***
Райони: 28. Рахівсько-Чивчинський	0,40	0,10	0,05	0,10
VI. Вулканічно-міжгірно-улоговинна область	***4,40***	***0,70***	***0,96***	***0,80***
Райони: 29. Невицько-Чинадіївський	1,98	0,32	0,50	0,28
30. Туріївсько-Свалявський	0,75	0,12	0,11	0,19
31. Угольсько-Нересницький	0,63	0,09	0,12	0,05
32. Хустсько-Солотвинський	0,75	0,12	0,18	0,19
33. Іршавський	0,29	0,05	0,05	0,09
VII. Закарпатська низовинна область	***2,60***	***0,40***	***1,02***	***0,60***
Райони: 34. Чоп-Мукачівський	2,52	0,39	1,00	0,57
35. Берегівсько-Мужієвський	0,08	0,01	0,02	0,03
Україна	**603,7**	**100,0**	**100,00**	**100,0**

спадання) за величиною потенціалу відносяться: Чоп-Мукачівський, Надвірнянсько-Печеніжинський, Вашковецько-Глибоцький, Невицько-Чинадіївський, Нижньочорноріченський (Кримські гори), Мостиська-Яворівський, Верхньоосвіцько-Верхньобистрицький, Славсько-Сколівський, Старосамбірсько-Східницький, Долинсько-Калуський райони. Найбільші за величиною потенціалу тріади в Українських Карпатах і Кримських горах, відповідно, Чоп-Мукачівський і Нижньочорноріченський райони співвідносяться між собою за площею як 11,5 до 1,0, за кількістю населення, як 1,3 до 1,0, за величиною ПРП, як 4,8 до 1,0.

Найменшим потенціалом тріади характеризується (у порядку спадання) такі біогеоценозні екосистеми-райони, як: Рахівсько-Чивчинський, Василівсько-Старокримський, Білогірсько-Курський, Верхньочорноріченський, Ворохтянсько-Путильський, Іршавський, Ужоцько-Жденівський, Качинсько-Альминський, Ясінянський та Берегівсько-Мужієвський. Співвідношення найменш потужних за величиною потенціалу тріади таксонів низького рангу Кримських гір та Українських Карпат, а саме Качинсько-Альминського, і Берегівсько-Мужієвського районів – таке: за територією (акваторією), як 3 до 1, за кількістю населення, як 3 до 1, за величиною ПРП, як 2 до 1.

Отже, як видно із результатів проведеного аналізу, за абсолютною величиною потенціалу території (акваторії), населення та ПРП переважають екосистеми Українських Карпат над екосистемами Кримських гір. Проте, за відносними показниками, наприклад, за територіальною продуктивністю – величиною потенціалу тріади на одиницю площі екосистеми Кримських гір значно випереджають відповідні таксони Українських Карпат. Так, зокрема територія Кримської гірської провінційної екосистеми майже в 2,4 рази є більш продуктивною за ресурсним потенціалом ніж гірська провінційна екосистема Українських Карпат. Це ж стосується і всіх трьох кримських екосистем обласного рівня, які порівнюються з сімома екосистемами карпатських областей. Аналогічну закономірність маємо і на рівні біогеоценозних екосистем – фізико-географічних районів. Візьмемо, для прикладу, найбільш потужні екосистеми районного типу. Нижньочорноріченська, Бахчисарайсько-Перовська, Середньосалгирсько-Зуйська чи Балаклавсько-Ялтинська (всі в Кримських горах) значно територіально є більш продуктивними, ніж Чоп-Мукачівська, Невицько-Чинадіївська, Вашковецько-Глибоцька чи Надвірнянсько-Печеніжинська. Це пов'язано, з одного боку, з південним розміщенням екосистем, а, з другого боку, з більш інтенсивним рівнем господарського освоєння ресурсного потенціалу Кримських гір у порівнянні з Українськими Карпатами.

Висновки. Проведені оцінкові дослідження території (акваторії), населення та природно-ресурсного потенціалу на рівні таксонів низького рангу – біогеоценозних екосистем, що охоплюються парцелярними та консорційними комплексами і відповідають фізико-географічним районам Кримських гір та Українських Карпат, дозволяють зробити такі узагальнення:

1. Територія (акваторія), населення та природно-ресурсний потенціал екосистем є основою їх «скрупульозного екологічного кадастру», фундаментом «визначення їх первинних і вторинних екологічних потенціалів» для їх сталого використання.

2. За абсолютною величиною потенціалу території (акваторії), населення та ПРП переважають екосистеми Українських Карпат над екосистемами Кримських гір. Йдеться про Передкарпатську височинну, Зовнішньо-Карпатську області чи Чоп-Мукачівський, Надвірнянсько-Печеніжинський, Вашковецько-Глибоцький, Невицько-Чинадіївський, Мостиську-Яворівський, Верхньоосвіцько-Верхньобистрицький, Славсько-Сколівський, Старосамбірсько-Східницький та інші райони.

3. У той же час за відносними показникам, зокрема, за величиною потенціалу тріади на одиницю площі екосистеми Кримських гір значно випереджають екосистеми Українських Карпат. Так, для порівняння, найбільш потужні екосистеми районного рівня – Нижньочорноріченська, Бахчисарайсько-Перовська, Середньосалгирсько-Зуйська чи Балаклавсько-Ялтинська Кримських гір є територіально значно більш продуктивними ніж Чоп-Мукачівська, Невицько-Чинадіївська, Вашковецько-Глибоцька чи Надвірнянсько-Печеніжинська екосистеми Українських Карпат.

4. Ресурсний потенціал екосистем Кримських гір та Українських Карпат, оцінений на рівні таксонів низького рангу – парцелярних та консорційних комплексів (первинних природних регіонів), є надійною основою для розробки перспективних планів збалансованого розвитку природокористування.

Література

1. Голубець М.А. Екосистемологія. Львів: Поллі. 2000. 316 с.
2. Голубець М.А., Марискевич О.Г., Крок Б.О., Козловський М.П., Башта А.-Т.В., Гнатів П.С., Гринчак М.М., Шпаківська І.М., Яворницький В.І. Екологічний потенціал наземних екосистем. Львів: Поллі, 2003. – 180 с.
3. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: Монографія. У 2-х т. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2005. Т. 1. 431 с.
4. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: Монографія. У 2-х т. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2005. Т. 2. 503 с.
5. Петлін В.М. Синергетичні залежності в організації природних територіальних систем. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка. 2013. 396 с.
6. Чисельність наявного населення України на 1 січня 2012 року. К.: Державна служба статистики України. 2012. 112 с.
7. Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М., Шищенко П.Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. Укр. геогр. журн. 2003. № 1. С. 16-20.
8. Clamp P. The landscape evaluation controversy. Landscape Research. 1981. Vol. 16. P. 13-15.
9. Dearden P. Factors influencing landscape preferences: an empirical investigation. Landscape Planning. 1984. Vol. 11. P. 293-306.
10. Dearinger J.A. Measuring preferences for natural landscapes. Journal of the Urban Planning and Development Division. 1979. Vol. 105. P. 63-80.
11. Forman R.T.T. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1995. 632 p.
12. Herzog T.R. A cognitive analysis of preferences for waterscapes. Landscape Perception. Readings in Environmental Psychology / Amita Sinha (ed.). London: Academic Press, 1995. P. 47-63.
13. Rudenko S., Rudenko V. Nature-resource potential of natural regions of Ukraine in present-day figures. Екологічні науки: науково-практичний журнал, 2023. Випуск 6(51). С. 84-89.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 579.861.2:579.264:615.281.015.8
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.17

STAPHYLOCOCCUS LUGDUNENSIS: АНТАГОНІСТИЧНА АКТИВНІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ ДО ПРОТИМІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ

Бойко Д.Ю., Клевакін А.А., Крупєй К.С.
Запорізький державний медико-фармацевтичний університет
пр. Маяковського, 26, 69000, м. Запоріжжя
boiko.d.yu@zsmu.edu.ua, klevakin.a.a@zsmu.edu.ua, krupeyznu@gmail.com

Автори провели систематичний аналіз фахової наукової літератури і створили теоретичну базу для подальших досліджень найбільш розповсюдженого коагулазонегативного стафілокока (*St. lugdunensis*), який частіше за інші види стафілококів викликає інфекції, пов'язані з наданням медичної допомоги. Науковою новизною роботи є узагальнення сучасних наукових досліджень щодо антимікробних та антагоністичних властивостей *St. lugdunensis*, а також порівняльний аналіз механізмів резистентності цього виду з найбільш спорідненим представником цього роду – золотистим стафілококом, що дозволило переглянути екологічну та клінічну роль *St. lugdunensis* і підкреслити його потенціал для розробки нових антимікробних препаратів.

St. lugdunensis є коменсальним мікроорганізмом, що колонізує певні біотопи тіла людини (пах, промежину, носову порожнину тощо) та має здатність синтезувати бактеріоцин лугдунін, який негативно впливає на золотистого стафілокока шляхом зміни його мембранного потенціалу. Тому мікробіоту тіла людини на сьогодні розглядають як джерело потенційних продуцентів антимікробних та пробіотичних засобів. Основні труднощі у створенні пробіотика на основі *St. lugdunensis* полягають у тому, що цей вид за патогенністю та вірулентністю майже не поступається золотистому стафілококу й може викликати інфекції шкіри та м'яких тканин, інфекційний ендокардит і септичний шок, менінгіт, вторинний по відношенню до інфекцій вентрикуло-перитонеального шунта, остеомієліт тощо.

St. aureus характеризується більшою швидкістю мутацій та адаптаційних змін у порівнянні з *St. lugdunensis*. Це підтверджується частішим виявленням гена blaZ у *St. lugdunensis* у порівнянні з геном mecA, тоді як у *St. aureus* ген mecA є більш розповсюдженим, що кодує стійкість до безлічі бета-лактамних антибіотиків. Наявність гена mecA у *St. lugdunensis* вказує на його високий потенціал до адаптації. Це обумовлює необхідність розробки стратегій, спрямованих на мінімізацію ризиків розвитку резистентності цього виду до рівня *St. aureus*. Основним викликом для дослідників, клінічних мікробіологів і лікарів є раціональне застосування антимікробних препаратів, що дозволить запобігти ескалації антибіотикорезистентності *St. lugdunensis*.
Ключові слова: Staphylococcus lugdunensis, лугдунін, антимікробні препарати, резистентність, коменсалізм, антагонізм.

Staphylococcus lugdunensis: antagonistic activity and resistance to antimicrobial agents. Boiko D., Klevakin A., Krupiei K.

The authors conducted a systematic analysis of the professional scientific literature and created a theoretical basis for further research on the most common coagulase-negative staphylococcus (*St. lugdunensis*), which causes healthcare-associated infections more often than other types of staphylococci. The scientific novelty of the work is a summary of current scientific research on the antimicrobial and antagonistic properties of *St. lugdunensis*, as well as a comparative analysis of the mechanisms of resistance of this species with the most closely related representative of this genus – *Staphylococcus aureus*, which allowed us to revise the ecological and clinical role of *St. lugdunensis* and emphasize its potential for the development of new antimicrobial agents.

St. lugdunensis is a commensal microorganism that colonizes certain biotopes of the human body (groin, perineum, nasal cavity, etc.) and can synthesize the bacteriocin lugdunin, which has a negative effect on *St. aureus* by changing its membrane potential. Therefore, the human body microbiota is currently considered a source of potential producers of antimicrobial and probiotic agents. The main difficulty in creating a probiotic based on *St. lugdunensis* is that this species is almost as pathogenic and virulent as *St. aureus* and can cause skin and soft tissue infections, infective endocarditis and septic shock, meningitis secondary to ventriculoperitoneal shunt infections, osteomyelitis, etc.

St. aureus is characterized by a higher rate of mutation and adaptation changes compared to *St. lugdunensis*. This is confirmed by the more frequent detection of the blaZ gene in *St. lugdunensis* compared to the mecA gene, while in *St. aureus* the mecA gene is more common, encoding resistance to a variety of beta-lactam antibiotics. The presence of the mecA gene in *St. lugdunensis* indicates its high potential for adaptation. This necessitates the development of strategies aimed at minimizing the risk of this species developing resistance to the level of *St. aureus*. The main challenge for researchers, clinical microbiologists and physicians is the rational use of antimicrobial agents to prevent the escalation of *St. lugdunensis* antibiotic resistance. *Key words: Staphylococcus lugdunensis*, lugdunin, antimicrobial agents, resistance, commensalism, antagonism.

Постановка проблеми. *Staphylococcus lugdunensis* – це коагулазонегативний стафілокок (далі – КНС), який за патогенністю та вірулентністю не поступається золотистому стафілококу (*St. aureus*). Екологія *St. lugdunensis* вивчена на сьогодні недостатньо. Відомо, що він є коменсальним мікроорганізмом поруч з іншими КНС й *St. aureus* та може бути присутнім у різних нішах на тілі людини, але зазвичай виявляється в промежині та паху [1, 2]. *St. lugdunensis* привертає увагу не тільки клініцистів, інфекціоністів, бактеріологів, але й також біологів та екологів. По-перше, цей КНС є продуцентом бактеріоцинів (антимікробних пептидів), тому вивчення антагоністичного впливу цього представника на близькоспоріднені види представляє науковий інтерес, по-друге, деякі фенотипи й генотипи *St. lugdunensis* проявляють стійкість до антибіотиків, що створює труднощі при лікуванні захворювань, які викликає цей вид (здебільшого інфекції шкіри та м'яких тканин, ендокардит) [3].

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю комплексного підходу у вивченні антимікробних властивостей *St. lugdunensis* і водночас його механізмів стійкості до антибіотиків та інших хіміотерапевтичних засобів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями полягає у визначенні ролі *St. lugdunensis* як потенційного джерела нових антимікробних сполук та в оцінці його стійкості до сучасних антибіотиків. Узагальнення сучасних наукових робіт, присвячених вивченню антагоністичних властивостей бактеріоцинів та інших факторів патогенності *St. lugdunensis* на інших мікроорганізмів, буде сприяти подальшій розробці ефективних методів лікування інфекцій, викликаних *St. lugdunensis*, а також може допомогти у пошуку нових шляхів протидії антимікробній резистентності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. *St. lugdunensis* вперше був описаний Freney зі співавт. у 1988 році в м. Ліон (Франція). Латинська назва м. Ліон – Lugdunum, на честь якого збудник отримав свою видову назву [4]. До цього часу нерідко цей вид визначали як *St. aureus*, оскільки у них схожі біохімічні властивості, але на сьогодні відомо, що *St. lugdunensis* має суттєві відмінності в багатьох біохімічних тестах. Автори проаналізували особливості лабораторної діагностики стафілококових інфекцій в різних країнах, у тому числі в Україні [5–7], та відокремили основні відмінності між цими патогенами, які слід враховувати при ідентифікації виду (див. табл. 1).

Ці біохімічні дані можуть змінити погляд клініцистів та мікробіологів на *St. lugdunensis*, що виявляється у клінічних зразках [8], оскільки до сьогодні науковці приділяли недостатньо уваги вивченню клінічної значущості цього КНС. Основна увага була прикута до розгляду інших КНС – *St. epidermidis*, *St. saprophyticus* тощо [9, 10], які також входять до складу мікробіоти певних біотопів тіла людини та вважаються опортуністичними патогенами.

Геном *St. lugdunensis* кодує ширший набір факторів вірулентності, відповідальних за адгезію, цитотоксичність та уникнення вродженого імунітету, ніж в інших КНС, але цей набір є менш різноманітним порівняно з *St. aureus*. Після виявлення антимікробних речовин, що продукує *St. lugdunensis*, цей вид почали розглядати як потенційний пробіотик для пригнічення *St. aureus* у носовій порожнині. Однак, зважаючи на значну кількість факторів вірулентності та його патогенний потенціал, ця ідея не отримала подальшого розвитку [11]. Проте після того, як науковці відкрили, що ця коменсальна бактерія синтезує новий антибіотик (лугдунін), який знищує *St. aureus* у носових ходах, дослідження стали зосереджувати на вивчення здатності лугдуніна елімінувати *St. aureus* [12]. Деякі автори розглядають також нефармакологічні шляхи модуляції мікробіоти, у тому числі кишкової, та наголошують, що вегетаріанська й веганська дієти зменшують кіль-

Таблиця 1

Біохімічна диференціація St. lugdunensis від St. aureus

Показник	St. lugdunensis	St. aureus
Тест на орнітин-декарбоксилазу	+	–
Ферментація маніту	–	+
Ферментація рибози	–	+
Коагулазний тест (у пробірці)	–	+
PYR-тест*	+	–
Тест на фосфатазу	–	+
Тест на термостабільні нуклеази	±	+
Гемолітична активність	+ (фенотипово схожа на δ-гемолізин *St. aureus*)	+ (α, β, δ, та γ-гемолізини)

*Примітка: PYR-тест використовується для швидкого виявлення наявності ферменту піролідоніларіламідази у деяких грампозитивних коків.

кісний склад стафілококів та стрептококів у кишківнику і збільшують вміст пробіотичних культур [13]. Виходячи з цього, вивчення антимікробного потенціалу *St. lugdunensis* та особливостей лікування інфекцій, викликаних цим видом, становить значний науковий інтерес, як з теоретичної, так і з практичної точок зору.

Мета. Узагальнити та проаналізувати наукові дані щодо екології, антимікробної активності та механізмів стійкості *St. lugdunensis* до антибіотиків.

Об'єкт дослідження – антимікробні властивості та механізми резистентності *St. lugdunensis* до антибіотиків.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Необхідність детального вивчення антимікробного потенціалу *St. lugdunensis* та його стійкості до антибіотиків зумовлена недостатньою кількістю наукових даних про екологічну роль цього патогену та можливості використання у боротьбі з бактеріальними інфекціями.

Новизна. Наукова новизна роботи полягає в узагальненні та порівняльному аналізі сучасних наукових досліджень щодо антимікробних властивостей та стійкості *St. lugdunensis* до антибіотиків й інших хіміотерапевтичних засобів, що дозволяє переглянути його екологічну роль у мікробіоценозах і потенціал для розробки нових антимікробних препаратів.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає у створенні теоретичної бази для подальших досліджень *St. lugdunensis*, що дозволить науковцям краще зрозуміти його біологічні властивості та особливості взаємодії з іншими мікроорганізмами. Це сприятиме пошуку нових підходів для контролю інфекцій та розробці ефективних антимікробних стратегій.

Матеріали та методи дослідження. У роботі проведено систематичний аналіз наукової літератури, що охоплює дослідження й огляди, присвячені *St. lugdunensis*. Для збору та обробки даних використовували ресурси наукових баз, зокрема PubMed, Scopus, Web of Science, Index Copernicus, Google Scholar тощо. Проаналізували понад 200 наукових досліджень, серед яких 31 включено в роботу. Застосування методів порівняльного аналізу дозволило узагальнити інформацію про антимікробні властивості та механізми стійкості цього мікроорганізму, що сприяло формуванню більш цілісного розуміння його ролі в мікробних спільнотах.

Виклад основного матеріалу. Мікроорганізми, що входять до складу нормофлори організму людини, знаходяться в постійних мутуалістичних або антагоністичних відносинах між собою. Ця багатоступенева мережа взаємодій між ними забезпечує гомеостаз у мікробіоценозах і залишається маловивченою. Потенційну небезпеку складають антибіотикорезистентні бактерії, яких можна виявити не тільки у пацієнтів з групи ризику, але й у здорових осіб [12]. Наприклад, *St. aureus* колонізує носову порожнину у 30–40% людей, що є головним фактором ризику розвитку тяжких інфекцій, у тому числі спричинених MRSA-штамами (метицилінрезистентними) [14]. *St. lugdunensis* колонізує цей біотоп майже у 5 рази рідше, але частіше – чоловіків (у 4 рази більше) ніж жінок [15]. Відомо, що деякі коменсальні мікроорганізми нерідко можуть запобігти проникненню, а головне – колонізації *St. aureus* та інших патогенів у певних біотопах тіла людини. Так, було показано, *St. lugdunensis* продукує антибіотик лугдунін, що здатний вбити золотистого стафілокока у носовій порожнині та знижує ризик носійства *St. aureus* у здорових осіб у 5 разів. Проте одночасно ці 2 види майже ніколи не виділяли з носових ходів [12]. Цікавим є той факт, що у людей, носова порожнина яких колонізована *St. lugdunensis*, часто зустрічаються інші коменсали – *Corynebacterium tuberculostearicum*, *St. epidermidis* та *St. capitis.* Передбачається, що вони продукують сидерофори, які запозичує *St. lugdunensis* для своїх метаболічних потреб, оскільки власних систем сидерофорів для захоплення Феруму у нього немає [16], але узгоджена дія гемолітичних пептидів (SLUSH) та систем транспорту гема (Lha та Isd) дозволяє *St. lugdunensis* отримувати Ферум з еритроцитів хазяїна [17].

Виходячи з того, що безліч коменсальних бактерій можуть виробляти бактеріоцини, у т. ч. лугдунін, на сьогодні мікробіоту організму людини розглядають як джерело нових антимікробних засобів [15].

Лугдунін відносять до нового класу антибіотиків, оскільки він синтезується нерибосомально та являє собою циклічний пептидний антибіотик, що містить тіазолідин [15, 18]. Лугдунін можуть продукувати лише ті штами *St. lugdunensis*, які мають генотипи SCCmec, agr і ST1, ST2, ST3 (Sequence Type) [18]. SCCmec є набутим генетичним елементом, що інтегрується в бактеріальну хромосому, та може бути перенесений також між різними штамами *St. aureus*, що сприяє поширенню стійкості до метициліну. Тоді як agr є частиною хромосоми *Staphylococcus*, яка кодує власну систему регуляції генів. Ці регульовані agr-ефектори контролюють не тільки експресію факторів вірулентності, але й разом зі SLUSH, лугдулізином (Zn^{2+}-залежна протеаза) забезпечують стійкість бактерії до вродженого імунітету організму-хазяїна [19], що частково пояснює стратегії *St. lugdunensis*, які він використовує для спричинення захворювання. Однак слід пам'ятати, що золотистий стафілокок є значно більш частим збудником інфекційних захворювань ніж *St. lugdunensis*.

Механізм дії лугдуніна полягає у зміні мембранного потенціалу MRSA та ванкоміцин-резистентних ентерококів [18], тому він є потенційним антибіотиком, який можна використовувати для лікування інфекцій, викликаних цими резистентними патогенами. Декілька років тому науковці емпіричним шляхом з'ясували, що для стимуляції

росту *St. lugdunensis* в лабораторних умовах необхідно забезпечити присутність гему, гемоглобіну та *St. aureus* [20]. Ці відомості можуть бути корисними для подальшого вирощування цієї культури в промислових масштабах з метою отримання лугдуніна.

Наступним етапом нашого дослідження було вивчення механізмів резистентності *St. lugdunensis* до антибіотиків. На сьогодні в наукометричних базах даних існує обмежена кількість публікації щодо вивчення стійкості цього патогену до хіміотерапевтичних засобів, оскільки за останні десятиліття увага науковців була прикута до золотистого стафілокока. Так, науковці з Іспанії разом з іншими колегами вивчали фенотипи резистентності *St. lugdunensis* (методом ПЛР) наступних генів: blaZ, mecA, mecC, tet(L), tet(K), tet(M), msr(A), erm(A), erm(B), erm(C), acc(6′)-aph(2″), ant(4′)-Ia, mup(A) та mup(B), причому резистентні до метициліну ізоляти *St. lugdunensis* піддавали SCCmec-типуванню. Близько третини з досліджених ізолятів показали резистентність принаймні до одного протимікробного засобу, а половина з них несли ген blaZ, який відповідає за стійкість до пеніциліну через кодування β-лактамази [3, 21-23]. Пізніше дослідники з Ріо-де-Жанейро встановили, що резистентність до оксациліну у *St. lugdunensis* обумовлена наявністю гена mecA, який кодує неприродній пеніцилінзв'язувальний білок PBP 2a. Проте нерідко диференціювати цей ген у збудника видається складним завданням, у такому випадку автори рекомендують безпосередньо ідентифікувати білок PBP 2a. Рідше у цього КНС зустрічалися гени tetK та mupA, наявність яких опосередковує резистентність до тетрацикліну та мупіроцину. Важливо також зазначити, що рівень резистентності відрізнявся залежно від походження зразка, найбільш резистентними були ізоляти, що виділяли з крові [24].

Молекулярну епідеміологію та ніші носійства *St. lugdunensis* детально вивчають і китайські дослідники. За останні 10 років з'явилося декілька робіт у цьому напрямку. У пацієнтів з нефрологічних центрів виділяли *St. lugdunensis* й проводили PFGE-тест (гель-електрофорез з імпульсним полем), в результаті якого виявили 10 ізолятів із такими домінувальними типами як HKU1 з ST3, які є унікальним набором генів, що обумовлюють широку резистентність до різних антибіотиків. Проте найчастіше у людей із різними захворюваннями нирок виявляли ген tetK, наступним був aacA-aphD, який кодує фермент 6'-аміноглікозид N-ацетилтрансферазу та 2»-аміноглікозид фосфотрансферазу (фактор резистентності до аміноглікозидів) і, рідше, ген ermC, який відповідальний за резистентність до макролідів, лінкозамідів, стрептограміну B (ErmA зустрічався набагато рідше і не виявлявся одночасно з ermC) [25].

Виходячи з цього, кількість та частота виявлення певних генів резистентності у *St. lugdunensis* значно змінюється і здебільшого залежить від регіону. Так, в Західній Європі частіше зустрічається ген blaZ, а у Південній Америці – mecA, який відрізняється від blaZ тільки тим, що кодує інший механізм антибіотикорезистентності. В Азії частіше за все ізоляти цього патогену мають гени tetK та aacA-aphD. Ймовірними причинами такої відмінності у генах резистентності *St. lugdunensis* може бути різна частота та групи антибактеріальних препаратів, що використовуються для терапії у певних країнах.

Ці дослідження спонукали нас провести порівняльний аналіз генів резистентності *St. lugdunensis* та *St. aureus*. Обидва стафілококи можуть нести в собі SCCmec – мобільний генетичний елемент, який наявний у багатьох стафілококів та надає їм стійкості до β-лактамів широкого спектра [26]. Цей генетичний елемент дуже легко передається від одного виду до іншого та швидко змінюється під впливом різних факторів, у т. ч. залежно від носія (виду стафілокока).

В Україні частота виявлення метицилінрезистентних штамів *St. aureus* складає від 20,0 до 87,0% [27].

На противагу цьому, американські вчені проаналізували 380 тис. ізолятів й встановили, що загальна кількість MRSA знизилася майже на 20%, але всередині дослідженої популяції було значне зростання резистентності до тетрацикліну, кліндаміцину й значне зниження резистентності до макролідів. Серед метицилінчутливого золотистого стафілокока (MSSA) дослідники відмітили зростання стійкості до тетрациклінів і кліндаміцину [28].

Ефективній терапії стафілококових інфекцій, викликаних золотистим стафілококом, заважає поширення резистентності не тільки до метициліну. З 2000-х років кількість інших мультирезистентних штамів *St. aureus* стрімко поширюється, а саме: VISA (Vancomycin-intermediate *St. aureus*), VRSA (Vancomycin-resistant *St. aureus*) та Heteroresistant VRSA (hetero-VRSA) [29, 30]. Основними причинами виникнення резистентності до ванкоміцину та інших глікопептидів є потовщення клітинної стінки золотистого стафілокока та зміна її архітектури, що супроводжується мутаціями в генах walKR, vraSR, rpoC і dtl [31].

Отже, обидва патогени (*St. lugdunensis* та *St. aureus*) швидко змінюються та адаптуються до нових умов існування. За декілька років вектор розвитку резистентності цих двох видів змінювався залежно від розвитку методів лікування та географічного походження окремих ізолятів. Проте, *St. aureus* мутує та змінюється швидше ніж *St. lugdunensis*. Доказом цього є те, що ген blaZ у *St. lugdunensis* зустрічається дещо частіше ніж mecA на відміну від *St. aureus*, адже ген mecA виник в результаті більш «жорстких» факторів внутрішнього та зовнішнього середовища. Виявлення гена mecA у *St. lugdunensis* свідчить про те, що цей вид має високий потенціал до адаптації. Тому основним завданням науков-

ців, бактеріологів, клінічних фармакологів та лікарів-практиків є створення умов для унеможливлення розвитку резистентності *St. lugdunensis* до рівня *St. aureus* шляхом адміністрування антимікробних препаратів.

Головні висновки. *St. lugdunensis* колонізує біотопи тіла людини у 5 разів рідше ніж *St. aureus* і здатний знижувати носійство золотистого стафілокока у носовій порожнині через продукцію лугдуніна, який розглядають як потенційний антибіотик для лікування стафілококових інфекцій, викликаних *St. aureus*. Обидва види набувають стійкості до антимікробних засобів, але золотистий стафілокок мутує набагато швидше й набуває стійкості не тільки до метициліну, але й до ванкоміцину, тетрацикліну й кліндаміцину. Тому для того, щоб знизити резистентність цих патогенів до антибіотиків, необхідно проводити адміністрування антимікробних засобів у медзакладах, тобто відповідально ставитися до їх призначення пацієнтам з різного роду інфекційними захворюваннями.

Перспективи використання результатів дослідження. На основі отриманих результатів дослідження автори розробили навчальний відеофільм для використання в освітньому процесі студентів медичних і біологічних факультетів закладів вищої освіти [Режим доступу: https://youtu.be/omjgAOPbHpw]. Матеріали статті також рекомендовані як додаткове джерело фахової літератури для студентів – майбутніх лікарів при вивченні дисципліни «Мікробіологія, вірусологія та імунологія» та викладачів, що працюють на кафедрах медико-біологічного профілю.

Література

1. Bieber L., Kahlmeter G. Staphylococcus lugdunensis in several niches of the normal skin flora. *Clinical Microbiology and Infection.* 2010. Vol. 16, No 4. P. 385-388. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2009.02813.x
2. Taha L., Stegger M., Söderquist B. Staphylococcus lugdunensis: antimicrobial susceptibility and optimal treatment options. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases.* 2019. Vol. 38. P. 1449-1455. DOI: https://doi.org/10.1007/s10096-019-03571-6
3. Fernández-Fernández R., Lozano C., Ruiz-Ripa L., Robredo B., Azcona-Gutiérrez J.M., Alonso C.A., Aspiroz C., Zarazaga M., Torres C. Antimicrobial Resistance and Antimicrobial Activity of Staphylococcus lugdunensis Obtained from Two Spanish Hospitals. *Microorganisms.* 2022. Vol. 10(8), No 1480. P. 1-11. DOI: 10.3390/microorganisms10081480
4. Böcher S., Tønning B., Skov R.L., Prag J. Staphylococcus lugdunensis, a Common Cause of Skin and Soft Tissue Infections in the Community. *Journal of Clinical Microbiology.* 2009. Vol. 47, No 4. P. 946-950. DOI: https://doi.org/10.1128/jcm.01024-08
5. Hagiya H., Matsumoto M., Yamasawa T., Haruki Y., Otsuka F. A case of vascular graft infection caused by Staphylococcus lugdunensis after femoropopliteal bypass operation. *Acta Med Okayama.* 2014. Vol. 68, No 3. P. 171-175. DOI: 10.18926/AMO/52658. PMID: 24942796
6. Alessandro Conrado de Oliveira Silveira, Pedro Alves d'Azevedo. Staphylococcus lugdunensis: um olhar diferenciadono laboratório clínico. *Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial.* 2011. Vol. 47, No 2. P. 151-156.
7. Федорченко В.І., Лобань Г.А., Ганчо О.В., Чапала А.М., Сивовол В.М. Міра причетності Staphylococcus spp. у виникненні інфекційно-запальних процесів у хворих хірургічного профілю: аналіз результатів бактеріологічного дослідження. *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії*. 2024. № 24(1). С. 150-153. DOI: https://doi.org/10.31718/2077-1096.24.1.150
8. Argemi X., Hansmann Yv., Riegel P., Prévost G. Is Staphylococcus lugdunensis Significantin Clinical Samples? *Journal of Clinical Microbiology.* 2017. Vol. 55, No 11. P. 3167-3174. DOI: http://dx.doi.org/10.1128/JCM.00846-17
9. Lee E., Anjum F. Staphylococcus epidermidis Infection. *StatPearls* [Internet]. 2024. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563240/
10. Ehlers S., Merrill S.A. Staphylococcus saprophyticus Infection. *StatPearls* [Internet]. 2024. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482367/
11. Heilbronner S., Foster T.J. Staphylococcus lugdunensis: a Skin Commensal with Invasive Pathogenic Potential. *Clinical Microbiology Rev.* 2020. Vol. 34, No 2. P. 1-18. DOI: 10.1128/CMR.00205-20
12. Rosenstein R., Torres Salazar B.O., Sauer C., Heilbronner S., Krismer B., Peschel A. The Staphylococcus aureus-antagonizing human nasal commensal Staphylococcus lugdunensis depends on siderophore piracy. *Microbiome.* 2024. Vol. 12, No 213. P. 1-17. DOI: https://doi.org/10.1186/s40168-024-01913-x
13. Melnychuk I.O., Sharaieva M.L., Amrita Gargi, Lyzogub V.H. The main factors that improve gut microbiota composition. *Сучасні медичні технології.* 2024. Т. 16, № 2(61). P. 132-143. DOI: https://doi.org/10.14739/mmt.2024.2.298841
14. Krismer B., Weidenmaier C., Zipperer A., Peschel A. The commensal lifestyle of Staphylococcus aureus and its interactions with the nasal microbiota. *Nature Reviews Microbiology.* 2017. Vol. 15, No 11. P. 675-687. DOI: https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.104
15. Zipperer A., Konnerth M., Laux C., Berscheid A., Janek D., Weidenmaier C., Burian M., Schilling N.A., Slavetinsky C., Marschal M., Willmann M., Kalbacher H., Schittek B., Brötz-Oesterhelt H., Grond S., Peschel A., Krismer B. Human commensals producing a novel antibiotic impair pathogen colonization. *Nature.* 2016. Vol. 535. P. 511-516. DOI: https://doi.org/10.1038/nature18634
16. Jeremy R. Brozyna, Jessica R. Sheldon, David E. Heinrichs. Growth promotion of the opportunistic human pathogen, Staphylococcus lugdunensis, by heme, hemoglobin, and coculture with Staphylococcus aureus. *Microbiology Open.* 2014. Vol. 3, No 2. P. 182-195. DOI: https://doi.org/10.1002/mbo3.162
17. Heilbronner S. Staphylococcus lugdunensis. *Trends in Microbiology.* 2021. Vol. 29, No 12. P. 1143-1145.
18. Chang S., Kao C., Lin L., Hidrosollo J.H., Lu J. Lugdunin production and activity in Staphylococcus lugdunensis isolates are associated with its genotypes. *Microbiology Spectrum.* 2023. Vol. 11, No 5. P. 1-9. DOI: https://doi.org/10.1128/spectrum.01298-23

19. Chin D., Flannagan R.S., Tuffs S.W., Chan J.K., McCormick J.K., Heinrichs D.E. Staphylococcus lugdunensis Uses the Agr Regulatory System to Resist Killing by Host Innate Immune Effectors. *Infection and Immunity.* 2022. Vol. 90, No 10. P. 1-15. DOI: 10.1128/iai.00099-22
20. Brozyna J.R., Sheldon J.R., Heinrichs D.E. Growth promotion of the opportunistic human pathogen, Staphylococcus lugdunensis, by heme, hemoglobin, and coculture with Staphylococcus aureus. *Microbiologyopen.* 2014. Vol. 3, No 2. P. 182-195. DOI: 10.1002/mbo3.162
21. Benito D., Lozano C., Gómez-Sanz E., Zarazaga M., Torres C. Detection of methicillin-susceptible Staphylococcus aureus ST398 and ST133 strains in gut microbiota of healthy humans in Spain. *Microbial Ecology.* 2013. Vol. 66, No 1. P. 105-111. DOI: 10.1007/s00248-013-0240-1
22. Yeh C.F., Chang S.C., Cheng C.W., Lin J.F., Liu T.P., Lu J.J. Clinical Features, Outcomes, and Molecular Characteristics of Community- and Health Care-Associated Staphylococcus lugdunensis Infections. *Journal of Clinical Microbiology.* 2016. Vol. 54, No 8. P. 2051-2057. DOI: 10.1128/JCM.00847-16
23. McHardy I.H., Veltman J., Hindler J., Bruxvoort K., Carvalho M.M., Humphries R.M. Clinical and Microbiological Aspects of β-Lactam Resistance in Staphylococcus lugdunensis. *Journal of Clinical Microbiology.* 2017. Vol. 55, No 2. P. 585-595. DOI: 10.1128/JCM.02092-16
24. Ferreira R.B.R., Iorio N.L.P., Malvar K.L., Nunes A.P.F., Fonseca L.S., Bastos C.C.R., Santos K.R.N. Coagulase-Negative Staphylococci: Comparison of Phenotypic and Genotypic Oxacillin Susceptibility Tests and Evaluation of the Agar Screening Test by Using Different Concentrations of Oxacillin. *Journal of Clinical Microbiology*. 2003. Vol. 41, No 8. P. 1-11. DOI: 10.1128/jcm.41.8.3609-3614.2003
25. Ho P.L., Leung S.M., Chow K.H., Tse C.W., Cheng V.C., Tse H., Mak S.K., Lo W.K. Carriage niches and molecular epidemiology of Staphylococcus lugdunensis and methicillin-resistant S. lugdunensis among patients undergoing long-term renal replacement therapy. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease.* 2015. Vol. 81, No 2. P. 141-144. DOI: 10.1016/j.diagmicrobio.2014.10.004
26. Lakhundi S., Zhang K. Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus: Molecular Characterization, Evolution, and Epidemiology. *Clinical Microbiology Rev.* 2018. Vol. 31, No 4. P. 1-103. DOI: 10.1128/CMR.00020-18
27. Деркач С.А., Городницька Н.І., Куцай Н.М., Габишева Л.С., Куцина О.М. Метицилінрезистентні стафілококи: тенденція розповсюдження та фагочутливість. *IV Міжнародна науково-практична конференція :* Innovations and Prospects of World Science (1-3 грудня 2021 р.). Канада : Ванкувер, 2021. С. 131-137.
28. Carrel M., Smith M., Shi Q., Hasegawa S., Clore G.S., Perencevich E.N., Goto M. Antimicrobial Resistance Patterns of Outpatient Staphylococcus aureus Isolates. *JAMA Network Open.* 2024. Vol. 7, No 6. eLocator 2417199. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.17199
29. Robert A. Weinstein, Scott K. Fridkin. Vancomycin-Intermediate and -Resistant Staphylococcus aureus: What the Infectious Disease Specialist Needs to Know. *Clinical Infectious Diseases*. 2001. Vol. 32, No 1. P. 108-115. DOI: https://doi.org/10.1086/317542
30. Peter C. Appelbaum. Microbiology of Antibiotic Resistance in Staphylococcus aureus. *Clinical Infectious Diseases*. 2007. Vol. 45, No 3. P. 165-170. DOI: https://doi.org/10.1086/519474
31. Timothy J. Foster. Antibiotic resistance in Staphylococcus aureus. Current status and future prospects. *FEMS Microbiology Reviews*. 2017. Vol. 41, No 3. P. 430-449. DOI: https://doi.org/10.1093/femsre/fux007

УДК 594.38:595.122.2
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.18

ВПЛИВ ІОНІВ ЦИНКУ ТА КАДМІЮ НА КУМУЛЯТИВНІ ТА ТРОФОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ СТАВКОВИКА ОЗЕРНОГО

Василенко О.М.
Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир
o.vasylisa@gmail.com

У статті досліджено кумулятивні особливості за дії низьких концентрацій іонів кадмію та цинку (2 ГДК) та їх вплив на основні трофологічні показники ставковика озерного.

Lymnaea stagnalis - є поширеним об'єктом біомоніторингу, за рахунок його значущої ролі у функціонуванні водних екосистем, зокрема у самоочищенні води та формуванні трофічних зв'язків у гідроценозах.

Експериментальні дослідження проведені з використанням 261 екз. молюсків, зібраних у басейні річки Тетерів (Середній Дніпро). У лабораторних умовах тварини піддавали впливу іонів Zn^{2+} та Cd^{2+} у концентраціях, що відповідають допустимому рівню забруднення для рибогосподарських вод. Методами спектрофотометрії, біохімічного аналізу та трофологічного моніторингу оцінювали накопичення важких металів у тканинах (мантія, гепатопанкреас, нога, гемолімфа) та їх вплив на основні показники трофічної активності: середньодобовий раціон (ВСР), тривалість проходження корму (ТПК), коефіцієнт засвоюваності корму (КЗК), швидкість добової продукції екскрементів (ШДПЕ) та швидкість добової асиміляції (ШДА).

Отримані результати демонструють, що іони цинку накопичуються переважно у мантії, виконуючи фізіологічну роль мікроелемента, який стимулює метаболічні процеси. За впливом цинку відзначено зростання ВСР (1,83–2,12 рази), ТПК (1,33–1,70 рази), КЗК (1,37–1,54 рази) та ШДА (1,86–3,29). рази) у неінвазованих молюсків. У випадку інвазованих особин позитивний вплив Zn^{2+} менш виражений, хоча також спостерігалося зростання зазначених показників.

Іони кадмію, навпаки, виявляють високу токсичність, що проявляється пригнітенням усіх трофологічних параметрів. У молюсків, експонованих Cd^{2+}, спостерігалося зменшення ВСР (1,69–2,81 рази), ТПК (2,13–3,22 рази), КЗК (1,29–1,64 рази) та ШДА (2,17– 4,60 рази). Такий вплив впливає на формування депресивної фази трофічної активності, що є ознакою патологічного стану організму.

Отримані результати свідчать про диференційований вплив Zn^{2+} та Cd^{2+} на фізіологічні процеси у *Lymnaea stagnalis*. Іони цинку в низьких концентраціях чинять стимулюючий ефект, тоді як кадмій створює значне токсикологічне навантаження. Висновки дослідження мають практичне значення для моніторингу. *Ключові слова: Lymnaea stagnalis,* іони кадмію, іони цинку, кумуляція, трофіка.

Influence of zinc and cadmium ions on cumulative and trophology indicators of *Lymnaea stagnalis*. Vasylenko O.

The article investigates the cumulative features of exposure to low concentrations of cadmium and zinc ions (2 MPC) and their impact on the main trophic indicators of the lake pondweed.

Lymnaea stagnalis - is a common object of biomonitoring, due to its significant role in the functioning of aquatic ecosystems, in particular in the self-purification of water and the formation of trophic relationships in hydrocoenoses.

Experimental studies were conducted using 261 individuals of mollusks collected in the Teteriv River basin (Seredniy Dnipro). In laboratory conditions, animals were exposed to Zn^{2+} and Cd^{2+} ions in concentrations corresponding to the permissible level of pollution for fishery waters. The accumulation of heavy metals in tissues (mantle, hepatopancreas, leg, hemolymph) and their influence on the main indicators of trophic activity were assessed using spectrophotometry, biochemical analysis and trophic monitoring methods: average daily ration (ADR), feed passage duration (FPT), feed digestibility coefficient (FDC), daily excrement production rate (DEP) and daily assimilation rate (DAR). The results obtained demonstrate that zinc ions accumulate mainly in the mantle, performing the physiological role of a trace element that stimulates metabolic processes. Under the influence of zinc, an increase in ADR (1.83–2.12 times), FPT (1.33–1.70 times), FDC (1.37–1.54 times) and DAR (1.86–3.29 times) was noted in uninfested mollusks. In the case of infested individuals, the positive effect of Zn^{2+} is less pronounced, although an increase in these indicators was also observed.

Cadmium ions, on the contrary, exhibit high toxicity, which is manifested by the suppression of all trophic parameters. In mollusks exposed to Cd^{2+}, a decrease in HRV (1.69–2.81 times), TPC (2.13–3.22 times), CPC (1.29–1.64 times) and SDA (2.17–4.60 times) was observed. Such an effect affects the formation of a depressive phase of trophic activity, which is a sign of a pathological state of the organism.

The results obtained indicate a differentiated effect of Zn^{2+} and Cd^{2+} on physiological processes in *Lymnaea stagnalis*. Zinc ions in low concentrations have a stimulating effect, while cadmium creates a significant toxicological load. The findings of the study have practical significance for monitoring. *Key words: Lymnaea stagnalis*, cadmium ions, zinc ions, accumulation, trophic.

Забруднення водних екосистем важкими металами є однією з ключових екологічних проблем сучасності, яка стає значною загрозою для біорізноманіття та стабільності екосистем. Метали, такі як цинк (Zn) та кадмій (Cd), потрапляючи у воду з промисловими стоками та іншими джерелами антропогенного впливу, здатні кумулюватися в організмах гідробіонтів, впливаючи на їх фізіологічний стан, репродуктивну здатність та життєві функції [1].

Прісноводні молюски, відіграють важливу роль у трофічних мережах та самоочищенні водойм, є чутливими до таких забруднень, що робить їх

ефективними індикаторами екологічного стану водних об'єктів [2].

Актуальність дослідження зумовлена недостатністю розуміння специфіки дії цих металів на біохімічні та фізіологічні процеси гідробіонтів. Це дозволяє не лише оцінити ризики, пов'язані із забрудненням водних екосистем, але й розробити ефективні стратегії моніторингу та зменшення впливу токсикантів. Дослідження спрямоване на розв'язання актуальних завдань екологічної токсикології, що мають важливе значення як для фундаментальної науки, так і для прикладних досліджень. Вивчення впливу іонів важких металів (Zn і Cd) на фізіологічні та трофологічні показники молюсків *Lymnaea stagnalis* дозволяє не лише поглибити знання про фізіологічні адаптації молюсків до дії токсикантів, але й розробити ефективні методи біомоніторингу для оцінки екологічного стану водних екосистем та мінімізації впливу антропогенних забруднень.

Отримані результати можуть бути використані також для розробки екологічних стандартів і нормативів, що регулюють допустимі концентрації важких металів у водах. Це покращує ефективність контролю за станом водних об'єктів і збереженим біорізноманіттям шляхом раннього виявлення екологічних загроз.

Дослідження впливу важких металів на водні організми активно вивчають в галузі екологічної токсикології. Попередні роботи [3] засвідчили, що важкі метали, такі як цинк (Zn) і кадмій (Cd), здатні накопичуватися в тканинах гідробіонтів, впливаючи на їх метаболізм і фізіологічні функції. Особливу увагу приділено вивченню ролі важких металів у порушенні метаболізму, енергетичних процесів та ферментативної активності, а також їх взаємодії з іншими абіотичними чинниками середовища.

Роботи Романенка В.Д. детально описують роль Zn як незамінного мікроелемента, що бере участь у численних ферментативних процесах, включаючи карбоангідразу, фосфатазу та дегідрогеназу. Водночас Cd відомий своєю токсичною дією, яка проявляється через заміщення Zn в біологічних структурах і порушення ензиматичних функцій [4]. Інші дослідження [5] демонструють, що Cd викликає депресивні стани через його антагоністичний вплив на Zn, що у своєму випадку порушує нормальні фізіологічні процеси у гідробіонтів.

Проте, незважаючи на значний прогрес у розумінні впливу важких металів на водні організми, досі залишається недостатньо дослідженим вплив низьких концентрацій Zn і Cd на трофологічні показники молюсків, зокрема їхню здатність до асиміляції корму, швидкість обміну речовин та динаміку накопичення металів у різних тканинах. Крім того, вплив паразитарних інвазій

Для проведення трофологічних досліджень було використано 261 екз. виду *Lymnaea stagnalis*. Для визначення ступеня накопичення іонів важких металів (міді, цинку, кадмію та свинцю), було відібрано 73 екз. *L. stagnalis.* Молюсків збирали вручну у вересні з 2020 по 2024 рік у басейні Середнього Дніпра (річка Тетерів, Житомир). Концентрація кисню у водному середовищі коливалася від 8,2 до 8,5 мг/дм³, показник pH становив від 7,4 до 7,8, температура утримуваної води була в межах 18-20°C, а освітлення акваріумів забезпечувалося природним світлом. Вагу молюсків та досліджуваних зразків визначали за допомогою електронної ваги типу WPS 1200/C. Показник pH вимірювали іонометрично за допомогою приладу pH-1500M. Вміст кисню визначали методом Вінклера. У токсикологічних експериментах використовували $ZnCl_2$ та $CdCl_2 \cdot 2{,}5H_2O$ чистоти ч.д.а. у концентраціях, що відповідали двом гранично допустимим рибо-господарських концентраціям (0,01 мг/дм³ та 0,0005 мг/дм³) [6]. Розрахунки базуються на катіонному аналізі. Тривалість експозиції склала 14 діб, при цьому токсичне середовище змінювалося щоденно.

Визначення основних трофологічних показників проводили за методикою Вискушенка Д.А. [7]. У якості корму використовували листя частухи (*Alisma plantago*), рдесника (*Potamogeton natans*) та промацероване протягом п'яти діб і проварене листя тополі (*Populus alba*).

Зараженість молюсків партенітами та личинками трематод визначали шляхом мікроскопічного дослідження (збільшення 7х8) гістологічних препаратів, виготовлених із тканини гепатопанкреасу. Видову ідентифікацію трематод на живих зразках відповідно до методики [8]. Виявлено, що молюски були інвазовані редіями та церкаріями *Echinoparyphium aconiatum* Dietz.

Для аналізу вмісту важких металів досліджували черепашку, гепатопанкреас, ногу, мантію та гемолімфу молюсків. Зразки готували методом К'ельдаля, включаючи повне витягування тканини, фіксацію в 96% етиловому спирті (з подальшим випаровуванням при температурі 105°C протягом 6–12 годин) та спалювання в азотній кислоті (ОСЧ) до повного знебарвлення (12–24 години). Вміст важких металів визначали за допомогою атомно-адсорбційного спектрофотометра С-115М з напівм'яким аналізатором (стандарт СЭВ 5346). Загалом виконано 1292 аналізи, а концентрації металів виражено в мг/кг сирої маси з урахуванням природної вологи тканини. Статистична обробка результатів виконувалась за стандартними методиками [9].

Експериментальне утримання молюсків у середовищі, забрудненому іонами цинку та кадмію, призвело до нерівномірного накопичення важких металів у організмі *L. stagnalis*, крім того, кадмій і цинк найбільше зберігалися в мантії, тоді як свинець мав досить стабільний рівень у різних тканинах молюсків. Аналіз накопичення іонів важких металів крім органів і тканин показав, що найбільшу кількість депонують цинк, а най-

меншу – кадмій і мідь. Переважний рівень цинку в досліджуваних молюсках пов'язаний з тим, що цинк є необхідним компонентом карбоангідрази, яка розщеплює вугільну кислоту. Його відбувається порушує тканинний обмін. Співвідношення важких металів у черепашці, гепатопанкреазі та нозі як у вільних від інвазії молюсків, так і в інвазованих, було аналогічним. За показниками накопичення важких металів у цих тканинах утворювалися такі ряди: Cu < Cd < Pb < Zn. Відмінності в рівнях накопичення важких металів у черепашці, гепатопанкреазі та нозі стосуються трьох іонів – кадмію, цинку та міді. Ступінь накопичення ВМ органами та тканинами гідробіонтів залежить не лише від концентрації металів у навколишньому середовищі, але й від їх взаємодії під час обміну речовин у організмі тварин.

Цинк є складовою частиною карбоангідразу, дегідрогеназ, фосфатаз, протеїназ, пептидаз та ферментів нуклеїнового обміну, а також важливу роль у механізмах спадковості завдяки участі у стабілізації рибосом та біополімерів [10]. Кількість цинку в організмі впливає на протікання гліколітичних та окислювальних процесів у м'язовій тканині [11]. Для металів, які не забезпечують фізіологічних функцій у організмі (кадмій, свинець), характерний низький рівень регуляції їх надходження [12]. Відомо [13], що кадмій є антагоністом цинку, що призводить до заміщення останнього в біологічних структурах та порушення ензиматичних процесів [14].

Під впливом іонів кадмію спостерігалося збільшення вмісту кадмію в гепатопанкреазі, мантії та гемолімфі (рис. 1). Вплив іонів цинку спричинив зростання їх вмісту лише в мантії піддослідних тварин.

Дія іонів цинку призвела до збільшення всіх трофологічних показників, окрім ШДПЕ у неінвазованих особин ставковика озерного. Як у інвазованих, так і у неінвазованих молюсків було зафіксовано статистично значуще підвищення ВСР від 1,83 до 2,12 рази (рис. 2). Зростала також тривалість ТПК (від 1,33 до 1,70) (рис. 3). Значення КЗК збільшилося від 1,37 до 1,54 у неінвазованих особин, тоді як при споживанні листя рдесника в інвазованих особин показник збільшився на 13%. При інших видах корму в інвазованих тварин із забрудненого середовища значення КЗК залишилися в межах показників контрольної групи (рис. 4).

Також було зафіксовано підвищення показника ШДА як у інвазованих, так і в інтактних особинах від 1,86 до 3,29 рази (рис 5). Щодо ШДПЕ, інвазія виявилась стимулюючим фактором, що виражалося у підвищених показниках цього показника від 1,13 до 2,25 рази (за іншими листками рдесника) (рис. 6). Водночас у інтактних тварин спостерігалося зниження цього показника.

Результати проведеного дослідження демонструють специфіку накопичення важких металів у тканинах *Lymnaea stagnalis*, можуть бути використані для моніторингу забруднення водних екосистем. Визначення концентрацій важких металів у молюс-

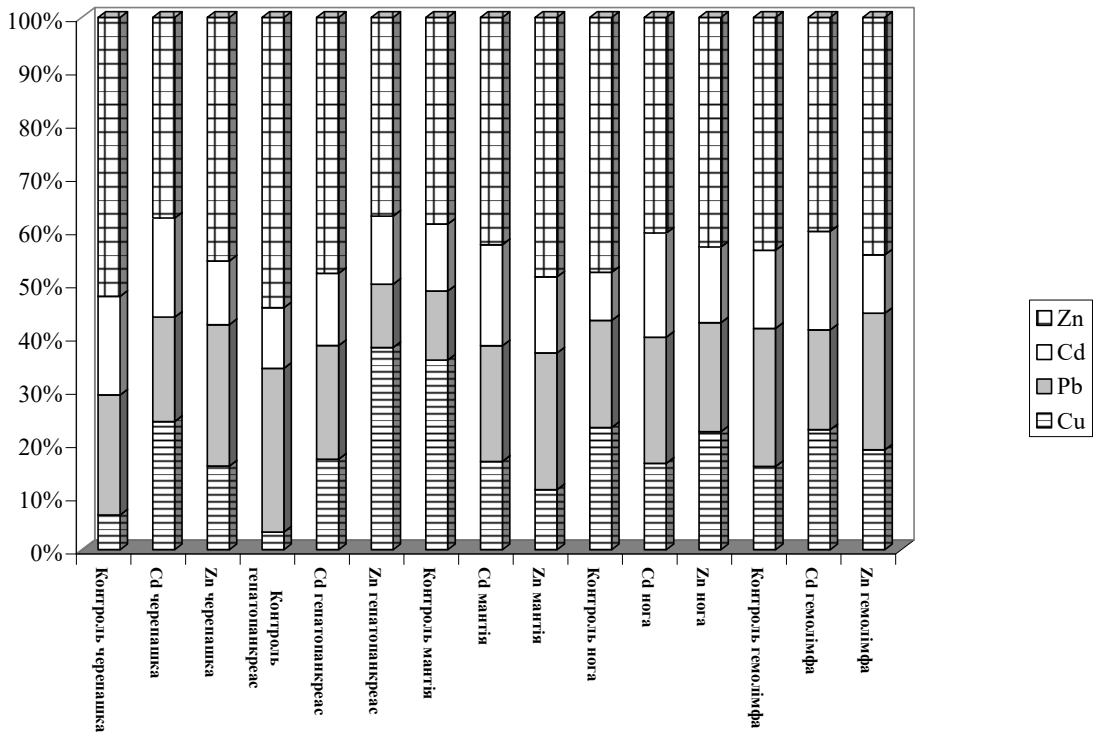


Рис. 1. Розподіл іонів важких металів в організмі Lymnaea stagnalis за дії іонів кадмію та цинку

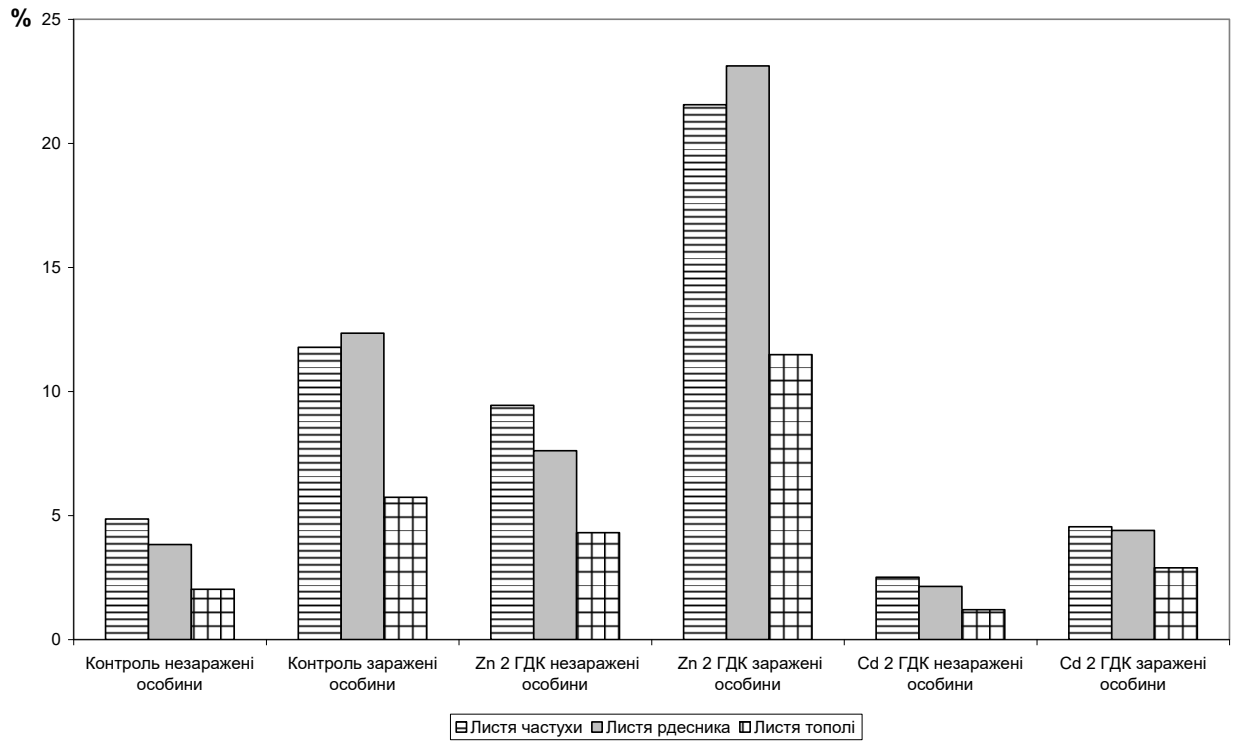


Рис. 2. Вплив іонів важких металів на величину середньодобового раціону Lymnaea stagnalis

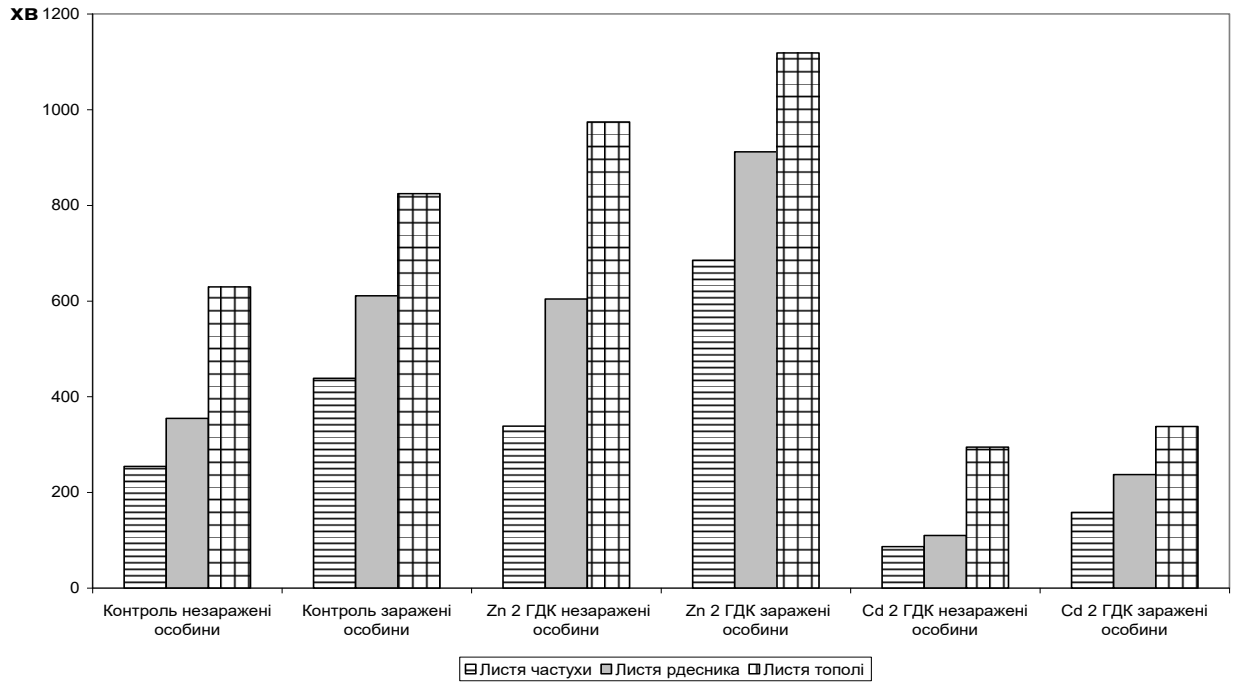


Рис. 3. Вплив іонів важких металів на тривалість проходження корму Lymnaea stagnalis

ках може служити біоіндикатором рівня антропогенного навантаження на водні об'єкти.

Накопичувальні властивості *Lymnaea stagnalis* щодо важких металів вказують на потенціал їх використання в біоремедіації забруднених вод. Молюски можуть бути частиною системи зниження біофільтрації, забезпечуючи рівень токсичних елементів у воді.

Інформація про фізіологічний стан інвазованих молюсків дозволяє глибше зрозуміти взаємодію паразитів і хазяїв у контексті забруднених середовищ.

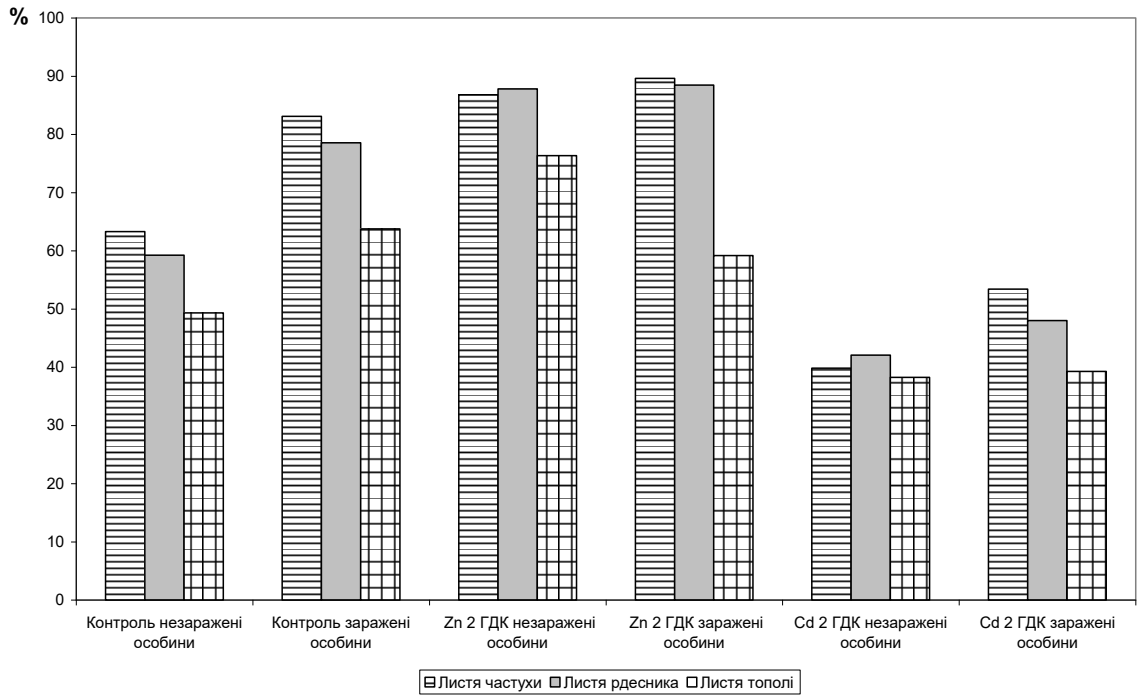


Рис. 4. Вплив іонів важких металів на коефіцієнт засвоюваності корму Lymnaea stagnalis

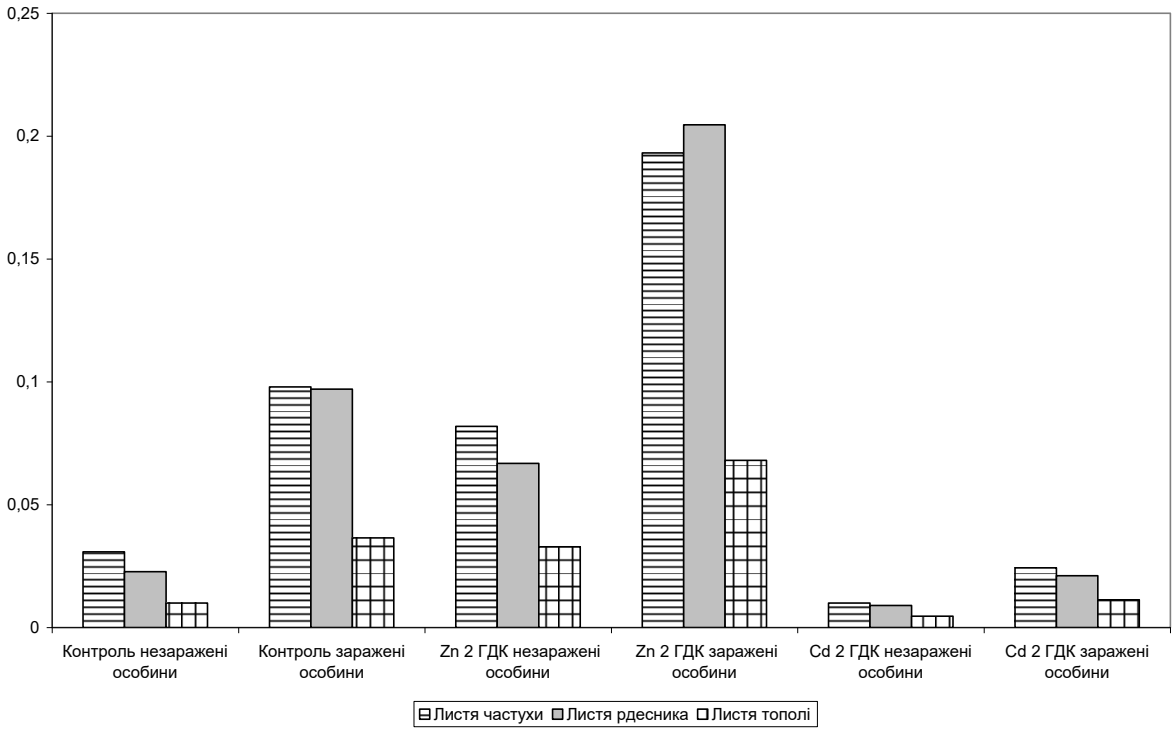


Рис. 5. Вплив іонів важких металів на швидкість добової асиміліції Lymnaea stagnalis

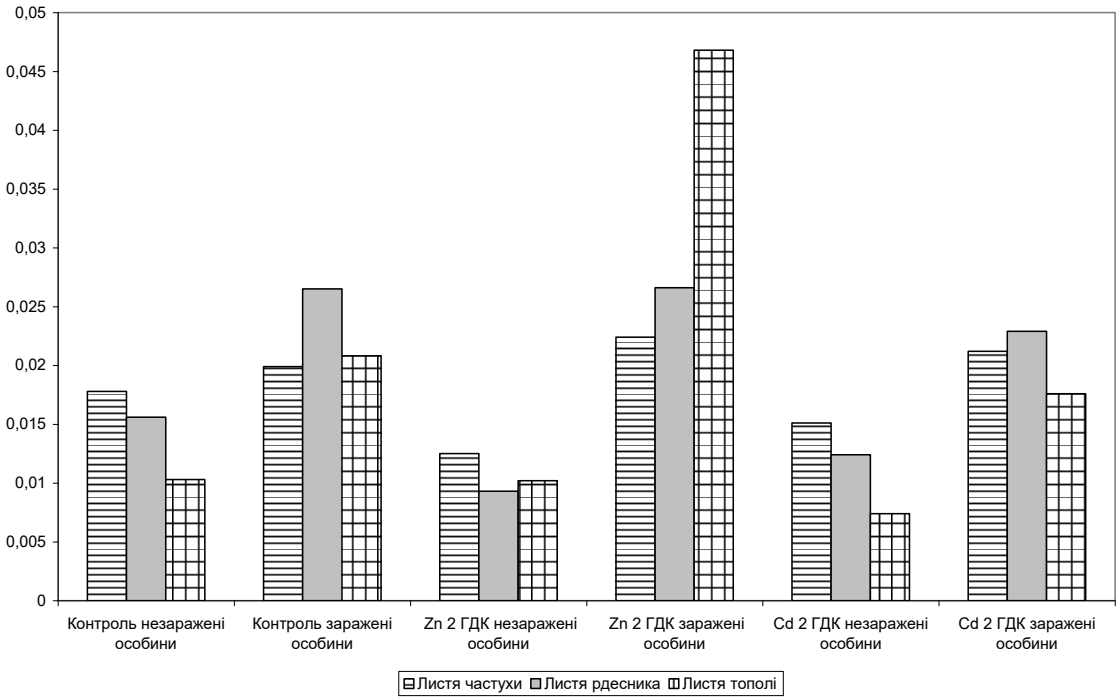


Рис. 6. Вплив іонів важких металів на швидкість добової продукції екскрементів Lymnaea stagnalis

Література

1. Киричук Г. Є. Особливості кумуляції іонів важких металів у організмі прісноводних молюсків. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Біологія. 2019. № 2(51). С. 51–56.
2. Пінкіна Т. В., Пінкін А. А. Оцінка впливу іонів важких металів на харчову поведінку молюсків (Gastropoda). Біологія та екологія. 2019. Т. 5, № 2. С. 83–90.
3. Гандзюра В. П., Клименко М. О., Бєдункова О. О. Біосистеми в токсичному середовищі: монографія. Рівне: НУВГП, 2021. 261 с.
4. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. Київ: ЛОГОС, 2006. 628 с.
5. Василенко О. М. Вплив трематодної інвазії на особливості трофіки *Lymnaea balthica* (Mollusca: Pulmonata). Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2003. Вип. 33. С. 147–151.
6. Пінкіна Т. В. Екотоксикологічна характеристика ставника озерного для дії на нього важких металів водного середовища. Природничий альманах. Серія: Біологічні науки. 2010. № 14. С. 138–151.
7. Вискушенко Д. Вплив сульфату міді та хлориду цинку на *Lymnaea stagnalis* L. Гідробіологічний журнал. 2002. Т. 38, № 4. С. 86–92.
8. Здун В. І. Личинки трематоди в прісноводних молюсках України. Київ: Вид-во АН УРСР, 1969. 141 с.
9. Головко Н. П., Головко Т. М., Геліх А. В. Дослідження накопичення важких металів у м'якому тілі присноводних молюсків роду Anodonta. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Ветеринарна медицина. 2014. № 4(35). С. 45–49.
10. Киричук Г. Є., Стадніченко А. п. Вплив заряду трематодами та іонів цинку водного середовища на гемоцити та деякі гематологічні характеристики Planorbarius purpura (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Bulinidae). Гідробіологічний журнал. 2011. Т. 47, № 1. С. 105–113.
11. Лукашов Д. В. Використання молюсків як акумуляторів важких металів для моніторингу прісноводних екосистем. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Біологія. 2011. № 1(46). С. 123–128.
12. Грубінко В. В., Киричук Г. Є., Курант В. З. Енергетична роль амінокислот в адаптації до важких металів прісноводних риб і молюсків. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. 2019. № 51. С. 71–86.
13. Киричук Г. Є., Музика Л. В., Микула М. М. Особливості впливу низьких концентрацій іонів важких металів на вміст β-каротину в Lymnaea stagnalis. Гідробіологічний журнал. 2024. Т. 60, № 4. С. 72–84.
14. Киричук Г. Є. Фізіолого-біохімічні механізми адаптації присноводних молюсків до зміни біотичних та абіотичних чинників водного середовища: автореф. дис. … д-ра біол. наук: 03.00.17. Київ, 2011. 45 с.

УДК 502:581.9
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.19

БІОРІЗНОМАНІТТЯ ФЛОРИ ВЕЛИКОГО ЛУГУ ДО СТВОРЕННЯ КАХОВСЬКОЇ ГЕС

Іваненко М.К.[1], **Притула Н.М.**[2]
[1]Департамент захисту довкілля Запорізької обласної державної адміністрації
пр. Соборний, 164, 69107, м. Запоріжжя
[2]Запорізький національний університет
вул. Гоголя, 62, 69600, м. Запоріжжя
ivanenkom2000@gmail.com, prytulanataliam@gmail.com

Ця стаття досліджує біорізноманіття флори Великого Лугу до створення Каховської ГЕС, що є ключовим аспектом в історичному та екологічному контексті України. Великий Луг, регіон із багатою історією та унікальною екосистемою, був затоплений у середині XX століття під час створення Каховського водосховища, що призвело до значних змін у місцевій флорі. Це дослідження спирається на історичні записи та ботанічні описи, щоб відтворити картину різноманітності флори до гідроенергетичної інтервенції. Ця стаття висвітлює важливість збереження відновленого природного навколишнього середовища в сучасних умовах.

До створення водосховища, Великий Луг був домом для багатьох рідкісних та ендемічних видів рослин. Регіон характеризувався високою концентрацією флористичних видів, включаючи лугові, болотні та лісові екосистеми. Дослідження включає аналіз таких аспектів, як видовий склад рослин, їх екологічну значимість та залежність від природних умов. Особливу увагу приділено втраченим видам та екосистемам, які колись були характерні для цього регіону. Розглядається також екологічна цінність та функціональна роль цих видів у підтримці загального екологічного балансу.

Дослідження також розглядає ширші екологічні наслідки створення водосховища. Затоплення призвело до зникнення великої кількості природних місць існування, що спричинило зменшення біорізноманіття та зміну екологічних балансів у регіоні. Стаття аналізує, як змінилися природні умови, і як це вплинуло на рослинність, а також розглядає потенційні шляхи для їх відновлення та консервації. Так, наприклад, вивчається можливість відтворення зниклих екосистем за допомогою реставраційних екологічних проектів.

Висновки цього дослідження підкреслюють важливість історичного бачення та збереження природних екосистем. Пропонується новий погляд на значення та потенціал збереження біорізноманіття у контексті антропогенних змін. Водночас робота підкреслює необхідність глибшого розуміння історичного екологічного спадку та його значення для сучасних та майбутніх екологічних стратегій. Такий підхід дозволяє оцінити втрати біорізноманіття на більш глибокому рівні та розробити стратегії, що сприятимуть збереженню та відновленню втрачених екосистем, що є ключовим для збалансованого екологічного майбутнього. Окрім того, важливим аспектом є залучення місцевих громад і організацій до процесу збереження природи, що дозволяє створювати стійкі та ефективні механізми захисту навколишнього середовища. *Ключові слова:* біорізноманіття флори, екологічний вплив, екосистема Великого Лугу, стратегії збереження.

Biodiversity of the flora of the Great Meadow prior to the construction of the Kakhovka hydroelectric station. Ivanenko M., Prytula N.

This article explores the biodiversity of the flora of the Great Meadow prior to the creation of the Kakhovka Hydroelectric Station, which is a key aspect in the historical and ecological context of Ukraine. The Great Meadow, a region with a rich history and unique ecosystem, was flooded in the mid-20th century during the creation of the Kakhovka Reservoir, leading to significant changes in the local flora. This study relies on historical records and botanical descriptions to reconstruct the picture of flora diversity before hydroelectric intervention. The article highlights the importance of preserving the restored natural environment in modern conditions.

Before the creation of the reservoir, the Great Meadow was home to many rare and endemic species of plants. The region was characterized by a high concentration of floristic species, including meadow, swamp, and forest ecosystems. The research includes an analysis of aspects such as the species composition of plants, their ecological significance, and their dependence on natural conditions. Particular attention is paid to lost species and ecosystems that were once characteristic of this region. The ecological value and functional role of these species in supporting the overall ecological balance are also considered.

The study also examines the broader ecological consequences of creating a reservoir. Flooding led to the disappearance of a large number of natural habitats, resulting in reduced biodiversity and altered ecological balances in the region. The article analyzes how natural conditions have changed and how this has affected vegetation, and also considers potential paths for their restoration and conservation. For example, the possibility of reproducing lost ecosystems through restorative ecological projects is explored.

The conclusions of this study underscore the importance of historical vision and the conservation of natural ecosystems. A new perspective on the value and potential of biodiversity conservation in the context of anthropogenic changes is proposed. Simultaneously, the work emphasizes the need for a deeper understanding of the historical ecological legacy and its significance for contemporary and future ecological strategies. This approach allows for a deeper assessment of biodiversity loss and the development of strategies that promote the conservation and restoration of lost ecosystems, which is key for a balanced ecological future. Additionally, an important aspect is the involvement of local communities and organizations in the nature conservation process, which allows for the creation of sustainable and effective mechanisms for environmental protection. *Key words:* flora biodiversity, ecological impact, Great Meadow ecosystem, conservation strategies.

Постановка проблеми. Екосистема Великого Лугу, до затоплення Каховським водосховищем, була однією з найбагатших та унікальних природних територій України. Стаття досліджує різноманіття флори, яка існувала на цих землях до їх трансформації людиною. Основна мета дослідження полягає у відтворенні цілісного образу втраченої екосистеми, зосереджуючись на ботанічному біорізноманітті, яке зазнало незворотних змін.

Великий Луг, що був затоплений під час створення Каховського водосховища в середині 20-го століття, відігравав ключову роль у біорізноманітті України. Цей регіон не лише був домом для великої кількості рідкісних видів рослин і тварин, але й мав величезне історичне та культурне значення, оскільки там розміщувалась Запорізька Січ. Створення Каховського водосховища стало великою втратою для природи, науки та української ідентичності [6, 10].

Створення водосховища спричинило значні екологічні та соціальні проблеми, зокрема втрату значних площ природної заплави річки Дніпро, яка була важливою для біорізноманіття та сезонних міграцій птахів. Ці території були багаті на різноманіття рослин і тварин, знищені внаслідок затоплення [13].

Актуальність дослідження. Дослідження зміни рослинного біорізноманіття Великого Лугу до створення Каховської ГЕС є важливим у контексті екоциду, що спричинений внаслідок воєнних дій. Створення бази даних про флористичне різноманіття особливо важливо для розуміння сукцесійних процесів та планування відновлення території. Дослідження також має значення для реалізації Європейської «Стратегії біорізноманіття до 2030 року» і в умовах глобальних кліматичних змін, оскільки сприяє розумінню стійкості екосистем.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження біорізноманіття флори Великого Лугу до створення Каховської ГЕС має безпосередній зв'язок із кількома важливими науковими та практичними завданнями сучасності. По-перше, робота відповідає цілям «Стратегії біорізноманіття ЄС до 2030 року» щодо відновлення природних екосистем та збереження біологічного різноманіття. В умовах руйнування Каховської ГЕС у 2023 році, дослідження історичного стану флори регіону набуває особливої актуальності для розробки планів відновлення природного середовища.

Робота також пов'язана з важливим практичним завданням фіторемедіації територій, що звільнились після спуску водосховища. Розуміння історичного видового складу рослинності дозволяє визначити найбільш ефективні природні механізми відновлення ґрунтів та екосистем. Це особливо важливо з огляду на те, що значна частина земель наразі непридатна для сільськогосподарського використання через забруднення.

Дослідження також корелює з науковими завданнями вивчення процесів природного відновлення екосистем після антропогенного втручання. Досвід відновлення флори на території колишнього Каховського водосховища може стати цінним матеріалом для розробки методології реабілітації подібних територій в інших регіонах України та світу.

Крім того, робота має важливе значення для збереження історико-культурної спадщини України, оскільки Великий Луг є не лише природним, але й історичним об'єктом, пов'язаним із Запорізькою Січчю. Відновлення природного ландшафту території сприятиме збереженню її історичного та культурного значення для майбутніх поколінь**.**

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія Великого Лугу є свідченням втрати значної частини природного спадку України. Згідно з історичними джерелами, ця територія була домом для численних видів рослин, серед яких багато ендеміків та реліктових видів. Наукові роботи, які досліджують флору регіону до створення Каховського водосховища, вказують на високий рівень біорізноманіття та екологічної цінності цієї зони.

Дослідження біорізноманіття регіону Нижнього Дніпра, який також відомий у деяких археологічних колах як регіон Малої Скіфії, виявляє його унікальні екологічні особливості. Згідно з науковими роботами Нємцева (2014), Гаврилюка та Матери (2016), а також Дайнеко та інших, цей регіон раніше був місцем процвітання різноманітних екосистем з багатим біорізноманіттям [1, 2, 4, 11]. Історія цих екосистем все ще не повністю з'ясована, незважаючи на тривалий час від їх формування (3-2 століття до н.е.). Археологічні дані, які ще не в повній мірі вивчені та представлені науковій спільноті, свідчать про наявність складних багатошарових екосистем, що були домом для різних культур протягом століть [7].

В контексті визначення біологічної різноманітності поселень Нижнього Дніпра було виділено два основні екологічні напрямки: один пов'язаний з «пізньоскіфськими» номадськими народами, а інший – з «післяскіфською» ерою, де важливу роль відігравали мешканці давніх центрів, які формували основу місцевих екосистем [4]. Вони зазначають, що екологічні та біорізноманітні характеристики регіону зазнавали впливу економічних та політичних факторів полісу Ольвії, особливо після того, як населення Ольвії через напади готів (1 століття до н.е.) було змушене переселитися на береги Нижнього Дніпра [12, 15]. Сучасні дослідження спрямовані на глибше розуміння ролі цих культур у формуванні місцевого біорізноманіття.

Дослідження, проведені у першій половині 20-го століття, підкреслюють унікальний характер екосистеми Великого Лугу. Рослинність регіону була представлена широким спектром біомів, включаючи болотні зони, ліси, степові ділянки та багаті річкові заплави. Це різноманіття створювало унікальне сере-

довище, де взаємодіяли різні види флори, формуючи мозаїчність біотопів [5].

З приходом епохи індустріалізації та планів розвитку гідроенергетики в регіоні, цінність та необхідність збереження цього біорізноманіття постала під загрозу. Зокрема, будівництво Каховської ГЕС призвело до значних змін у природному ландшафті, що неминуче позначилося на флорі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри значний обсяг досліджень флори Великого Лугу, ряд важливих аспектів залишається недостатньо вивченими. Відсутній комплексний аналіз видового складу до затоплення, що ускладнює оцінку втрат біорізноманіття.

Також недостатньо досліджені екологічні зв'язки між компонентами екосистеми, а дані про ендемічні види рослин, втрачені через затоплення, відсутні. Не проведено системного аналізу впливу історичних змін землекористування на біорізноманіття, зокрема у контексті господарської діяльності.

Крім того, потребує вивчення можливість відновлення окремих компонентів екосистеми після руйнування Каховської ГЕС у 2023 році. Методологічні підходи до відтворення історичного стану біорізноманіття також недостатньо розроблені. Дослідження цих аспектів є критично важливим для розуміння екологічної спадщини України та розробки стратегій відновлення природних екосистем.

Новизна. Наукова новизна дослідження полягає у комплексному аналізі та систематизації даних про біорізноманіття флори Великого Лугу до створення Каховської ГЕС.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження біорізноманіття флори Великого Лугу до будівництва Каховської ГЕС має важливе методологічне та загальнонаукове значення. По-перше, забезпечення методологічної бази для дослідження історичних екосистем та їх розвитку під впливом антропогенних чинників. По-друге, результати дослідження є основою для розробки стратегій відновлення природних екосистем, особливо в контексті сучасних екологічних проблем. Отримані результати можуть бути використані як методологічна основа для України та інших регіонів світу, де природні екосистеми зазнають значних антропогенних змін.

Виклад основного матеріалу. В даній науковій статті ми використовуємо комплексний підхід до аналізу та інтерпретації даних, використовуючи як прямі, так і непрямі методи дослідження. Це дозволяє нам забезпечити більш всебічне та об'єктивне розуміння досліджуваних явищ.

Одним з ключових прямих методів, який ми застосовуємо, є порівняльний аналіз. Цей метод дозволяє нам здійснювати зіставлення та протиставлення фактів, подій та явищ, що мають місце в різних контекстах або періодах. За допомогою порівняльного аналізу ми здатні ідентифікувати ключові відмінності та схожості, що дає нам можливість глибше зрозуміти природу та характеристики досліджуваних об'єктів.

Іншим важливим прямим методом є історико-культурний аналіз. Цей метод включає вивчення та аналіз історичних та культурних контекстів, що вплинули на розвиток та еволюцію досліджуваних подій або явищ. Використання цього методу дозволяє нам розкрити вплив історичних умов та культурних особливостей на формування та розвиток об'єктів нашого дослідження.

Щодо непрямих методів, то велике значення має статистичний аналіз. Цей метод дозволяє нам обробляти та аналізувати кількісні дані, виявляючи закономірності, тенденції та кореляції між різними змінними. Статистичний аналіз є невід'ємною частиною нашого дослідження, оскільки він забезпечує точність та об'єктивність висновків.

Аналіз документів також відіграє важливу роль у нашому дослідженні. Цей метод включає вивчення різноманітних документів, таких як офіційні записи, листи, звіти та публікації. Аналіз документів дозволяє нам зібрати додаткові дані та докази, що сприяють глибшому розумінню та інтерпретації досліджуваних явищ.

Останнім, але не менш важливим, є метод гіпотез та прогнозування. У нашому дослідженні ми формулюємо гіпотези на основі існуючих теорій та попередніх досліджень. Ці гіпотези перевіряються шляхом емпіричних досліджень, що дозволяє нам підтвердити або спростувати їх. Також ми розробляємо прогнози щодо майбутніх тенденцій та розвитку досліджуваних явищ, що має значне теоретичне та практичне значення.

У сукупності, ці методи забезпечують комплексний підхід до нашого дослідження, дозволяючи глибоко аналізувати та об'єктивно оцінювати досліджувані явища.

У рамках нашого дослідження флористичного складу злакових, які росли у регіоні Великого Лугу до створення Каховської ГЕС, було ідентифіковано та проаналізовано значну кількість видів. Всього було виявлено 54 родини, які включають в себе певну кількість видів, варіюючи від одного до тринадцяти видів в родині.

Серед найбільш чисельних родин виявлено Agropyrum Gaertn з дванадцятьма видами та Bromus L. з тринадцятьма видами. Також варто зазначити значну кількість видів у родинах Avena L., Hordeum L., та Poa L., де кожна містить від шести до десяти видів (рисунок 1). Найменш представлені родини, такі як Corynephorus P. B., не містили жодного виду згідно з нашими даними.

Ці дані свідчать про високий рівень біорізноманіття злакових у досліджуваному регіоні та підкреслюють значення Великого Лугу як екологічно цінного територіального комплексу з унікальними флористичними характеристиками.

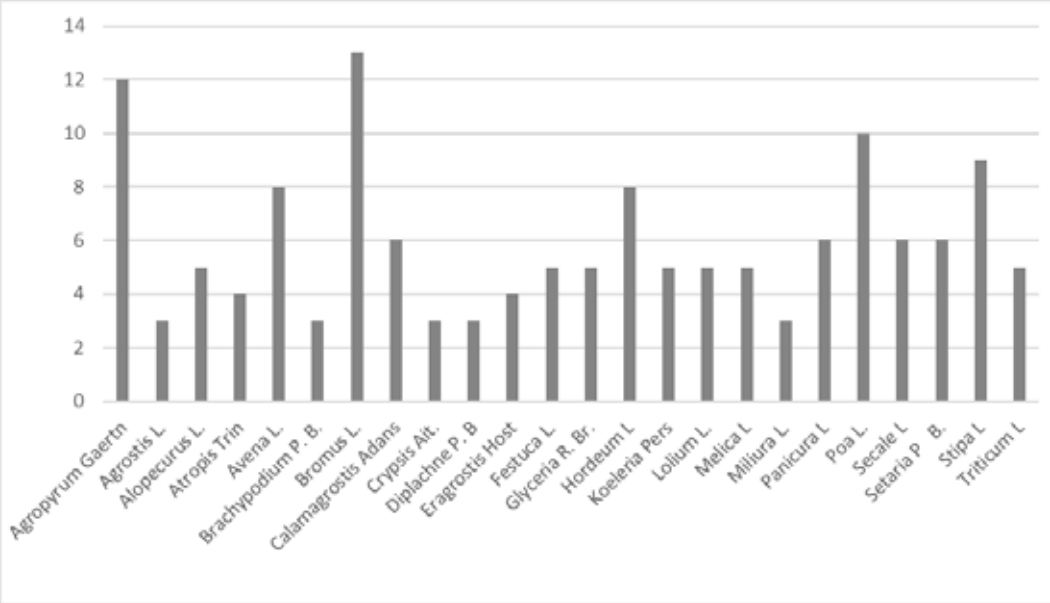


Рис. 1. Біорізноманіття території за родинами

Розуміння цього різноманіття є критично важливим для розробки ефективних стратегій збереження та відновлення екосистем, особливо в контексті історичних екологічних змін, спричинених людською діяльністю.

Можливість відродження Великого Лугу як природної зони існує. Попри первісно катастрофічні оцінки, які отримали широке висвітлення у ЗМІ і серед провідних екологів України, та які описували стан як «опустелювання» через оголене дно водосховища, це становище виявляється тимчасовим і негативно впливає на природу лише на короткий термін. Справді, ця область деякий час нагадувала пустелю. Перш за все, водосховище було джерелом випарування, що спричиняло втрату води в регіоні. Друге, тривале перебування під водою перетворило родючі долини Дніпра на мілководдя з бідною біотою, яке протягом 70 років слугувало штучною конструкцією, створеною людиною [5]. Однак, можна очікувати, що дно водосховища скоро зазнає значних змін, оскільки природна рослинність знову його оживить, перетворивши на обширну дику природу у степовій зоні України.

Експедиція до Оскільського водосховища на Харківщині, яке також було спущене через російський теракт у 2022 році, демонструє, що природні екосистеми відновлюються вже за рік, стаючи привабливими для птахів. Дослідження на ділянках Каховського водосховища показують, що рослинність почала відновлюватися вже через місяць після теракту. Особливо помітне проростання аборигенних видів, зокрема верби білої Salix alba, на сухому дні, які значно перевищують кількість чужорідних видів [8, 9].

Спрогнозовані пилові бурі не відбулися, незважаючи на спекотне літо, а з настанням осіннього дощового періоду ймовірність їх ще більше зменшується завдяки росту рослинного покриття на дні водосховища. Це підкреслює здатність природи до швидкого самовідновлення і зменшує необхідність термінових заходів зі висівання дикорослих трав. Вітрова ерозія ефективно контролюється самою природою, оскільки оголені ділянки активно заростають і закріплюються рослинністю, що зводить на нівець потребу у витратах на «висівання». Крім того, проблематично знайти необхідну кількість насіння дикорослих рослин та практично використовувати традиційні методи агростепу, особливо в умовах воєнних дій у регіоні. Таким чином, водосховище має всі шанси відновитися натуральним шляхом до того, як будь-які ренатуралізаційні роботи стануть можливими.

Прогнозування відновлення рослинності на дні колишнього водосховища є складним завданням. За аналогією можна припустити, що тут виникне складний комплекс водної, прибережно-водної, болотної, лучної та лісової рослинності [3]. Однак, основною проблемою у відновленні рослинного покриву стане брак насіння. Це меншою мірою стосується водолюбних та болотних рослин, оскільки їхнє насіння може плавати, а річкове русло та великі озера слугуватимуть як шляхи для розсіювання діаспор. Проте ситуація стане більш складною для насіння, необхідного для створення лучних та лісових угруповань, яке переноситься не тільки вітром, але і тваринами. Цей процес ефективний у непорушених та неізольованих екосистемах [3]. Особливо активно в процесі колонізації будуть рослини, насіння яких розповсюджується вітром, як, наприклад, верба біла. Важливою є також сезонність: перед підривом дамби верби встигли сформувати плоди, насіння яких роз-

летілося і виявилося на поверхні води, що сприяло їх швидкому поширенню. Аналогічно поводиться і в'яз. Більшість інших рослин мають насіння, що дозріває пізніше і поступово потрапляє на новоутворену сушу. Відновлення лук і лісів буде просуватися з периферії до центру.

На початковому етапі важливу роль відігравати-муть синантропні види, включаючи адвентивні, які здатні швидко розповсюджувати велику кількість насіння. Таким чином, певний час днище водосховища буде нагадувати рослинність смітників.

Ще одним важливим аспектом є стан ґрунту. За багато років утворилися потужні донні відклади, які рівномірно розподілили родючість ґрунту, на відміну від природних заплав, де вона значно відрізняється. Це сприятиме розвитку рослин, що воліють багаті субстрати. Для зимуючих птахів це стане значною підтримкою.

Важливим буде також характер весняних повеней: як високо вони підніматимуться, скільки часу залишатимуться в низинах тощо. Під час повені також активно формуватиметься русло Дніпра, заповнюватимуться озера та інші низини. Через декілька років важливу роль зіграє сольовий режим ґрунту, який поступово збільшуватиме свій вплив.

Ми з оптимізмом дивимося на перспективу відновлення природної рослинності, прогнозуючи швидке повернення водної, прибережної та болотної флори. У сухопутних районах спочатку переважатимуть рослини, типові для засмічених антропогенних територій, але вже через 5-10 років очікується зростання лісів з верби, вільхи, в'яза та клена ясенелистого. Чагарникові зарості, особливо з верби і аморфи кущової, також займуть значні території. Стійкі лісові екосистеми слід очікувати на другому або третьому поколінні дерев-піонерів [14]. Відновлення лучної рослинності залежить від використання земель і без втручання людини обмежиться невеликими галявинами та узліссями, оточеними лісами та чагарниками.

Відновлення Великого Лугу сприятиме природі. В минулому на місці Каховського водосховища був найбільший в степовій зоні України заплавний ліс, який і мав назву «Великий Луг». Це створює унікальну можливість для України використовувати природні процеси для досягнення цілей збільшення лісистості, не завдаючи шкоди іншим екосистемам. Деякі ділянки природно заростатимуть луками, але варто зазначити, що це буде відновлення екосистем, схожих на втрачені, але не ідентичних їм. Оригінальні екосистеми були унікальними, сформованими століттями взаємодії природних і антропогенних чинників у власному балансі.

Головні висновки. Завершуючи наше дослідження біорізноманіття флори Великого Лугу перед створенням Каховської ГЕС, ми стикаємося з величезною втратою неповторного природного ландшафту, який колись був справжнім скарбом України. Регіон Великого Лугу, який зазнав радикальних змін в результаті створення водосховища, був не просто біорізноманітним осередком, а місцем зі сплетінням унікальних екосистем, що формувалися тисячоліттями. Результати нашого дослідження не тільки відображають минуле багатство флори регіону, але й підкреслюють гостру необхідність збереження та відновлення тих унікальних природних комплексів, які ми ще можемо зберегти чи відновити.

Виявлені у ході дослідження факти про флористичний склад злакових Великого Лугу до гідротехнічного будівництва є свідченням про багатство та різноманіття екосистеми, яка існувала до антропогенного втручання. Значне число злакових рослин, які були ідентифіковані в рамках цього дослідження, вказують на високу адаптаційну здатність та екологічну пластичність цих видів до різних природних умов. Особливу увагу слід звернути на види, що зникли чи зазнали змін, оскільки вони свідчать про тенденції змін у біорізноманітті та необхідність активних дій для їх збереження та відновлення.

Згідно з нашим аналізом, створення Каховської ГЕС мало далекосяжні наслідки для природного середовища, що включали не тільки втрату різноманіття флори, але й зміну водних ресурсів, зміщення екологічних ніш та порушення природного балансу. Сьогоднішні зусилля щодо відновлення цих територій повинні ґрунтуватися на глибокому розумінні історичного багатства Великого Лугу, його ролі в екологічному різноманітті та значенні для локальної та глобальної екосистем.

Відновлення Великого Лугу як природної зони має стати пріоритетом не тільки з точки зору екології, але й культури та історії. Він є частиною української ідентичності, місцем, яке може знову стати джерелом національної гордості та прикладом успішної взаємодії людини з природою. Майбутні стратегії мають включати комплексні підходи, що об'єднують наукове дослідження, практичну екологію, соціальну роботу та освіту, щоб відновити та зберегти цей унікальний природний ресурс.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження біорізноманіття флори Великого Лугу мають важливе практичне значення для розробки планів відновлення природних екосистем після руйнування Каховської ГЕС. На основі отриманих даних можливе створення методичних рекомендацій щодо природного відновлення рослинності та формування системи моніторингу екосистем на територіях колишнього водосховища. Матеріали дослідження стануть підґрунтям для розробки природоохоронних заходів, створення нових заповідних територій та реалізації стратегій збереження біорізноманіття в контексті євроінтеграції України.

Література

1. Ancient settlements as natural heritage sites: the first occurrence dataset on vascular plant species from ancient settlements in the Lower Dnipro region (Ukraine) / P. Dayneko та ін. *Biodiversity Data Journal*. 2023. Т. 11. URL: https://doi.org/10.3897/bdj.11.e99041 (дата звернення: 02.11.2024).
2. Dayneko P. Biomorphological structure of the flora of the ancient settlements of the Lower Dnipro. *Biolohichni systemy*. 2020. Т. 12, № 2. С. 290–297. URL: https://doi.org/10.31861/biosystems2020.02.290 (дата звернення: 02.11.2024).
3. Drivers of plant diversity in Bulgarian dry grasslands vary across spatial scales and functional-taxonomic groups / I. Dembicz та ін. *Journal of Vegetation Science*. 2020. URL: https://doi.org/10.1111/jvs.12935 (дата звернення: 02.11.2024).
4. Gavrylyuk N., Matera M. «Late Scythian» or «Post-Scythian» Sites of the Lower Dnipro Region. *Archaeology*. 2016. № 4. С. 121–135. URL: https://doi.org/10.15407/archaeologyua2016.04.121 (дата звернення: 02.11.2024).
5. Kotov M. The impact of the war on the distribution of animals and plants in Ukraine (a view from 1924). Novitates Theriologicae. 2023. Т. 2023, № 16. С. 144–147. URL: https://doi.org/10.53452/nt1625 (дата звернення: 02.11.2024).
6. Геоботанічне районування Української РСР / Т. Андрієнко та ін. Київ : Наук. Думка, 1977. 301 с.
7. Дайнеко П. М. Систематична структура флори городищ Нижнього Придніпров'я. *Chornomorski Botanical Journal*. 2020. Т. 16, № 3. С. 230–239. URL: https://doi.org/10.32999/ksu1990-553x/2020-16-3-4 (дата звернення: 02.11.2024).
8. Загороднюк І.В. Степове фауністичне ядро Східної Європи: його структура та перспективи збереження. Доповіді НАН України. 1999. № 5. С. 203–210.
9. Кривульченко А.І. Олешківські піски як ієрархічно побудована природна система. Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2019. Вип. 53. С. 197–209. URL: https://doi.org/10.30970/vgg.2019.53.10666 (дата звернення: 02.11.2024).
10. На розі двох світів. Історична спадщина України та Литви на Херсонщині / С. Біляєва та ін. Київ : Гілея, 2018. 72 с.
11. Нємцев С. Динаміка надходження товарів у керамічній тарі на Білозерське поселення хори Ольвії (спроба кількісної оцінки). *Археологія*. 2014. № 1. С. 28–40. URL: http://www.vgosau.kiev.ua/-qq.
12. Петроченко В.І. Природа Запорізького краю: довідник. Запоріжжя: Поліграф, 2009.
13. Супруненко В. Великий Луг Запорожский. Запоріжжя : Просвіта, 2015.
14. Червона книга України : рослин. світ. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
15. Щербак В.О. Великий Луг. В кн.: Енциклопедія історії України. Т. 1. Київ: Наукова думка, 2003. С. 466.

УДК 582. 998.1 (477.42)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.20

ФІТОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ *HELENIUM AROMATICUM* (HOOK.) L. H. BAILEY ЗА УМОВ ІНТРОДУКЦІЇ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ПОЛІССІ УКРАЇНИ

Іващенко І.В.[1], **Рахметов Д.Б.**[2], **Котюк Л.А.**[1], **Грицюк Н.В.**[1], **Бакалова А.В.**[1]
[1]Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
[2]Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України
вул. Тімірязєвська, 1, 01014, м. Київ
kalateja@ukr.net, rjb2000.16@gmail.com, kotyukla@ukr.net, ngritsyuk@ukr.net, bakalova1970@ukr.net

Існує гостра необхідність розширення асортименту ароматичних рослин для потреб харчової, парфумерно-косметичної, виноробної промисловостей, оскільки ефірні олії та прянощі тропічного і субтропічного походження щорічно імпортуються в Україну у великих кількостях. З цієї точки зору певний інтерес являє *Helenium aromaticum* (Hook.) L. H. Bailey (геленіум ароматний) – цінна пряно-ароматична та декоративна рослина, яка накопичує у сировині вітаміни, макроелементи, ефірні олії, фенольні сполуки, що визначають також її лікувальні властивості.

Предметом досліджень слугували рослини *H. aromaticum.* Насінний матеріал отримано із Національного ботанічного саду (НБС) імені М. М. Гришка НАН України. Інтродукційні дослідження проводили на експериментальних ділянках ботанічного саду Поліського національного університету, біохімічні дослідження здійснювали в лабораторії відділу культурної флори НБС імені М. М. Гришка НАН України. Сировину збирали у фазі масового цвітіння. Для біохімічного аналізу використовували надземну частину рослин.

Вивчено кількісний і якісний склад основних компонентів рослинної сировини і ефірної олії *H. aromaticum*, вирощених на території Полісся України.

Дослідженнями встановлено, що вміст сухої речовини становив 22,25%, золи – 5,95%, загальних цукрів – 6,46%, жирів – 3,11%, фосфору – 0,15%, кальцію – 1,09%, органічних кислот – 3,78%, дубильних речовин – 3,13%, аскорбінової кислоти – 267,22 мг% (у перерахунку на абсолютно суху речовину), каротину – 1,76 мг% на суху речовину.

В результаті хроматографічного аналізу ефірної олії геленіуму ароматного виявлено 31 сполуку, з яких ідентифіковано 20 хімічних речовин. Основні компоненти ефірної олії геленіуму ароматного – геранілбутират –22,76%, фрагранілізокапронат – 33,18%, фрагранілкапронат – 11,74%, фрагранілвалерат – 5,33%, фарнезол – 1,07%, фраграніл 2-метилбутират – 1,25%. Відомо, що сполуки геранілбутират, метилбутират, фарнезол використовуються для збору ароматичних композицій у виробничих цілях, таких як парфуми, косметика, ароматизатори, шампуні та засоби гігієни. Фарнезол також має антимікробні, протизапальні, протиалергенні властивості.

Отримані результати свідчать, що геленіум ароматний – цінний інтродуцент, сировина якого вирізняється широким спектром біологічно активних речовин. *H. aromaticum* – перспективна рослина для культивування в зоні Центрального Полісся з метою використання у харчовій промисловості, фармації, косметології. *Ключові слова: Helenium aromaticum,* хроматографічний аналіз, ефірна олія, сполуки.

Phytochemical features of *Helenium aromaticum* (Hook.) L.H. Bailey under the conditions of introduction in the Central Polissya of Ukraine. Ivashchenko I., Rakhmetov D., Kotiuk L., Hrytsiuk N., Bakalova A.

There is an urgent need to expand the assortment of aromatic plants for the needs of the food, perfumery and cosmetic, winemaking industries, since essential oils and spices of tropical and subtropical origin are imported to Ukraine in large quantities every year. From this point of view, *Helenium aromaticum* (Hook.) L. H. Bailey is of some interest – a valuable spicy-aromatic and decorative plant that accumulates vitamins, macroelements, essential oils, phenolic compounds in raw materials, which also determine its medicinal properties.

The subjects of research were H. aromaticum plants. The seed material was obtained from the National Botanical Garden (NBS) named after M. M. Hryshko of the National Academy of Sciences of Ukraine. Introductory studies were carried out in the experimental plots of the botanical garden of the Polis National University, biochemical studies were carried out in the laboratory of the department of cultural flora of the National Academy of Sciences named after M. M. Hryshka of the National Academy of Sciences of Ukraine. The raw material was collected in the phase of mass flowering. The aerial part of the plants was used for biochemical analysis.

The quantitative and qualitative composition of the main components of plant raw materials and essential oil of *H. aromaticum*, grown in the territory of Polissya of Ukraine, was studied. Research has established that the content of dry matter was 22.25%, ash – 5.95%, total sugars – 6.46%, fats – 3.11%, phosphorus – 0.15%, calcium – 1.09%, organic acids – 3.78%, tannins – 3.13%, ascorbic acid – 267.22 mg% (calculated on absolutely dry matter), carotene – 1.76 mg% on dry matter.

The quantitative and qualitative composition of the essential oil of *Helenium aromaticum* (Hook.) L.H. Bailey under the conditions of introduction in the Central Polissya of Ukraine was studied. According to the results of chromatographic analysis, 31 compounds were found in the essential oil obtained from the flowers of *H. aromaticum*, of which 20 substances were identified. The quantitative content in the essential oil was dominated by: fragranyl isocapronate – 33.18%, geranyl butyrate – 22.76%, fragranyl capronate – 11.74%, fragranyl valerate – 5.33%, farnesol – 1.07%, fragranyl 2-methylbutyrate – 1.25%. *Key words:* compounds, *Helenium aromaticum,* chromatographic analysis, essential oil, substances.

Постановка проблеми. Інтродукція рослин є важливим фактором збагачення генофонду господарсько-цінних, лікарських та рідкісних і зникаючих видів рослин. В Ботанічному саду Поліського національного університету створена інтродукційна популяція геленіуму ароматного (*Helenium aromaticum* (Hook.) L. H. Bailey) – малопоширеної пряно-ароматичної та декоративної рослини, яка заслуговує на всебічне вивчення її біохімічного складу в умовах Полісся України з метою подальшого застосування у фармації, косметології, парфумерії, харчовій промисловості.

Актуальність дослідження. Застосування геленіуму ароматного у харчовій, парфумерно-косметичній, фармацевтичній промисловостях є перспективним і потребує глибокого вивчення його біохімічного складу в умовах культури. У доступних нам наукових джерелах відсутні відомості щодо фітохімічних особливостей *H. aromaticum* за умов зростання в Поліссі України, тому метою роботи було вивчення біохімічного складу сировини *H. aromaticum* за інтродукції в Центральному Поліссі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. *Helenium aromaticum* (Hook.) L. H. Bailey (геленіум ароматний) – однорічна трав'яна рослина родини *Asteraceae* Bercht. & J. Presl. [1, 2, 3, 4]. Ботанічна синонімічна назва – *Cephalophora aromatica* (Hook.) Schrad. (цефалофора ароматна). В умовах Центрального Полісся рослина формує вегетативні та генеративні органи, якісний насінний матеріал. Геленіум ароматний не належить до категорії офіцинальних лікарських рослин, не входить до вітчизняної фармакопеї [5, 6]. Батьківщина геленіуму ароматного – Чилі [2]. Рослину широко культивують в Америці, Східній Європі, Центральній Азії [7]. Геленіум ароматний – цінна пряно-ароматична та декоративна рослина, яку використовують в парфумерії, харчовій промисловості. Має сильний аромат свіжої суниці і використовується при приготуванні вермуту та в кулінарії. Надземна частина рослини містить широкий спектр біологічно активних речовин: вітаміни, ефірну олію, макро- і мікроелементи, каротин, фенольні сполуки, флавоноїди [8, 9]. Ефірна олія має стійкий приємний суничний аромат і використовується в парфумерії, кондитерському виробництві. *H. aromaticum* вирізняється антимікробною дією, нормалізує обмін речовин, відіграє важливу роль у лікуванні шлунково-кишкових, серцево-судинних та інших хвороб [10, 11, 12].

Наукова новизна. Вперше в умовах Центрального Полісся України вивчено біохімічний склад фітосировини та ефірної олії *H. aromaticum.*

Методологія дослідження. Предметом досліджень слугували рослини *H. aromaticum.* Насінний матеріал отримано із Національного ботанічного саду (НБС) імені М. М. Гришка НАН України. Інтродукційні дослідження проводили на експериментальних ділянках ботанічного саду Поліського національного університету впродовж 2013–2024 рр. [13]. Біохімічні дослідження здійснювали в лабораторії відділу культурної флори НБС імені М. М. Гришка НАН України. Сировину збирали у фазі масового цвітіння. Для біохімічного аналізу використовували надземну частину рослин.

Абсолютно суху речовину визначали шляхом висушування зразків при температурі 105°С до постійної маси; кальцій – трилонометричним методом; вміст жирів – методом визначення знежиреного залишку; фосфор – об'ємним методом з молібденовою рідиною за Х. Н. Починком; каротин – спектрофотометрично із застосуванням розчинника бензина Калоша (спектрофотометр UNICO 2800); аскорбінову кислоту – за Муррі; загальний вміст цукрів, дубильні речовини, титровану кислотність – за Крищенко; сухе озолення рослинного матеріалу проводили за З. М. Грицаєнко [14].

Отримані дані обраховані статистично з використанням програми Microsoft Exel–10. Розраховували середні значення величин і стандартної похибки (x±SE, n=3).

Для хроматографічних досліджень сировину збирали у фазі цвітіння. Використовували надземну частину рослин (свіжий матеріал). Хроматографічний аналіз компонентного складу ефірної олії виконували на газорідинному хроматографі Agilent Technologies 6890 з мас-спектрометричним детектором 5973. Для ідентифікації компонентів використовували бібліотеку мас-спектрів NIST05 и WILEY 2007 із загальною кількістю спектрів понад 470000 в комплексі з програмами для ідентифікації AMDIS і NIST.

Викладення основного матеріалу. В результаті вивчення біохімічного складу надземної маси *H. aromaticum* за інтродукції в Центральному Поліссі України встановлено, що рослина містить ряд цінних сполук: аскорбінову кислоту, каротин, цукри, жири, окремі макроелементи, дубильні речовини (див. табл. 1).

Сировина *H. aromaticum* характеризується значним вмістом аскорбінової кислоти: від 222,5±17,84 до 349,93±24,83 мг% в середньому 267,22±81,14 мг% (табл. 1). Вміст аскорбінової кислоти в сировині значно різнився за роками досліджень і був найвищим у 2014 році. Умови вегетаційного періоду 2014 року, у порівнянні із 2015 і 2016 роками, були значно сприятливішими для росту і розвитку рослин, що, можливо, вплинуло на вміст аскорбінової кислоти у фітосировині. Аскорбінова кислота характеризується потужними антиоксидантними властивостями, стимулює синтез інтерферону, підвищує стійкість організму до інфекцій. Каротину в сировині значно менше – від 0,56±0,15 до 3,85±0,01 мг%, в середньому 1,76±2,06 мг% (табл. 1). Вміст каротину в сировині також в значній мірі різнився за роками досліджень і залежав, очевидно, від впливу абіотичних факторів середовища. Каротин є важли-

Таблиця 1

Біохімічна характеристика надземної маси Helenium aromaticum у фазу цвітіння залежно від року вегетації (2014–2016 рр.) (x±SE, n=3)

Показник	Рік			середнє
	2014	2015	2016	
Суха речовина, %	14,36±0,65	27,48±0,18	24,92±0,16	22,25±7,87
Загальний вміст цукрів, %	12,84±2,34	3,46±0,13	3,09±0,17	6,46±6,25
Каротин, мг%	0,87±0,02	3,85±0,01	0,56±0,15	1,76±2,06
Аскорбінова кислота, мг%	349,93±24,83	229,23±8,24	222,50±17,84	267,22±81,14
Фосфор, %	0,148±0,002	0,128±0,003	0,173±0,006	0,15±0,03
Кальцій, %	0,58±0,06	0,63±0,08	2,07±0,07	1,09±0,96
Зола, %	7,43±1,00	4,79±0,25	5,64±0,37	5,95±1,52
Дубильні речовини, %	4,05±0,92	2,54±0,32	2,80±0,35	3,13±0,91
Титрована кислотність, %	6,54±1,07	2,11±0,25	2,69±0,41	3,78±4,28
Жири, %	1,47±0,25	2,73±0,05	5,12±0,73	3,11±3,51

вою поліфункціональною групою біологічно активних сполук. Виявлено, що ці сполуки виявляють антиоксидантну й фотопротекторну функції в рослинному організмі. Із декількох ізомерів каротину для людини має найбільше значення β-каротин, який являється попередником вітаміну А та має антиоксидантні властивості [15]. На рівні клітинних мембран він нейтралізує дію вільних радикалів, що утворюються в організмі, і можуть призвести до виникнення злоякісних пухлин. Вітамін А забезпечує нормальний фізіологічний стан шкіри, стимулює утворення слизу епітеліальними клітинами слизових оболонок, відіграє важливу роль у функціонуванні органів зору. Сировина *H. aromaticum* містить дубильні речовини: від 2,80±0,35 (2016 рік) до 4,05±0,92% (2014 рік), в середньому 3,13±0,91% (див. табл. 1). Дубильні речовини відносяться до складної групи низько- та високомолекулярних природних поліфенолів. Загалом, рослини родини Asteraceae характеризуються високим вмістом дубильних речовин. Дубильні речовини широко використовуються в медичній практиці: виявляють в'яжучу, протизапальну й антимікробну дію. Препарати, що містять дубильні речовини, застосовують внутрішньо при гострих і хронічних колітах, ентеритах, гастритах, іноді як кровоспинний засіб. Вони широко використовуються при запальних процесах ротової порожнини, гортані, носа, у вигляді полоскань, а також при опіках, пролежнях, виразках. Природні фенольні сполуки являються потужними антиоксидантами і відомі як фармакологічно активні сполуки, здатні до корекції різних патологічних станів, в тому числі викликаних інфекційними ураженнями організма.

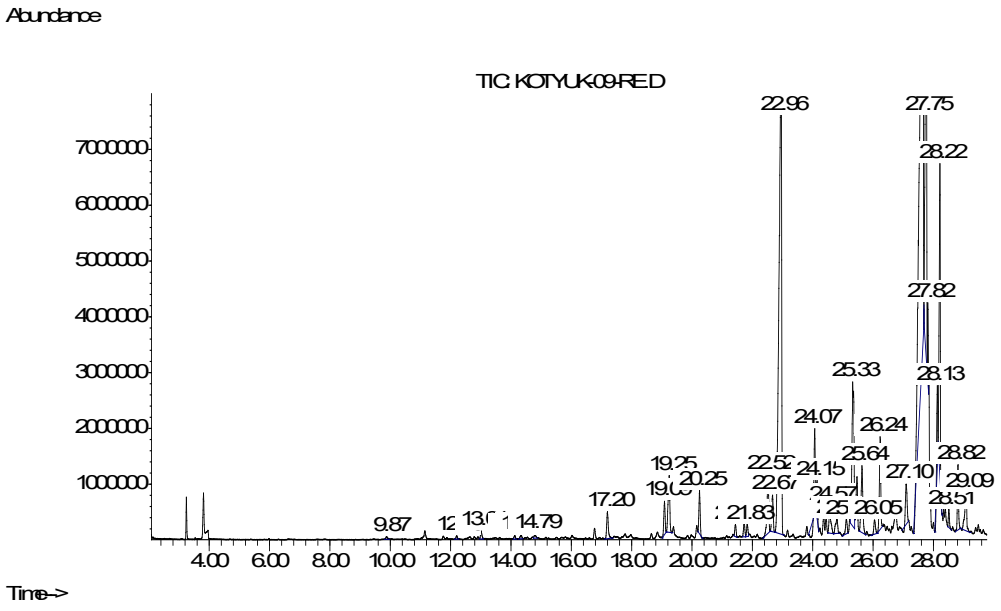


Рис. 1. Хроматограма ефірної олії Helenium aromaticum (фаза цвітіння)

Важливий показник – вміст органічних кислот (кількість вільних кислот, їх кислих солей, які містяться в сировині). Вміст органічних кислот варіював за роками досліджень від 2,11±0,25 до 6,54±1,07% і був найвищим у 2014 році (табл. 1).

Вміст фосфору у фітосировині становив від 0,128±0,003 до 0,173±0,006%, кальцію – від 0,58±0,06 до 2,07±0,07%. Біологічна роль фосфору пов'язана з участю у формуванні й регенерації клітин, засвоєнні вітамінів та розвитку зубів і кісток, в обміні енергії, регуляції кислотно-лужного балансу, функціонуванні нирок, нервів, м'язів серця. Кальцій приймає участь у формуванні скелета, скороченні м'язів, розщепленні глікогену, сприяє згортанню крові, підтримує рівновагу між порушенням і гальмуванням кори головного мозку.

Один із важливих показників, що визначаються в ході фармацевтичного аналізу – зола, яка містить хімічні елементи: K, Na, Ca, Mg, Ti, Si, P, C, Fe, B, P, Cl, Ba, Ni, Co та ін. Зольність сировини *H. aromaticum* становила від 4,79±0,25 до 7,43±1,0%. Вміст цукрів у фітосировині варіював від 3,09±0,17 до 12,84±2,34%, жирів – від 1,47±0,25 до 5,12±0,73%. Спостерігалась значна варіабельність цих показників за роками досліджень.

Таблиця 2

Компонентний склад ефірної олії, отриманої з надземної частини рослин Helenium aromaticum (фаза цвітіння)

№ п/п	Час утримування, хв.	Компонент	Кількісний вміст в ефірній олії, %
1	9.87	β-фенилетиловий спирт	0,09
2	12.2	терпінен-4-ол	0,08
3	13.01	2-оксицинеол	0,20
4	14.12	цис-3-гексеніл 2-метилбутират	0,09
5	14.33	гексил 2-метилбутират	0,11
6	14.79	гераніол	0,11
7	17.19	2,2,3,4,5,5-гексаметилгексан	0,79
8	19.09	-	0,77
9	19.24	-	0,76
10	20.25	геранілпропіонат	0,95
11	21.43	фрагранілізобутират	0,28
12	21.73	β-феніл 2-метилбутират	0,35
13	21.83	-	0,30
14	22.52	-	1,80
15	22.67	-	1,00
16	22.95	геранілбутират	22,76
17	24.06	фраграніл 2-метилбутират	1,25
18	24.14	гераніл 2-метилбутират	0,77
19	24.56	фраграніл 3-метилбутират	0,88
20	24.8	-	0,58
21	25.11	2,2,3,3,5,6,6-гептаметилгептан	0,43
22	25.32	фрагранілвалерат	5,33
23	25.64	-	2,11
24	26.04	неролідол	0,41
25	26.24	-	2,28
26	27.09	-	1,12
27	27.66	фрагранілізокапронат	33,18
28	27.75	фрагранілкапронат	11,74
29	27.81	-	1,07
30	28.13	фарнезол	1,07
31	28.21	-	6,35

Примітка: « – » – неідентифіковані компоненти

За результатами хроматографічного аналізу в ефірній олії, отриманій із надземної частини рослин *H. aromaticum* виявлено 31 сполуку, з яких ідентифіковано 20 речовин (рис. 1, табл. 2).

За кількісним вмістом в ефірній олії домінували: геранілбутират – 22,76%, фрагранілізокапронат – 33,18%, фрагранілкапронат – 11,74%, фрагранілвалерат – 5,33%, фарнезол – 1,07%, фраграніл 2-метилбутират – 1,25% (табл. 2). Вміст ефірної олії в надземній частині *H. aromaticum* у фазі цвітіння становив 0,35–0,27% (у перерахунку на суху абс. масу). Відомо, що сполуки геранілбутират, метилбутират, фарнезол використовуються для збору ароматичних композицій у виробничих цілях, таких як парфуми, косметика, ароматизатори, шампуні та засоби гігієни. Фарнезол також має антимікробні, протизапальні, протиалергенні властивості.

Отримані нами результати відрізняються від даних іранських дослідників. Основні компоненти ефірної олії геленіуму ароматного за умов зростання в Ірані – етилгексанова кислота, н-ундекан, декан, геранілтиглат [8]. Такі розбіжності в результатах досліджень, можливо, пояснюються існуванням різних хемотипів геленіуму та впливом абіотичних факторів середовища.

Висновки. Вивчено кількісний і якісний склад основних компонентів рослинної сировини і ефірної олії *H. aromaticum*, вирощених на території Полісся України. Встановлено, що вміст сухої речовини в середньому за роки досліджень становив 22,25%, золи – 5,95%, загальних цукрів – 6,46%, жирів – 3,11%, фосфору – 0,15%, кальцію – 1,09%, органічних кислот – 3,78%, дубильних речовин – 3,13%, аскорбінової кислоти – 267,22 мг% (у перерахунку на абсолютно суху речовину), каротину – 1,76 мг% на суху речовину.

В результаті хроматографічного аналізу ефірної олії геленіуму ароматного виявлено 31 сполуку, з яких ідентифіковано 20 хімічних речовин. Основні компоненти ефірної олії геленіуму ароматного – геранілбутират –22,76%, фрагранілізокапронат – 33,18%, фрагранілкапронат – 11,74%, фрагранілвалерат – 5,33%, фарнезол – 1,07%, фраграніл 2-метилбутират – 1,25%.

Отримані результати свідчать, що геленіум ароматний – цінний інтродуцент, сировина якого вирізняється широким спектром біологічно активних речовин. *H. aromaticum* – перспективна рослина для культивування в зоні Центрального Полісся з метою використання у харчовій промисловості, фармації, косметології. Отримані результати створюють передумови для поглибленого дослідження БАР геленіума ароматного та вивчення елементів технології його культивування.

Література

1. WFO *Helenium aromaticum* (Hook.) L. H. Bailey. URL: http:// www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000032804.
2. POWO Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. URL: https://powo.science.kew.org/. Retrieved 28 October 2024.
3. APG An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linn. Soc*. 2016. Vol. 181. P. 1–20. URL: https: //doi.org/ 10.1111/boj.12385.
4. The International Plant Names Index and World Checklist of Vascular Plants 2024. URL: http://www.ipni.org and https://powo.science.kew.org/.
5. Державна фармакопея України. 1-е вид., Доповнення 4. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармако-пейний центр якості лікарських засобів», 2011. 540 с.
6. Державний реєстр лікарських засобів України. URL: drlz.com.ua.
7. Coltun M. B., Bogdan A. A. Study on the developmental biomorphological features of the species *Helenium aromaticum. Основні, малопоширені і нетрадиційні види рослин – від вивчення до освоєння (сільськогосподарські і біологічні науки)*: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції (у рамках VIII наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2023», 2 березня 2023 р., с. Крути, Чернігівська обл.) / ДС «Маяк» ІОБ НААН: у 2 т. Обухів: Друкарня ФОП Гуляєва В. М., 2023. Т. 1. С. 130–134.
8. Sefidkon F., Omidbaigi R. Essential oil composition of *Cephalophora aromatica* cultivated in Iran. *Flavour and Fragrance Journal.* 2004. V. 19, Issue 2. P. 261–312. https://doi.org/10.1002/ffj.1286
9. Іващенко І. В., Котюк Л. А., Рахметов Д. Б. Фенольні сполуки *Helenium aromaticum* (Hook) Schrad. (Asteraceae) за інтродукції в Централному Поліссі України. *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін*: Матеріали міжнародної наукової конференції присвяченої 30-річчю Незалежності України : Київ : Видавництво Ліра-К., 2021.189–190.
10. Мінарченко В. М. Класифікація лікарських рослин. Посібник українського хлібороба 2015 «Генетичні ресурси рослин України» (зернові, круп‘яні, зернобобові, технічні, олійні, лікарські, ефіроолійні, кормові, овочеві, плодові, горіхоплідні, енергетичні, лісо-ві культури, бульбоплоди, виноград та гриби). 2015. Т. 1. С. 239–250.
11. Мінливість біологічних і морфологічних ознак однорічних малопоширених видів овочевих рослин родини Айстрові (Asteraceae Dumort.) / С. І. Корнієнко та ін. *Селекція і насінництво*. 2017. Випуск 112. С. 171–182.
12. *Dictyostelium discoideum*-assisted pharmacognosy of plant resources for discovering antivirulence molecules targeting *Klebsiella pneumoniae* / Hernández M. et al. *Natural Product Research*. 2024. P. 1–8. https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2360166 10
13. Evaluation of the success and prospects of introduction for cultivation of medicinal aromatic Asteraceae plants in central Pollysia (Ukraine) / Ivashchenko I. V. et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. V.11. Is. 9, P.1–5.
14. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: НІЧЛАВА, 2003. 320 с.
15. Варанкіна О. О. Біологічна дія бета-каротину: позитивні і негативні аспекти. *Біопроцеси, біотехнологія харчових продуктів, БАР*. 2013. Т.4, № 25. С. 46–49.

УДК 597.551.2
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.21

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦІЇ ТА ОЦІНКА РЕПРОДУКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІРЧАКА ЄВРОПЕЙСЬКОГО *RHODEUS AMARUS* (BLOCH, 1782) ЗАПОРІЗЬКОГО (ДНІПРОВСЬКОГО) ВОДОСХОВИЩА

Маренков О.М., Єрух М.М.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Науки, 72, 49010, м. Дніпро
gidrobions@gmail.com, yerukhnikolay@gmail.com

В статті наведено нові данні щодо біології та екології гірчака європейського (*Rhodeus amarus (Bloch, 1782)*) в умовах Запорізького (Дніпровського) водосховища. Метою дослідження було визначення статевої та вікової структури популяцій виду, а також стану його відтворення. Актуальність роботи полягає у необхідності вивчення фундаментальних аспектів біології *R. amarus*, оскільки вид є важливим компонентом прісноводних екосистем України і виду включений до Додатку 3 Бернської конвенції та Резолюції 6. Популяція гірчака в Запорізькому (Дніпровському) водосховищі характеризується високою чисельністю, домінуючи за показниками чисельності та біомаси у прибережній зоні. Новизна роботи полягає у визначенні вікової та статевої структури прибережних популяцій *R. amarus*, а також особливостей формування ікри в умовах Запорізького (Дніпровського) водосховища. Дослідження виконували у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт із використанням сучасних іхтіологічних методів. Встановлено, що у червні популяція була представлена двома віковими групами: дволітками (1+) та трилітками (2+), із домінуванням триліток (63,41%). У серпні в уловах були представлені цьоголітки (0+), які разом із дволітками (1+) формували основу популяції (91,04%). Аналіз статевої структури показав домінування самок (75,93%) у червні, що викликано масовим нерестом. Результати досліджень репродуктивних показників гірчака підтвердили порційний тип нересту гірчака, з відкладанням ікри у мантійну порожнину двостулкових молюсків (*Unio*, *Anodonta*, *Dreissena*). У гонадах самиць виявлено ікринки трьох стадій зрілості, серед яких 22,08% – це ікринки, які готові до нересту, а інші 77,9% – створюють резерв на наступний рік. Середньовиважений показник абсолютної плодючості сягнув 163,6±13,64 ікринок. Низька абсолютна плодючість компенсується специфікою нересту та турботою про потомство. Результати можуть бути використані для розробки регламентаційних документів щодо охорони нерестовищ, а також для реінтродукції виду в інші водойми. Подальші дослідження планується проводити з використанням гістологічних методів для більш детального аналізу репродуктивного потенціалу. *Ключові слова:* риби, ікра, водосховище, гірчак європейський, плодючість, вік, структура популяцій, нерест.

Population structure and assessment of reproductive performance of the European bitterling *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782) in the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir. Marenkov O., Yerukh M.

The article provides new data on the biology and ecology of the European bitterling (*Rhodeus amarus* (Bloch, 1782)) in the conditions of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir. The aim of the study was to determine the age and sex structure of the species' populations and assess their reproductive status. The relevance of the work lies in the need to study the fundamental aspects of *R. amarus* biology, as the species is an important component of Ukraine's freshwater ecosystems and is included in Appendix 3 of the Bern Convention and Resolution 6. The population of *R. amarus* in the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir is characterized by high abundance, dominating in terms of numbers and biomass in the littoral zone. The novelty of the study lies in identifying the age and sex structure of littoral populations of *R. amarus* and revealing the peculiarities of egg formation in the conditions of the Zaporizhzhia (Dnipro) Reservoir. The study was conducted within the framework of state-funded research projects using modern ichthyological methods. It was established that in June, the population was represented by two age groups: two-year-olds (1+) and three-year-olds (2+), with three-year-olds (63.41%) dominating. In August, the catches included young-of-the-year (0+), which, together with two-year-olds (1+), formed the population's core (91.04%). An analysis of the sex structure showed a dominance of females (75.93%) in June, associated with mass spawning. The results of reproductive performance studies confirmed the fractional spawning type of *R. amarus*, with eggs being deposited into the mantle cavity of bivalve mollusks (*Unio, Anodonta, Dreissena*). The gonads of females contained eggs of three maturity stages, of which 22.08% were ready for spawning, while the remaining 77.9% formed a reserve for the following year. The average absolute fecundity reached 163.6±13.64 eggs. The low absolute fecundity is compensated by the specific spawning strategy and parental care. The results can be used to develop regulatory documents on the protection of spawning grounds, as well as for the reintroduction of the species into other water bodies. Further research is planned using histological methods for a more detailed analysis of reproductive potential. *Key words:* fish, eggs, reservoir, European bitterling, fecundity, age, population structure, spawning.

Постановка проблеми. На даний час в Україні поступово йде створення та захист територій Смарагдової мережі, головною метою якої є забезпечення довгострокового виживання видів Бернської конвенції та збереження їх природних місць існування. На разі до переліку видів риб Смарагдової мережі ЄС, які зустрічаються на території України входить 26 видів серед яких є гірчак європейський *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782) – представник родини коропових (*Cyprinidae*) ряду короподібних (*Cypriniformes*). Це яскравий представник видів, які включенні (у складі виду *Rhodeus sericeus* [1]) до третього додатку Бернської конвенції, як такий, що підлягає охороні, а також до Резолюції 6 цієї ж кон-

венції [2]. Ряд авторів відмічає, що в Україні мешкає один підвид – гірчак європейський *Rhodeus sericeus amarus* [3]. Інші науковці не надають географічно ізольованим групам популяції підвидового рангу, зауважуючи, що відмінності між ними є результатом клинальної мінливості, контрольованій різними факторами [1]. В своїй роботі ми дотримуємось номенклатури, яка пропонується поточною версією сайту fishbase.org [4] і використовуємо назву *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782).

Актуальність дослідження. Дослідження популяцій *R. amarus* в умовах Запорізького (Дніпровського) водосховища набуває особливої значущості, адже цей напрямок тісно корелює з фундаментальними принципами керування водними біоресурсами та збереженням біологічного різноманіття прісноводних екосистем. У водоймах Дніпропетровської області вид характеризується великою чисельністю. В Запорізькому (Дніпровському) водосховищі гірчак європейський – широко розповсюджений, численний вид, домінуючий за чисельністю та біомасою у прибережній зоні. На сучасному етапі охорона виду у водоймах Дніпропетровщини не є доцільною та не проводиться. Таким чином, маючи значний обсяг біологічного матеріалу даного виду доцільно проводити комплексні дослідження біології та екології гірчака звичайного з метою поглиблення інформації щодо його біолого-екологічних показників. Отже, метою роботи було визначення структури (статевої та вікової) популяцій та стану відтворення гірчака звичайного в умовах Запорізького (Дніпровського) водосховища.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконували в межах держбюджетних науково-дослідних робіт «Оцінка збитків, відновлення та реабілітація водних та прибережних екосистем, порушених унаслідок воєнних дій, техногенного пресу та змін клімату» (Державний реєстраційний номер: 0124U000254). Результати досліджень лягли в основу регламентаційних документів: «Біологічне обґрунтування меж нерестовищ водних біоресурсів у рибогосподарських водних об'єктах Дніпропетровської області (Дніпровському (Запорізькому), Карачунівському, Макортівському водосховищах) на період нерестової заборони 2024 року», «Біологічне обґрунтування меж нерестовищ водних біоресурсів на акваторії Запорізького (Дніпровського) водосховища підконтрольній Управлінню Державного агентства меліорації та рибного господарства у Запорізькій області на період 2024 року».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гірчак європейський *R. amarus* єдиний вид гірчаку, що зустрічається на європейському континенті [1, 5]. Представляє собою широко розповсюджений вид у прісноводних екосистемах Європи, з географічним розподілом, що охоплює територію від Франції на заході до басейну річки Неви на сході континенту. Його ареал включає водосховища Чорного та Каспійського морів, території Закавказзя та Малої Азії, а також області, що межують з Егейським морем на півночі. Зустрічається цей вид у басейні річки Амур, острові Сахалін, річках, що впадають в затоку Петра-Великого і річках північної частини Кореї, що впадають в Японське море. Однак, він відсутній на Британських островах, Данії, Ісландії, на Скандинавському півострові, у Фінляндії, Італії, а також Піренейському, Пелопоннеському та півострові Халкідіки, річці Урал та річках, що впадають у східне узбережжя Каспійського моря [1]. В Україні зустрічається в басейнах усіх великих рік, у водосховищах, озерах; відсутній в Криму та гірських річках [6], хоча фіксувався у районі впадання річки Альми у морі біля західного узбережжя Криму [7].

Гірчак відіграє значущу роль в водних екосистемах України, де його чисельність часом досягає значних показників. Хижі риби, такі як окунь, щука, йорж, та судак, активно полюють на гірчаків, використовуючи їх як джерело харчування [3]. В кишечнику білизни, головня та сома також було знайдено залишки гірчаків, що підтверджує їхню роль у харчовому ланцюзі водойм. Гірчак майже не конкурує з іншими рибами за ресурси, забезпечуючи собі стабільне існування у водоймах.

Гірчак європейський не здійснює великих міграцій, проте у період нересту формує великі зграї. Молодь тримається зони заростей водяної рослинності і практично не трапляється в місцях, де немає рослин [8]. Для зимівлі обирає більш глибокі ділянки (до 3-х метрів).

Гірчаки та двостулкові молюски є симбіонтами, оскільки гірчак є остракофілом та відкладає ікру в мантійну порожнину молюсків. Проте форма симбіотичних відносин гірчак-молюск залишається неоднозначною [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В Україні ряд авторів під час дослідження іхтіофауни мало уваги приділяють вивченню біологічних показників гірчака, зазвичай в роботах вказується наявність виду в іхтіологічних пробах або вказується чисельність та біомаса виду у водоймі [10, 11, 12].

В деяких роботах розглядаються симбіотичні зв'язки між гірчаком і двостулковими молюсками [9], але мало уваги приділяється структурі популяції та визначенню репродуктивних показників виду. Саме визначенню структури (статевої та вікової) популяцій та дослідженню відтворення гірчака звичайного в умовах Запорізького (Дніпровського) водосховища присвячена дана наукова робота.

Новизна. Вперше визначено вікову та статеву структуру прибережних популяцій гірчака європейського та встановлено особливості формування пор-

цій ікри під час відтворення в умовах Запорізького (Дніпровського) водосховища.

Методологічне або загальнонаукове значення. Об'єктом досліджень був гірчак європейський *R. amarus* (Bloch, 1782) трьох вікових груп. Матеріалом для роботи слугували цьоголітки (0+), дволітки (1+) та трилітки (2+) виду, виловлені на літоральних ділянках Запорізького (Дніпровського) водосховища протягом вегетаційного періоду 2024 року. Риб відловлювали десятиметровим мальковим неводом з капронової делі, з кроком вічка 4 мм. Відбір проб проводили на наступних ділянках: о. Монастирський (48⁰46040 N, 35⁰08086 E; 48⁰45950 N, 35⁰08456 E), с. Одинківка (Самарська затока Запорізького (Дніпровського) водосховища, 48⁰50602 N, 35⁰18871 E), с. Новоселівка (Самарська затока Запорізького (Дніпровського) водосховища 48⁰57354 N, 35⁰23509 E), с. Олександрівка (Самарська затока Запорізького (Дніпровського) водосховища 48⁰51513 N, 35⁰21633 E) с. Старі Кодаки (48⁰37608 N, 35⁰14858; 48⁰36553 N, 35⁰14774 E), с. Дніпрове (гирло р. Мокра Сура, 48⁰32793 N, 35⁰13900 E), с. Волоське (48⁰29577 N, 35⁰15520 E), с. Микільське-на-Дніпрі (48⁰19019 N, 35⁰18112 E), с. Військове (48⁰17720 N, 35⁰17014 E).

Біологічний аналіз риб здійснювали згідно загальноприйнятих класичних іхтіологічних методик [13]. Весь улов риб розподіляли за віковими класами, підраховували кількість особин кожної вікової групи, визначали стать особин, у риб визначали пластичні та меристичні ознаки, проводили вимірювання довжини з точністю до 1 мм і маси з точністю до 0,01 г.

Для визначення показників абсолютної індивідуальної плодючості самиць риб фіксували в розчини 4% формаліну, а потім відбирали гонади, та підраховували загальну кількість ікринок в гонаді, розподіляючи їх за стадіями зрілості та підраховуючи ікринки кожної стадії.

Всі роботи з дослідними тваринами виконували згідно правил біоетики із дотриманням Європейської Конвенції «Про гуманне ставлення до лабораторних тварин», «Загальних принципів експериментів на тваринах» та відповідно до «Положення про використання тварин в біомедичних експериментах» [14-16]. Локальний комітет – Біоетичний комітет біолого-екологічного факультету ДНУ протокол № 3 від 10.04.2024 року.

Цифрові дані обробляли за допомогою програмних пакетів Microsoft Excel 2007 та Statistica 6.0. за методами статистики.

Виклад основного матеріалу. Тіло гірчака високе, стиснуте з боків, укрите великою циклоїдною лускою. Голова маленька, очі середніх розмірів, вусиків немає. Рот невеликий, напівнижній. Боки сріблясті з вузькою зелено-синьою поздовжньою смужкою в задній частині тіла. Під час нересту боки й черево самця відрізняються яскравим райдужним забарвленням. Хребців 30–35. D III 9 (10), A III 8–11 (10), l.l. 4–9, sp. br. 10–13.

Європейський гірчак населяє водойми європейської частини материка. Зустрічається в стоячих або слабко проточних водоймах, прибережжі водосховищ, завжди з наявністю двостулкових молюсків (перловиць, беззубок, дрейсен). У водоймах Дніпропетровської області широко розповсюджений, численний вид, домінуючий за чисельністю у прибережній зоні водосховищ. Зустрічається повсюдно: на акваторії Каховського (до його руйнації 6 червня 2023 року), Запорізького (Дніпровського) та Кам'янського водосховищ (до 8 листопада 2017 р. Дніпродзержинське водосховище), їх приток та заток. Не відмічається у верхів'ях річок із сильною або помірною течією (Інгулець, Базавлук, Оріль та ін.).

У прибережній зоні пониззя Запорізького (Дніпровського) водосховища показник чисельності гірчака серед інших короткоциклових риб місцями у деяких пробах досягає 75,2% (вид-домінант), із загальною іхтіомасою на окремих ділянках водойми понад 5264,0 г/100 м^2. Вид має значну чисельність й у ставках та кар'єрах області. Різке збільшення його кількості у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі можна пояснити багатою кормовою базою мілководь та кризою хижих видів риб – судака, берша, окуня, щуки, білизни, які живляться гірчаком.

В червні серед вилучених статевозрілих самців гірчака (2+) мінімальна зоологічна довжина та маса особини склала 4,1 см та 1,03 г, а максимальна зоологічна довжина та маса склала 5,5 см та 1,64 г. Серед самок (2+) мінімальна зоологічна довжина та маса особини склала 4,5 см та 1,22 г, а максимальна зоологічна довжина та маса склала 5,7 см та 2,23 г. Середньовиважена промислова довжина самців гірчака (2+) становила 4,07±0,09 см, маса – 1,46±0,09 г, у самиць (2+) промислова довжина – 4,11±0,05 см, маса – 1,54±0,06 г.

В серпні серед вилучених статевозрілих самців гірчака (2+) мінімальна зоологічна довжина та маса особини склала 5,3 см та 2,02 г, а максимальна зоологічна довжина та маса склала 7,1 см та 4,94 г. Серед самок (2+) мінімальна зоологічна довжина та маса особини склала 5,5 см та 2,41 г, а максимальна зоологічна довжина та маса склала 6,6 см та 3,83 г. Середньовиважена промислова довжина самців гірчака (2+) становила 5,03±0,21 см, маса – 2,95±0,39 г, у самиць (2+) промислова довжина – 5,04±0,19 см, маса – 2,96±0,34 г. Таким чином, відмічено, що з червня по серпень у гірчака відбувається підвищення лінійно-вагових показників за рахунок росту та нагулу.

Дослідження вікової структури популяції гірчаків, проведене на початку червня 2024 року, засвідчило наявність представників лише двох вікових груп – дволіток (1+) та триліток (2+). Відсутність цьоголіток можна пояснити початком нересту. Домінантну

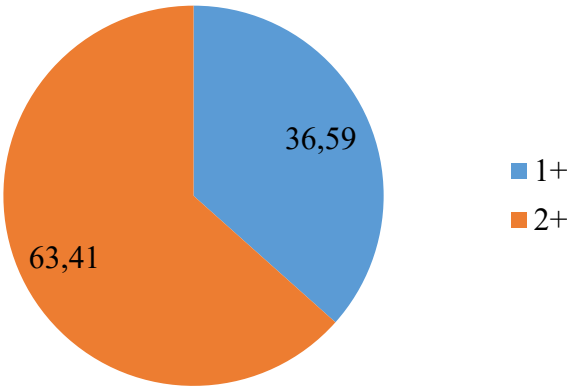


Рис. 1. Відсоткове співвідношення вікових груп гірчака: 1+ – дволітки, 2+ – трилітки. Червень 2024 року

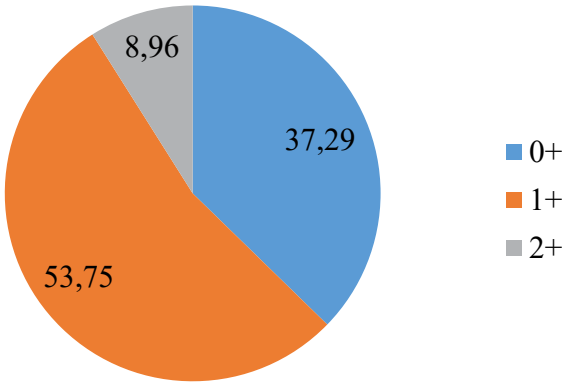


Рис. 2. Відсоткове співвідношення вікових груп гірчака: 0+ – цьоголітки, 1+ – дволітки, 2+ – трилітки. Серпень 2024 року

частину популяції гірчака становили трилітки, які складали 63,41% загальної кількості (рис. 1).

В серпні віковий склад популяції гірчака нараховував 3 вікові групи: цьоголітки 0+, дволітки 1+ та трилітки 2+. Ядро популяції гірчака складали особини віком 0+ та 1+ – 91,04% (рис. 2).

В серпні серед вікових груп гірчака чисельно переважали дволітки їх частка від загального вилову становила 53,75%, на другому місці знаходилися цьоголітки їх частка скала 37,29%, та найменша частка у триліток 8,96% (табл. 1).

Подібне співвідношення характерне для риб з коротким життєвим циклом, по-друге, гірчак це дрібна риба, яка виступає кормовою базою для таких хижаків як окунь, судак, берш, щука, білизна, сом та інші хижаки.

Встановлено, що в червні співвідношення самців та самок становило як 3:1, спостерігали домінування самок, відсоток яких сягав 75,93% від загального числа особин в уловах. В серпні співвідношення самців та самок становило як 2:1.

Визначення статевої структури популяції цього виду дозволяє оцінити репродуктивні можливості гірчака та прогнозувати подальший стан популяції. Результати аналізу статевої структури популяції гірчака вказують на загальний задовільний стан відтворення виду, що забезпечено достатньою кількістю двостулкових молюсків.

У нерестовий період дорослі риби мають чітко виражений статевий диморфізм. Самці набувають яскравого райдужного забарвлення з переважанням червоного та зеленого кольорів. Спинний та анальний плавці стають червоні з чорним облямуванням. На кінці рила самців з кожного боку з'являється «перлинний висип» у вигляді трикутника. У самок подовжується яйцеклад, забарвлення тіла не змінюється (рис. 3). Нерест порційний Самка відкладає ікру в мантійну порожнину молюсків родів *Unio, Anodonta* та *Dreissena*.

Під час нересту самці гірчака охороняють невеликі території навколо живих молюсків та залучають самок до відкладання ікри. Нерест парний. Під час нересту, самка відкладає від однієї до шести ікринок у вихідний сифон молюска. Самець запліднює ікру, випускаючи сперму у вхідний сифон молюска так, що вода, відфільтрована молюском, переносить сперму до відкладеної ікри. Після того, як самка випустила ікру, поведінка самця різко змінюється і він відганяє самку від молюска. Ембріони розвиваються всере-

Таблиця 1

Лінійно-вагові показники різновікових особин гірчака європейського Запорізького (Дніпровського) водосховища, 2024 рік

Вік	Довжина (L), см	Довжина (l), см	Вага (m), г	Кількість (n), екз.	Відсоток від загальної кількості, %
червень					
1+	4,4±0,36	3,7±0,36	1,0±0,36	150	36,59
2+	4,8±0,0	4,05±0,13	1,25±0,13	260	63,41
серпень					
0+	2,93±0,31	2,47±0,25	0,29±0,11	179	53,75
1+	4,31±0,38	3,61±0,35	1,48±0,75	258	37,29
2+	5,99±0,24	5,04±0,20	2,95±0,36	43	8,96

Рис. 3. Самка гірчака звичайного з яйцекладом, вилучена під час відкладання ікри. В яйцекладі можна розгледіти ікринки

дині мантійної порожнини приблизно місяць, зрештою залишаючи молюск у вигляді активно плаваючих личинок, переходячи на екзогенне живлення [9, 17].

Встановлено, що в гонадах гірчака зустрічались ікринки трьох стадій зрілості: IV-V – зрілі ікринки, які вже готові до відкладання та овуляції, III-IV – ікринки, які ще дозрівають, II-III – ікра, яка залишається на наступний рік. Середньовиважена кількість ікринок різних стадій становила IV-V – 17,82±1,94 шт., III-IV – 18,3±2,53 шт., II-III – 127,48±11,7 шт. Тобто, від загальної ікри в гонадах в літній період дозріває та відкладається близько 22,08%, інші 77,9% знаходяться на II-III стадії та створюють резерв на наступний рік, але за наявності сприятливих умов (наявності нерестового субстрату, оптимальної температури) може дозрівати та відкладатися (табл. 2).

Низька чисельність зрілих ікринок та низький показник плодючості гірчака компенсується порційним нерестом та турботою про нащадків, яка виражається через остракофілію – відкладання ікри до раковини двостулкових молюсків.

Головні висновки.

1. Серед вилучених статевозрілих самців гірчака (віком 2+) мінімальна зоологічна довжина та маса особин склала 4,1 см та 1,03 г, а максимальна відповідно – 7,1 см та 4,94 г. Серед самок (2+) мінімальна зоологічна довжина та маса особин склала 4,5 см та 1,22 г, а максимальна – відповідно 6,6 см та 3,83 г. Середньостатистична промислова довжина самців гірчака (2+) становила 4,07±0,09 см, маса – 1,46±0,09 г, у самиць (2+) – відповідно 4,11±0,05 см, маса – 1,54±0,06 г.

2. Дослідження вікової структури популяції гірчаків, проведене на початку червня 2024 року, засвідчило наявність представників лише двох вікових груп – дволіток (1+) та триліток (2+). Відсутність цьоголіток можна пояснити початком нересту. На початку літа в популяції гірчака чисельно переважали трилітки (2+) із часткою від загального вилову – 63,41%, на другому місці знаходилися дволітки (1+), їх частка – 36,59%.

В серпні популяція гірчака була представлена особинами трьох вікових груп: цьоголітки (0+), дволітки (1+) та трилітки (2+). Серед цих груп чисельно переважали дволітки (1+) їх частка від загального вилову – 53,75%, на другому місці знаходилися цьоголітки (0+) їх частка скала 37,29%, та найменша частка у триліток (2+) 8,96%.

Таблиця 2

Репродуктивні показники гірчака європейського Запорізького (Дніпровського) водосховища, 2024 рік

Показник	Стадії зрілості ікри			Середньовиважена абсолютна плодючість, шт.
	V-IV	IV-III	II-III	
Кількість ікринок, шт.	17,82±1,94	18,3±2,53	127,48±11,7	163,6±13,64
Відсоток від загальносередньої кількості, %	10,89	11,19	77,91	100

3. В гонадах самиць гірчака зустрічались ікринки трьох стадій зрілості: IV-V – зрілі ікринки, які вже готові до відкладання та овуляції, III-IV – ікринки, які ще дозрівають, II-III – ікра, яка залишається на наступний рік. Середньовиважена кількість ікринок різних стадій становила IV-V – 17,82±1,94 шт., III-IV – 18,3±2,53 шт., II-III – 127,48±11,7 шт. Тобто, від загальної ікри в гонадах в літній період дозріває та відкладається близько 22,08%, інші 77,9% знаходяться на II-III стадії та створюють резерв на наступний рік, але за наявності сприятливих умов (наявності нерестового субстрату, оптимальної температури) може дозрівати та відкладатися.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальші дослідження репродуктивного потенціалу гірчака необхідно проводити з використанням гістологічних методів з метою побудови шкали зрілості статевих продуктів виду та визначення термінів дозрівання ікринок. Також для реалізації заходів з реінтродукції гірчака звичайного в інші водойми, як виду внесеного до Додатку 3 Бернської конвенції варто розробляти і впроваджувати конструкції штучних нерестовищ.

Література

1. Holčík J., Jedlička L. Geographical variation of some taxonomically important characters in fishes: the case of the bitterling *Rhodeus sericeus*. *Environmental Biology of Fishes*. 1994. Vol. 41 (1-4). P. 147-170.
2. Годлевська О. В., Фесенко Г. В. Фауна України: охоронні категорії : довідник. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Київ, 2010. 80 с.
3. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Круглороті (Cyclostomata). Риби (Pisces) / Булахов В. Л., Новіцький Р. О., Пахомов О. Є., Христов О. О. Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2009. 304 с.
4. Rhodeus amarus (Bloch, 1782) European bitterling : веб-сайт. URL: http://www.fishbase.se/summary/4483 (дата звернення: 22.11.2024).
5. Parasite assemblages of European bitterling (*Rhodeus amarus*), composition and effects of habitat type and host body size / Dávidová M., Ondračková M., Jurajda P., Gelnar M. *Parasitology Research.* 2008. 102 (5). P. 1001-1011.
6. Мовчан Ю. В. Риби України : визначник-довідник. Київ : Золоті Ворота, 2011. 444 с.
7. Болтачев А.Р., Карпова Е.П. Сучасний стан іхтіофауни прибережної зони Криму та основні причини її зміни. *Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології* : матеріали VI Міжнародної іхтіологічної науково-практичної конференції 9-12 жовтня 2013 р. / за заг. ред. В. В. Грубінко Тернопіль : Вектор, 2013. С. 38-41.
8. Абрам'юк І.І. Молодь риб гирлової ділянки р. Віта. *Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології* : матеріали VI Міжнародної іхтіологічної науково-практичної конференції 9-12 жовтня 2013 р. / за заг. ред. В. В. Грубінко Тернопіль : Вектор, 2013. С. 20-23.
9. The reproductive ecology of the European bitterling (*Rhodeus sericeus*). Smith, C., Reichard, M., Jurajda, P., Przybylski, M. *Journal of Zoology.* 2004. 262 (2). P. 107-124.
10. Котовська Г. О. Сукцесії в угрупованнях цьоголіток риб Кременчуцького водосховища різних біоекологічних груп і промислових категорій. *Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Біологія. Екологія.* 2007. Вип. 15 (1). С. 70-77.
11. Ретроспективний огляд формування іхтіокомплексу р. Оріль. / Кочет В. М., Христов О. А., Марченкова Ю. А., Бондарев Д. Л. *Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Біологія. Екологія.* 2011. Вип. 19. С. 76-85.
12. Куцоконь Ю. К., Романь А. М., Щербатюк М. М. Сучасний склад рибного населення НПП Гетьманський *Вісник Черкаського університету. Сер. «Біологічні науки»*. 2022. № 2. С. 46-52.
13. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Арсан, О. М. та ін. ; за ред. В. Д Романенка. НАНУ : Ін-т гідробіології. Київ : Логос, 2006. 408 с.
14. Хендель Н. В. Регламентація проведення експериментів над тваринами : міжнародні та національні правові стандарти. *Український часопис міжнародного права.* 2013. С. 71-76.
15. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes (Text with EEA relevance) : Directive / Official Journal of the European Union L276/33. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0063 (дата звернення: 22.11.2024).
16. Положення про Комітет з питань етики (біоетики) : Нормативний документ Міністерства освіти, науки, молоді та спорту України. Затверджено Наказом від 19.11.2012 № 1287 / М-во освіти і науки України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1287736-12#n12 (дата звернення: 22.11.2024).
17. Reichard M, Jurajda P, Smith C Male-male interference competition decrease spawning rate in the European bitterling (*Rhodeus sericeus*). *Behav Ecol Sociobiol* 2004. Vol. 56. P. 34-41.

УДК 502:630
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.22

СУЧАСНЕ РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ТКАНИН І ОРГАНІВ ДУБА ЗВИЧАЙНОГО У ВОЛОГИХ СУГРУДАХ ЛІСІВ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

Мельник-Шамрай В.В.[1], **Орлов О.О.**[2], **Жуковський О.В.**[2], **Курбет Т.В.**[1,2], **Краснов В.П.**[1], **Іванюк Р.О.**[1], **Весельський О.О.**[1]
[1]Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
[2]Поліський філіал Науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького
вул. Нескорених, 2, 10004, с. Довжик
org_vvm@ztu.edu.ua

У статті проаналізовано особливості радіоактивного забруднення ґрунту та компонентів деревостану у вологому сугруді Житомирського Полісся. Розподіл сумарної активності ^{137}Cs між лісовою підстилкою та мінеральними шарами ґрунту свідчить, що останній є основним депо радіонукліду та утримує 97,8%. Основна частка ^{137}Cs зосереджена в 10-см шарі ґрунту та поступово зменшується з глибиною. Фракції лісової підстилки за величиною сумарної активності ^{137}Cs можна розмістити в такий ряд: розкладений шар > напіврозкладений шар > нерозкладений шар. Радіоактивне забруднення тканин та органів дуба звичайного у вологих сугрудах свідчить, що на різній висоті стовбура та крони питома активність ^{137}Cs значно варіювала. Найвищі величини питомої активності радіонукліду відмічено в однорічних пагонах – 5341 Бк·кг$^{-1}$, а найменші – у деревині без кори – 415 Бк · кг$^{-1}$. Тканини та органи дуба звичайного характеризуються різними величинами питомої активності ^{137}Cs на різній висоті стовбура. Так, частини стовбура за збільшенням вміст ^{137}Cs у деревині без кори можна розмістити в такий рангований ряд: окоренок < 1/2Н < Н1,3 м < 1/4Н < 3/4 Н < верхівка. За величинами коефіцієнту переходу ^{137}Cs тканини та органи дуба звичайного можна розмістити в рангований ряд за зменшенням показника: пагони 1-річні > кора внутрішня > пагони 2-річні > листя > кора зовнішня > гілкі тонкі > гілкі товсті > деревина в корі > деревина без кори. Для практичних цілей було розраховано граничну щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs для отримання нормативно чистої у радіаційному відношенні лісової продукції. Розрахунки показали, що, заготівлю деревини дуба звичайного можна проводити від 171,92 кБк·м$^{-2}$ для деревини паливної, до 429,80 кБк·м$^{-2}$ для пиловника нескореного та 555 кБк·м$^{-2}$ для балансів. *Ключові слова:* радіоактивне забруднення, вологий сугруд, питома активність ^{137}Cs, ґрунт, дуб звичайний, коефіцієнт переходу.

Modern radioactive contamination of tissues and organs of the common oak in the wet sugrud forests of Zhytomyr Polissia. Melnyk-Shamrai V., Orlov O., Zhukovskyi O., Kurbet T., Krasnov V., Ivaniuk R., Veselskyi O.

Features of radioactive contamination of soil and components of tree canopy were analyzed in wet sugrud of Zhytomyr Polissia. The distribution of the total activity of ^{137}Cs between the forest litter and mineral layers of the soil indicates that the latter is the main depot of the radionuclide and retains – 97.8%. The main share of ^{137}Cs is concentrated in the 10-cm layer of soil and gradually decreases with depth. The forest litter fractions by the magnitude of the total ^{137}Cs activity can be placed in the following series: decomposed layer > semi-decomposed layer > undecomposed layer. Radioactive contamination of tissues and organs of common oak in wet conglomerates indicates that at different heights of the trunk and crown the specific activity of ^{137}Cs varied significantly. Thus, the highest values of the specific activity of the radionuclide were noted in one-year-old shoots – 5341 Bq·kg^{-1}, and the lowest – 415 Bq·kg^{-1} in wood without bark. The tissues and organs of the common oak are characterized by different values of the specific activity of ^{137}Cs at different heights of the trunk. Thus, the parts of the trunk in increasing ^{137}Cs content in wood without bark can be placed in the following ranked series: bark < 1/2H < H1.3 m < 1/4H < 3/4 H < top. According to the values of the ^{137}Cs transition coefficient, the tissues and organs of the common oak can be placed in a ranked series in decreasing order: 1-year-old shoots > inner bark > 2-year-old shoots > leaves > external bark > thin branches > thick branches > wood in bark > wood without bark. For practical purposes limits of density of soil contamination with ^{137}Cs were calculated to obtain normatively clean forest products in terms of radiation. Thus, the harvesting of common oak wood can be carried out from – 171.92 kBq·m^{-2} for fuel wood to 429.80 kBq·m^{-2} for unpolished logs and 555 kBq·m^{-2} for balances. Calculations showed that the harvesting of common oak wood can be carried out from 171.92 kBq·m^{-2} for fuel wood, to 429.80 kBq·m^{-2} for unpolished logs and 555 kBq·m^{-2} for balances. *Key words:* radioactive contamination, wet sugrud, specific activity of ^{137}Cs, soil, common oak, transition coefficient.

Постановка проблеми. Внаслідок масштабної радіаційної аварії на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) відбулося радіоактивне забруднення території України та інших країн Європи. Встановлено, що лісові масиви України стали своєрідним бар'єром на шляху повітряних потоків, котрі переносили радіонукліди, та зазнали більш значного радіоактивного забруднення, ніж відкриті території та стали тим природним об'єктом, у якому радіоактивні елементи (головним чином ^{137}Cs) утримується до теперішнього часу [1, 2]. В перші десятиліття після аварії дослідниками проведено численні дослідження, щодо вивчення особливостей міграції радіонуклідів у ґрунті, їх надходження до різних компонентів лісових екосистем – деревних порід, їстівних грибів, лікарських рослин, дикорослих

ягідних рослин та диких мисливських тварин [3-7]. З часом кількість публікацій з вищезазначених проблем зменшилась. В той же час, з огляду на суттєву зміну радіаційної ситуації у лісових екосистемах, існує потреба у проведенні досліджень з вивчення сучасних міграційних процесів у лісових екосистемах, а також у встановлені особливостей накопичення радіонуклідів у конкретних їх компонента, особливо тих, що є едифікаторами та мають важливе господарське значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З часу аварії на ЧАЕС в Україні проводились дослідження щодо особливостей радіоактивного забруднення лісів на різній віддалі від джерела аварійних викидів, а також у різні періоди після надходження радіонуклідів до лісових екосистем встановлювались закономірності їх перерозподілу між різноманітними компонентами останніх [8, 9]. Таким чином, дослідники встановили, що після первинного затримання радіоактивних елементів у кронах деревних порід, які створювали верхній ярус лісових біогеоценозів, почало відбуватися поступове їх переміщення на надземну фітомасу рослин, які створювали нижчі яруси фітоценозів і ґрунт. Так чи інакше через декілька років понад 90% сумарної активності ^{137}Cs знаходилось у верхній частині лісової підстилки. З огляду на останнє, дослідники приділили увагу закономірностям перерозподілу радіонуклідів у різних типах ґрунтів, оскільки саме це визначало направлення та інтенсивність їх перерозподілу між компонентами лісових екосистем, а також закономірності надходження до деревних порід.

Було встановлено, у перші 10 років з часу переміщення радіонукліду до ґрунту найбільша частка його сумарної активності була сконцентрована у лісовій підстилці. З часом, внаслідок мінералізації останньої та під дією різноманітних ґрунтових процесів, відбувалося поступове переміщення основної кількості радіонуклідів до розкладеного шару лісової підстилки та його заглиблення до мінеральної частини ґрунту [10, 11]. Науковці встановили, що знаходження радіоактивних елементів у різних шарах лісової підстилки створило умови для їх надходження до деяких видів рослин і грибів. Власне останні приймали активну участь у розкладі органічних решток і їх достатній розвиток прискорював темпи переміщення радіонукліду до мінеральної, коренезаселеної частини ґрунту. З часом, отримані дані дозволило вченим відмітити найбільшу частку активності ^{137}Cs у верхній частині гумусово-елювіального горизонту ґрунту та значне зростання даного показника у багатьох видах трав'янистих і чагарничкових рослин, а також деревних породах [11, 12]. Було встановлено, що швидкість міграції ^{137}Cs у лісових ґрунтах залежить від екологічні умови зростання: багатства та вологості ґрунту. У публікаціях [13-17], проаналізовано закономірності розподілу радіонуклідів між різними компонентами лісових екосистем. Основна частка валового запасу ^{137}Cs зосереджена в ґрунті (із врахуванням лісової підстилки) та становить у вологому борі – 86,29%, у вологому суборі – 75,32%, у вологому сугруді – 98,83% та у свіжому борі – 78,97%. Інші компоненти фітоценозу в цих типах лісорослинних умов відповідно утримували – 13,71%, 24,68%, 1,68% та 21,03%.

Відомо, що деревні породи є едифікаторами лісових екосистем і мають значне господарське значення. У публікаціях в перші 10-15 років після аварії на ЧАЕС наводяться досить невеликі величини питомої активності ^{137}Cs у деревині і науковці пояснювали це знаходженням більшої частини радіонукліду у шарах ґрунту, які розташовані вище розміщення основної маси сисних коренів дерев. Пізніше з'явилися дані про особливості радіоактивного забруднення деяких тканин і органів деревних порід, а також відмінності у накопичені радіонукліду різними деревними породами [18-20]. Було встановлено, що перерозподіл радіонуклідів між тканинами й органами деревних порід залежить від пори та місця відбору зразків деревини, віку насаджень, виду деревної породи, типу лісорослинних умов, рівнів радіоактивного забруднення ґрунту та взаємодії кореневих систем деревних порід із ґрунтом. Так, за інтенсивністю акумуляції ^{137}Cs деревні породи Українського Полісся можна розмістити в наступний ряд: осика > дуб черешчатий > береза повисла > сосна звичайна. Невелика кількість наукових публікацій присвячена вивченню радіального розподілу сумарної активності ^{137}Cs у стовбурі деревних порід (головним чином сосни звичайної). Були зроблені висновки, що максимальний вміст радіонукліду відмічається у периферійній частині стовбура і відбувається поступове зменшення цього показника у деревині у напрямку з периферії до центру стовбура [21-23]. Публікацій з приводу вивчення особливостей радіоактивного забруднення частин і органів дуба звичайного та радіального розподілу ^{137}Cs у стовбурі ми не зустрічали.

Втім, з часу аварії на ЧАЕС пройшло понад 38 років, відбулася суттєва зміна радіаційної ситуації у лісах в першу чергу за рахунок природного розпаду радіонуклідів [24]. Крім того, відбувся їх перерозподіл у біогеоценозах: деяке заглиблення та закріплення у ґрунті, закріплення в деревині деревних і чагарникових рослин, залучення до малого біологічного кругообігу речовини. З огляду на це необхідною є актуалізація інформації щодо сучасного розподілу радіонуклідів у лісових екосистемах, рівнів радіоактивного забруднення різних її компонентів та можливостей їх використання населенням регіонів, що зазнали забруднення внаслідок аварії.

Метою статті є вивчення особливосте радіоактивного забруднення тканин і органів дуба звичайного у свіжих сугрудах лісів Житомирського Полісся та визначення можливосте їх використання.

Об'єктом досліджень є лісові насадження дуба звичайного у вологих сугрудах на територіях забруднених радіонуклідами. Предмет досліджень – закономірності розподілу ^{137}Cs в тканинах і органах дуба звичайного.

Новизна отриманих результатів полягає в тому, що буде оновлено інформацію щодо радіоактивного забруднення тканин і органів дуба звичайного, які використовуються для різноманітних господарських цілей у сучасний період часу.

Методика досліджень. Дослідження проводились на пробній площі (ПП) № 34, яка закладена у виділі № 34, лісовому кварталі № 34 Бовсунівського лісництва філії «Лугинське лісове господарство». Склад деревостану – 5Бп2Влч1Дз1Сз1Ос, вік – 73 роки, клас бонітету – I, тип лісу – $С_3$ГДС, повнота – 0,65, запас – 270 м^3·га$^{-1}$. Ґрунт – дерново-середньопідзолистий, поверхнево оторфований, супіщаний на водно-льодовикових відкладах. Фітоценоз – осиково-дубово-сосново-вільхово-березовий ліс малиново-ведмежоожиново-веснівковий.

На пробній площі розміром 100 х 100 м (1 га), яка закладена за стандартною методикою [25], проведено суцільний переоблік дерев, за результатами якого визначено параметри середнього дерева. У наступному в межах ПП підібрано три дерева за розмірами близькими до визначеного середнього. Відібрані дерева спилювались. З нижньої, середньої та верхньої частин крони відбирали зразки: листя, пагонів 1- і 2-річних, гілок тонких (до 5 см) і товстих (понад 5 см). На стовбурах дерев на висоті ($Н_{окоренка}$, $Н_{1,3\ м}$, ¼Н, ½Н, ¾Н та $Н_{вершини}$) відбирали зразки: зовнішньої і внутрішньої частин кори, деревини з корою і без кори. Для радіоекологічної характеристики ґрунтів на кожній пробній площі закладали 3-и ґрунтові профілі. З кожного ґрунтового профілю стандартним пробовідбірником (25 × 20 × 2 см) відбирали зразки лісової підстилки за шарами (фракції за ступенем розкладу) – нерозкладену, напіврозкладену та розкладену з площі 500 см^2. Мінеральні горизонти відбирали пробовідбірником до глибини 40 см, за шарами 2 см завтовшки, об'ємом 1000 см^3.

Відібрані зразки, висушували до повітряно сухого стану протягом 72 год при температурі 80ºС, гомогенізували на пробопідготовлювачі ПРП-1, зважували. Спектрометричні дослідження зразків проводили на гамма-спектрометрі СЕГ-001 «АКП-С»-150 з сцинтиляційним детектором БДЕГ-20-Р2 та з використанням еталонованих посудин: 1 л посудина Марінеллі; 0,5 л посудини Марінеллі; 135 см^3 – «Муха»; 70 см^3 і 35 см^3 – ґрунтовий бюкс. Середня відносна похибка вимірювання активності радіонукліду не перевищувала ±15% (довірчий рівень – 0,95). Похибка вимірювання питомої активності ^{137}Cs не перевищувала 15%. Показником інтенсивності акумуляції ^{137}Cs у системі «ґрунт-рослина» слугував коефіцієнт переходу (КП). Результати досліджень обробляли за допомогою пакета прикладних програм Microsoft Office Excel та Statistica 10 [26].

Виклад основного матеріалу. Деревні породи є едифікаторними компонентами лісових екосистем, їх роль після аварії на ЧАЕС була визначальною у первинному затриманні та подальшому перерозподілі радіонуклідів. Сугруди є найбагатшим з зональних трофотопів в Українському Поліссі, а видовий склад їх деревостанів є також найбільшим і включає, крім сосни звичайної, такі деревні породи, як дуб звичайний, осика, береза повисла, вільха чорна. Аналіз радіоекологічних показників для модельних дерев дуба звичайного у вологих сугрудах свідчить, що у межах кожного висотного діапазону стовбура та крони питома активність ^{137}Cs значно варіювала (рис. 1).

Аналізуючи отримані результати можна відмітити, що найвищі величини питомої активності радіонукліду відмічено в зовнішній корі по всіх частинах стовбуру, – від 1570 до 3840 Бк/кг. Так, частини стовбура за збільшенням вмісту ^{137}Cs у зовнішній корі можна розмістити в такий рангований ряд: окоренок < 1/4Н < Н1,3 м < 1/2Н < верхівка < 3/4 Н. Деревина без кори характеризується найменшими величинами питомої активності ^{137}Cs, – від 415 до 2004 Бк/кг, також варто відмітити, що вміст радіонукліду максимально зростає в зразках, що відібрані у верхівці та 3/4 Н.

Досліджуючи питому активність ^{137}Cs у межах кожного висотного діапазону крони встановлено, що вона коливалася у широких межах (рис. 2). Так, для дуба звичайного у нижній частині крони максимальне значення згаданого показника було властивим пагонам однорічним – 4360 Бк/кг, а мінімальне – гілкам товстим, – 1585 Бк/кг. Загалом, органи дуба звичайного у межах всіх висотних діапазонів крони за величиною вмісту ^{137}Cs можна розмістити у такому рангованому ряду: пагони однорічні > листя > пагони 2-річні > гілки тонкі > гілки товсті.

Для всіх висотних діапазонів стовбура і крони були розраховані значення коефіцієнту переходу ^{137}Cs (табл. 1). Так, мінімальні значення коефіцієнту переходу були відмічені для деревини без кори – 1,16 м^2·кг$^{-1}$·10^{-3}, а максимальні спостерігаються у 1-річних пагонах – 14,94 м^2·кг$^{-1}$·10^{-3}.

Проаналізувавши середні значення коефіцієнту переходу для дуба звичайного, тканини та органи можна розмістити в рангований ряд за зменшенням величини КП: пагони 1-річні > кора внутрішня > пагони 2-річні > листя > кора зовнішня > гілкі тонкі > гілкі товсті > деревина в корі > деревина без кори.

Додатково проаналізовано зміни коефіцієнта переходу в деревині з корою та без кори в залежності від висоти дерева. Результати свідчать (рис. 3), що коефіцієнт переходу ^{137}Cs у деревину дуба звичайного з корою мав найбільші величини на 3/4Н – 5,5 м^2·кг$^{-1}$·10^{-3}, тоді, як для верхівки цей показник був у 1,25 рази меншим у порівнянні з 3/4Н, а для

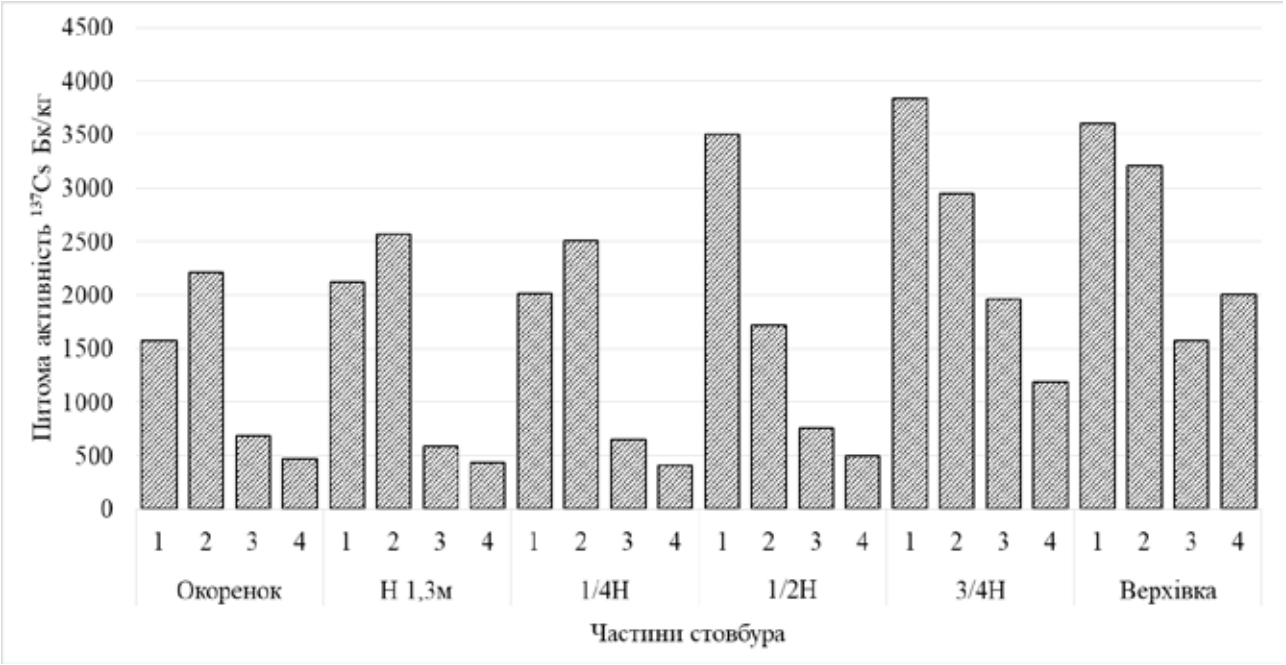


Рис. 1. Питома активність ^{137}Cs у тканинах та органах дуба звичайного на різній висоті стовбура у вологих сугрудах

Примітка: 1 – кора зовнішня; 2 – кора внутрішня; 3 – деревина в корі; 4 – деревина без кори.
Джерело: власні дослідження

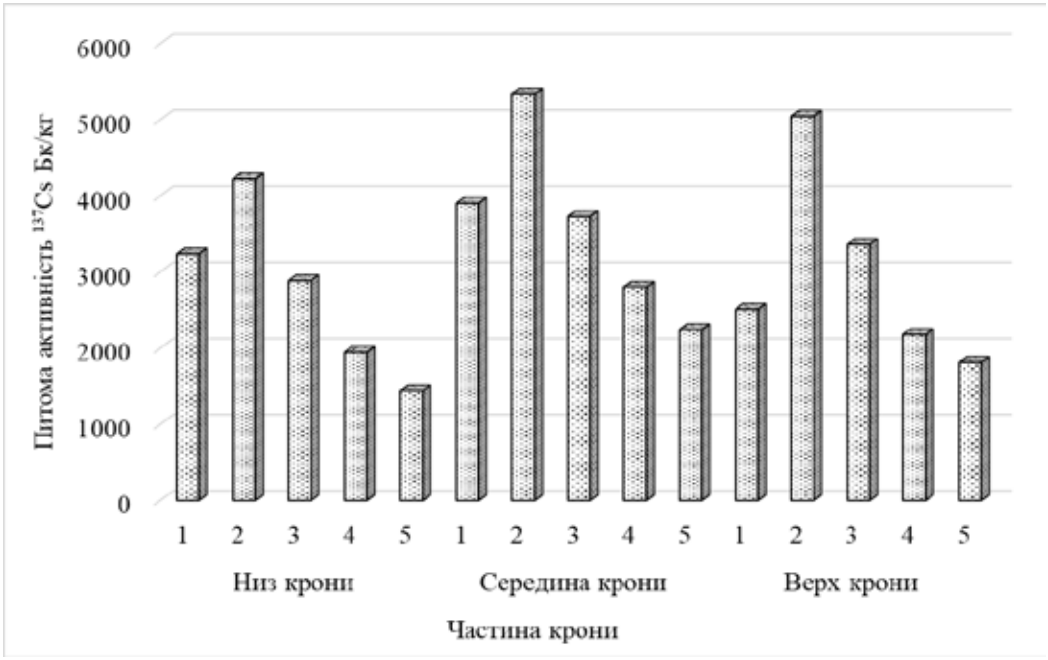


Рис. 2. Питома активність ^{137}Cs в органах крони дуба звичайного у вологих сугрудах

Примітка: 1 – листя; 2 – пагони 1-річні; 3 – пагони 2-річні; 4 – гілки тонкі; 5 – гілки товсті.
Джерело: власні дослідження

окоренка така різниця була в 2,9 рази. При аналізі величин коефіцієнт переходу ^{137}Cs у деревину без кори відмічено, що найменші величини характерні для 1/4Н – 1,16 $м^2 \cdot кг^{-1} \cdot 10^{-3}$, а найбільші – для верхівки, – 5,6 $м^2 \cdot кг^{-1} \cdot 10^{-3}$.

Для практичних цілей розраховано граничну щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs у вологому сугруді для заготівлі деревини дуба звичайного, радіоактивне забруднення якої не перевищувало б чинних допустимих рівнів [27, 28]. Встановлено, що

Таблиця 1

Значення коефіцієнту переходу в тканини та органи дуба звичайного при відборі зразків в різних частинах стовбура та крони

Частини стовбура / крони	Тканини та органи	КП
Окоренок	Кора зовнішня	4,39
	Кора внутрішня	6,17
	Деревина в корі	1,9
	Деревина без кори	1,32
Н 1,3м	Кора зовнішня	5,94
	Кора внутрішня	7,17
	Деревина в корі	1,65
	Деревина без кори	1,23
1/4Н	Кора зовнішня	5,63
	Кора внутрішня	7
	Деревина в корі	1,81
	Деревина без кори	1,16
1/2Н	Кора зовнішня	9,78
	Кора внутрішня	4,82
	Деревина в корі	2,12
	Деревина без кори	1,4
3/4Н	Кора зовнішня	10,74
	Кора внутрішня	8,26
	Деревина в корі	5,5
	Деревина без кори	3,32
Верхівка	Кора зовнішня	10,09
	Кора внутрішня	8,99
	Деревина в корі	4,39
	Деревина без кори	5,6
Низ крони	Листя	9,07
	Пагони 1-річні	11,82
	Пагони 2-річні	8,08
	Гілки тонкі	5,45
	Гілки товсті	4,03
Середина крони	Листя	10,92
	Пагони 1-річні	14,94
	Пагони 2-річні	10,44
	Гілки тонкі	7,84
	Гілки товсті	6,28
Верх крони	Листя	7,02
	Пагони 1-річні	14,12
	Пагони 2-річні	9,41
	Гілки тонкі	6,1
	Гілки товсті	5,08

Джерело: власні дослідження

заготівлю деревини дуба звичайного можна проводити від наступних рівнів радіоактивного забруднення ґрунту – 171,92 Бк/м^2 для деревини паливної до 429,80 Бк/м^2 для пиловника нескореного та 555 Бк/м^2 – для балансів.

Вивчаючи радіоактивне забруднення компонентів лісових екосистем у вологих сугрудах, перш за все необхідно оцінити рівні забруднення ґрунту ^{137}Cs та проаналізувати вертикальний розподіл радіонукліду по різних ґрунтових горизонтах. Результати

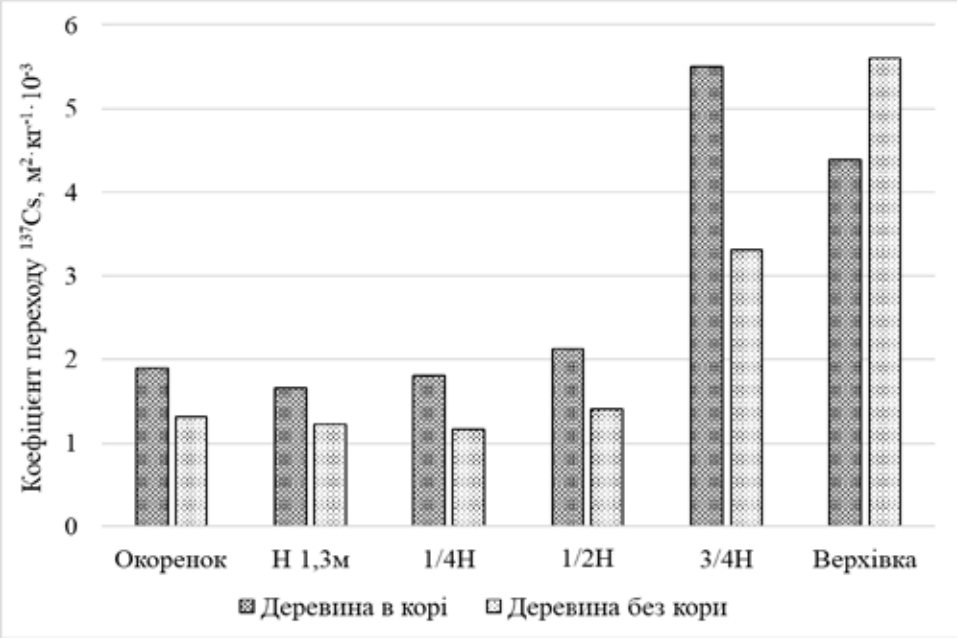


Рис. 3. Значення коефіцієнтів переходу ^{137}Cs у деревину з корою та деревину без кори дуба звичайного на різній висоті стовбура

Джерело: власні дослідження

дослідження свідчать, що частка сумарної активності ^{137}Cs у мінеральних шарах становить 97,8%, що у 44 рази більше порівняно з шарами лісової підстилки. Отримані результати підтверджують попередні результати досліджень [10, 29], адже у вологому сугруді відбуваються інтенсивніші процеси розкладання лісової підстилки, що і підвищує міграцію радіонукліда до мінеральних шарів ґрунту.

Вивчення розподілу сумарної активності ^{137}Cs між фракціями лісової підстилки (рис. 4) свідчить, що основна частка припадає на розкладений шар – 79,55%, що у 4,8 та 19,8 разів більше у порівнянні з напіврозкладеним та нерозкладеним шаром лісової підстилки. Нерозкладений шар лісової підстилки в 4,1 рази менше утримує ^{137}Cs, ніж напіврозкладений шар лісової підстилки.

Аналізуючи розподіл сумарної активності ^{137}Cs у мінеральних шарах ґрунту вологого сугруду (рис. 5), можна відмітити, що основна частка радіонуклідів зосереджена у верхньому 10-см шарі ґрунту. Так, в 0-2 см шарі ґрунту частка сумарної активності ^{137}Cs становить – 28,48%, що в 1,3 рази більше порівняно з шаром 2-4 см. Подібні закономірності також простежуються при порівнянні сумарної активності ^{137}Cs з наступними шарами ґрунту. Так, для 4-6 см шару сумарної активності ^{137}Cs в 1,6 рази менша порівняно з 0-2 см шаром, а для 6-8 см та 8-10 см така різниця була у 3,5 та 4,3 рази відповідно. З шару 10-12 см до 38-40 см частка сумарної активності ^{137}Cs поступово зменшується від 3,56% до 0,35%, а загальна частка активності становить – 15,67%.

Підсумовуючи результати вивчення вертикальної міграції у ґрунті вологих сугрудів, можна відмітити, що питома та сумарна активність ^{137}Cs з глибиною зменшується. Враховуючи цей факт, нами було проведено регресійний аналіз залежності питомої активності ^{137}Cs у мінеральних шарах від глибини відбору зразків (рис. 6). З отриманих результатів можна стверджувати, що вертикальний розподіл питомої активності радіонуклідів у мінеральних шарах ґрунту має експоненціальний характер. Рівняння залежності питомої активності ^{137}Cs від глибини ґрунтового профілю має такий вигляд:

$$y = a \cdot \exp^{(-b \cdot x)}, \quad (1)$$

де: y – питома активність радіонукліду; x – глибина відбору зразку ґрунту; a та b – коефіцієнти.

Розрахунки показали, що коефіцієнт кореляції становить 0,85, коефіцієнти значущості наближаються до нуля, що свідчить про високу достовірність зв'язку на 95% довірчому рівні. Таким чином, отримана залежності є тісною, а рівняння достовірним.

Висновки. За результатами проведених досліджень щодо особливостей радіоактивного забруднення тканин та органів дуба звичайного у 2023 році в лісових масивах вологого сугруду можна відмітити:

1. Основна частка сумарної активності ^{137}Cs зосереджена у мінеральних шарах ґрунту і становить 97,8%, тоді, як шари лісової підстилки сумарно утримують лише 2,2% валового запасу ^{137}Cs ґрунту. Головна частка радіонуклідів зосереджена в у верхньому 10-см шарі ґрунту, де сконцентрована коренева система трав'яно-чагарникового покриву та міцелій грибів.

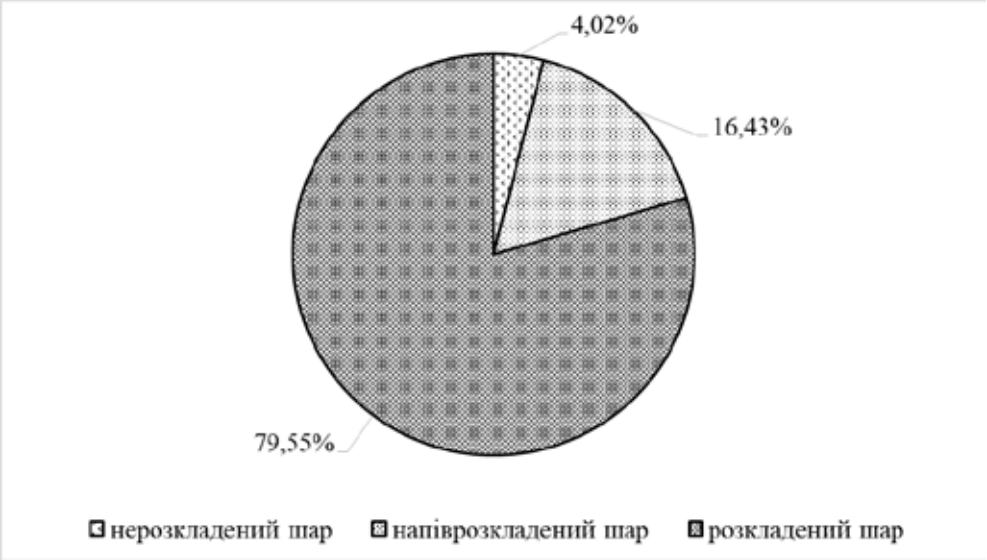


Рис. 4. Розподіл сумарної активності ^{137}Cs між фракціями лісової підстилки у вологому сугруді

Джерело: власні дослідження

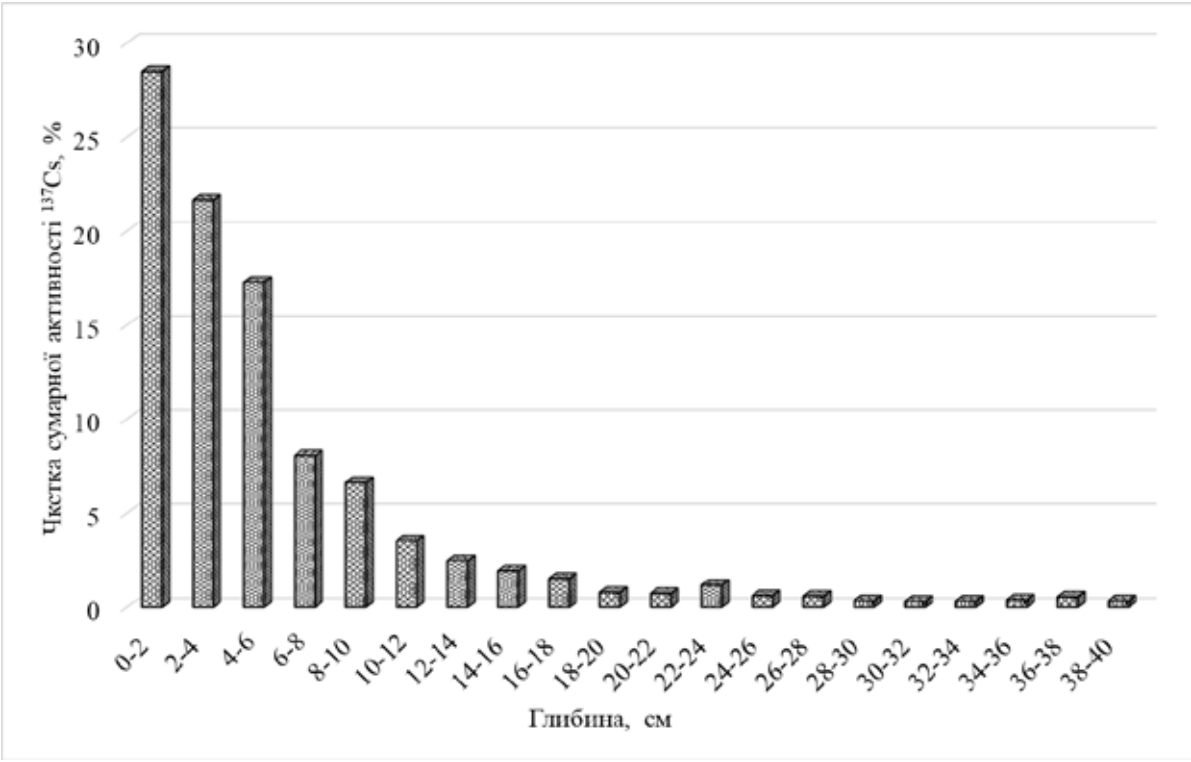


Рис. 5. Вертикальний розподіл сумарної активності ^{137}Cs у ґрунті вологого сугруду

Джерело: власні дослідження

2. Аналіз радіоактивного забруднення тканин та органів дуба звичайного свідчить про значні відмінності питомої активності ^{137}Cs у межах кожного висотного діапазону стовбура та крони. Так, вміст ^{137}Cs у зовнішній корі дуба звичайного мав найвищі значення по всіх частинах стовбура та коливався від 1570 до 3840 Бк/кг. В межах крони питома активність радіонукліду мала певні закономірності, що дозволило органи та тканини дуба звичайного у межах всіх висотних діапазонів крони за величиною вмісту ^{137}Cs розмістити у такому рангованому ряду: пагони однорічні > листя > пагони 2-річні > гілки тонкі > гілки товсті.

3. Для практичних цілей розраховано граничну щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs у вологому сугруді для всіх видів досліджуваної продукції та

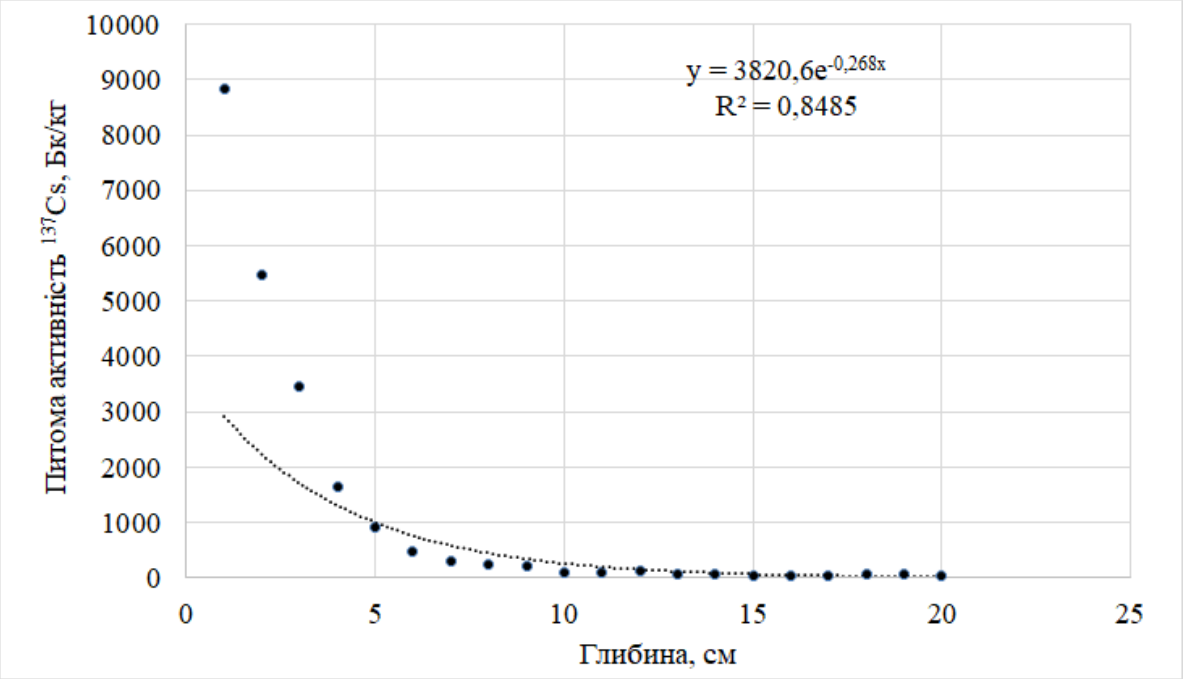


Рис. 6. Залежність питомої активності ^{137}Cs від глибини відбору зразків ґрунту в мінеральних шарах ґрунту вологого сугруду

Джерело: власні дослідження

встановлено, що заготівлю деревини дуба звичайного можна проводити від наступних рівнів радіоактивного забруднення ґрунту – 171,92 Бк/м^2 для деревини паливної до 429,80 Бк/м^2 для пиловника нескореного та 555 Бк/м^2 для балансів. Варто зазначити, що заготівля різної продукції в лісових масивах має відбуватися диференційовано, з урахуванням типу лісорослинних умов, щільності радіоактивного забруднення ґрунту та видових особливостей акумуляції радіонуклідів для окремих видів продукції.

Література

1. Калетник М. М., Ландін В. П., Краснов В. П. Про стан радіоактивного забруднення лісів держлісгоспів. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість.* 1992. № 3. С. 9–12.
2. Ландін В. П. Особливості радіоактивного забруднення лісів Українського Полісся. *Лісівництво і агролісомеліорація*. К. : Урожай, 1993. № 86. С. 10–16.
3. Орлов О. О., Краснов В. П., Ірклієнко С. П. та ін. Вивчення радіоактивного забруднення лікарських рослин лісів Українського Полісся. *Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України*. Наук. праці Поліської АЛНДС. Житомир, 1996. Вип. 3. С. 48–54.
4. Короткова О.З., Орлов О.О., Краснов В.П., Каліш О.Б. Особливості накопичення ^{137}Cs органами ягідних рослин різних вікових груп. *Зб. наук. праць Інституту ядерних досліджень.* Київ. 1999. С. 313-315.
5. Кондратюк С. Я., Вассер С. А. Накопичення радіонуклідів споровими і вищими грибами. К.: 1995. 131 с.
6. Орлов О. О., Краснов В. П. Період напівзниження питомої активності компонентів лісових біогеоценозів від ^{137}Cs: моніторинг, моделювання, прогноз. *Науковий вісник УДЛТУ.* 2004. № 14 (5). С. 35–40.
7. Шелест З.М., Орлов О.О., Краснов В.П. Особливості структури та складу зимового раціону козулі європейської у Центральному Поліссі. *Вісник Київського Нац. Університету.* 2000. № 31. С. 37–39.
8. Краснов В. П. Радіоекологія лісів Полісся України. Житомир: Волинь. 1998. 112 с.
9. Архипов А. М., Мелешин А. Ю., Мєшалкін Г. С. та ін. Кількісна оцінка вертикальної міграції ^{137}Cs та ^{90}Sr в ґрунтах зони відчуження. Наука. Чорнобиль-96 : збірка тез. науково-практ. конф., 11–12 лютого 1997 р. Київ, 1997. С. 69.
10. Melnyk V., Kurbet T. Current distribution of ^{137}Cs in sod-podzolic soils of different types of forest conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. №. 5/10(95). P. 65–71.
11. Бойко О. Л. Розподіл сумарної активності ^{137}Cs у лісових фітоценозах. *Лісівництво і агролісомеліорація.* Харків : УКРНДІЛГА, 2012. Вип. 120. С. 87–94.
12. Краснов В. П., Курбет Т. В., Давидова І. В. та ін. Вертикальний розподіл сумарної активності ^{137}Cs у ґрунтах лісів Полісся України. *Науковий вісник НЛТУ.* 2015. Вип. 25.5. С. 123–129.
13. Давидов М. М., Протас Т. І., Савущик М. П. Накопичення радіонуклідів в основних компонентах лісових екосистем Київських Полісся та Лісостепу. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2014. № 2 (4). С. 25–31.
14. Краснов В. П., Орлов О. О., Курбет Т. В. Сучасний розподіл радіонуклідів у лісових екосистемах Полісся України. *Лісовий журнал.* 2011. № 1. С. 4–8.

15. Бойко О. Л., Орлов О. О. Закономірності розподілу валового запасу ^{137}Cs у лісових біогеоценозах Українського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2012. Вип. 22.13. С. 29–37.
16. Проневич В. А. Міграція ^{137}Cs у лісових біоценозах Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2014. Вип. 24.7. С. 145–150.
17. Шитюк К. Ф., Орлов О. О., Мельничук С. Д. Порівняльна оцінка розподілу ^{137}Cs в екосистемах соснових та сосново-дубових лісів Українського Полісся. *Ядерна фізика та енергетика.* 2010. Т. 11, № 1. С. 74–81.
18. Орлов О. О., Ірклієнко С. П., Турко В. М. та ін. Порівняльна оцінка інтенсивності акумуляції ^{137}Cs та ^{90}Sr різними деревними породами в Поліссі України. *Вісник Державної агроекологічної академії України*. 2000. № 2. С. 157–167.
19. Краснов В. П., Орлов А. А., Бузун В. А., Ландин В. П., Шелест З. М. Прикладна радіоекологія лісу. Житомир, Полісся. 2007. 680 с.
20. Бойко О. Л. Закономірності акумуляції ^{137}Cs деревним ярусом сосново-дубових лісів у вологих сугрудах Українського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2012. Вип. 22.14. С. 42–50.
21. Masuchika K., Yoshinobu K., Katsuo O. etal. Distribution of environmental cesium-137 in tree rings. *J. Environ. Radioactivity*. 1988. Vol. 8. P. 15–19.
22. Monoshima N., Bondietti E.A. The radial distribution of Sr-90 and Cs-137 in trees. *J. Environ. Radioactivity.* 1994. Vol. 22. P. 93–109.
23. Орлов О. О. Закономірності радіального розподілу ^{137}Cs у стовбуровій деревині головних лісоутворювальних порід Українського Полісся. *Лісівництво і агролісомеліорація.* Харків : УкрНДІЛГА, 2009. Вип. 116. С. 214–220.
24. Ландін В. П. Сучасна радіаційна ситуація в радіоактивно забруднених лісах України. *Проблеми екології лісу і лісокористування на Поліссі України.* 2004. Вип. 4 (10). С. 23–26.
25. Forest test plots. Method of laying: SOU 02.02-37-476. 2006. The Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, Kyiv, 32 p.
26. Руденко В. М. Математична статистика. Навчальний посібник. К.: Центр учбової літератури, 2012. 304 с.
27. Краснов В. П., Косинський В. П., Струтинський О. В. Вміст ^{137}Cs та ^{90}Sr у продукції побічного користування в лісах Житомирської області (за даними 2017 р.). *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2017. № 130. С. 179–184.
28. Про затвердження Державних гігієнічних нормативів «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. Режим доступу: http://surl.li/laphjb (дата звернення: 15.11.2024 р.).
29. Бойко О. Л. Сучасний розподіл ^{137}Cs у ґрунтах сугрудів і суборів лісів Українського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2012. Вип. 22.08. С. 19–24.

УДК 581.5
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.23

ВІТАЛІТЕТНА СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦІЙ *STIPA PENNATA* L. ТА *ASTRAGALUS CICER* L. У СКЛАДІ ЛУЧНО-СТЕПОВИХ ФІТОЦЕНОЗІВ ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «МИХАЙЛІВСЬКА ЦІЛИНА»

Некрасова К.О., Коплик Я.В.
Сумський національний аграрний університет
вул. Герасима Кондратьєва, 160, 40000, м. Суми
korshikovakatya@ukr.net, y_koplik@ukr.net

Зміни, які відбуваються у фітоценозі під дією різних антропогенних чинників, відображаються в структурі популяцій, тому її вивчення дозволяє не лише охарактеризувати стан ценопопуляції, а й рослинного угруповання у цілому. Реакції ценопопуляцій на вплив різних чинників становлять інтерес для вивчення популяційних механізмів пристосування до умов місцезростань. Це, в свою чергу дасть можливість розробки заходів збереження та ренатуралізації флори, ценопопуляцій рослин у межах природного заповідника «Михайлівська цілина».

В останні роки все ширше в ботанічних дослідженнях використовується віталітетний аналіз, який надає цінну інформацію про статус популяцій рослин. Варто зазначити, що на території природного заповідника не проводились вивчення віталітетної структури а ні типових видів рослин, а ні рідкісних.

Отже, метою публікацію було встановити та проаналізувати віталітетну структуру популяцій *Stipa pennata* L. та *Astragalus cicer* L. (далі по тексту – *S. pennata* та *A. cicer*) в умовах лучно-степових фітоценозів природного заповідника «Михайлівська цілина». Вивченням було охоплено шість популяцій *S. pennata* та шість популяцій *A. cicer*, що зростали у фітоценозах, які відрізнялися за режимом та тривалістю заповідання території.

Віталітетний аналіз було проведено відповідно до загальноприйнятих методик, запропонованих Ю.А. Злобіним. Було визначено, що серед шести популяцій *S. pennata* одна була процвітаючою (з індексом якості Q 0,3845). Решта популяцій були або врівноваженими (значення індексу Q в діапазоні від 0,2500 до 0,2894), або депресивними (значення індексу Q в діапазоні від 0,0200 до 0,1562). Всі досліджені популяції виду *S. pennata* відрізняються між собою як власне за значенням індексу Q, так і за співвідношенням у своєму складі рослин різного рівня віталітету. Загалом, едафічні умови, ступінь і характер антропогенного впливу для популяцій виду *S. pennata* є оптимальним, але з деякими негативними тенденціями в бік погіршення якості та динаміки популяцій в умовах резерватної сукцесії.

Серед шести популяцій *A. cicer* дві належали до процвітаючих (значення індексу Q в діапазоні від 0,4200 до 0,5000), дві популяції були рівноважними (значення індексу Q в діапазоні від 0,1800 до 0,2916) та дві популяції належали до депресивних (значення індексу Q в діапазоні від 0,0806 до 0,1591). Лучно-степові фітоценози природного заповідника «Михайлівська цілина» загалом виявилися сприятливими для функціонування популяцій *A. cicer*. При цьому популяції *A. cicer*, що зростають в умовах сінокісного режиму, мали вищі значення індексу Q, порівняно з популяціями виду, які зростали без сінокісного режиму. *Ключові слова:* природний заповідник, віталітетний аналіз, *Stipa pennata* L., *Astragalus cicer* L., лучно-степові фітоценози.

Vitality structure of *Stipa pennata* L. and *Astragalus cicer* L. populations in meadow-steppe phytocenoses of the Nature Reserve Mykhailivska Tsilyna. Nekrasova K., Koplyk Ya.

The changes that occur in the phytocenosis under the influence of various anthropogenic factors are reflected in the population structure, so its study allows not only to characterize the state of the cenopulation, but also of the plant community as a whole. The reactions of cenopopulations to the influence of various factors are of interest for the study of population mechanisms of adaptation to local growth conditions. This, in turn, will provide an opportunity to develop measures for the preservation and renaturalization of flora, plant coenopopulations within the Nature Reserve Mykhailivska Tsilyna.

Vitality analysis, which provides valuable information about the status of plant populations, has been increasingly used in botanical research in recent years. It is worth noting that on the territory of the nature reserve, the study of the vitality structure and typical species of plants, and not rare ones, was not conducted.

Therefore, the purpose of the publication was to establish and analyze the vital structure of populations of *Stipa pennata* L. and *Astragalus cicer* L. (hereinafter referred to as *S. pennata* and *A. cicer*) in the conditions of the meadow-steppe phytocenoses of the Nature Reserve Mykhailivska Tsilyna. The study covered six populations of *S. pennata* and six populations of *A. cicer*, growing in phytocenoses that differed in terms of regime and duration of territory inheritance.

Vitality analysis was carried out in accordance with generally accepted methods proposed by Yu.A. Zlobin. It was determined that among the six populations of *S. pennata*, one was determined to be thriving (with a quality index Q of 0.3845). The remaining populations were either balanced (Q-index values ranging from 0.2500 to 0.2894) or depressed (Q-index values ranging from 0.0200 to 0.1562). All studied populations of the species *S. pennata* differ among themselves both in terms of the actual value of the Q index and in the proportion of plants of different levels of vitality in their composition. In general, the edaphic conditions, degree and character of anthropogenic influence for the populations of the species *S. pennata* are optimal, but with some negative trends towards the deterioration of the quality and dynamics of the populations in the conditions of reserve succession.

Among the six *A. cicer* populations, two were thriving (Q index values ranging from 0.4200 to 0.5000), two populations were balanced (Q index values ranging from 0.1800 to 0.2916), and two populations were depressed (Q index value in the range from 0.0806 to 0.1591). The meadow-steppe phytocenoses of the Nature Reserve Mykhailivska Tsilyna generally turned out to be favorable for the functioning of *A. cicer* populations. At the same time, the populations of *A. cicer* growing under the conditions of the hay regime had higher values of the Q index, compared to the populations of the species that grew without the hay regime. *Key words:* nature reserve, vitality analysis, *Stipa pennata* L., *Astragalus cicer* L., meadow-steppe phytocenoses.

Постановка проблеми. На сьогодні спостерігається виражена антропогенна трансформація степових та лучно-степових екосистем. Степова рослинність у природному стані зустрічається лише на ділянках, які не підлягають господарському освоєнню та на території об'єктів природно-заповідного фонду [1]. Степові фітоценози є осередком високого видового різноманіття рослин. Наслідком трансформації степових екосистем є значне зменшення чисельності та навіть зникнення популяцій типових степових видів, в тому числі, рідкісних [2]. Для ефективного збереження ценозоутворюючих видів степових та лучно-степових рослин важливими є моніторингові дослідження популяційних та еколого-ценотичних особливостей даних видів. Популяційні досліджень дають змогу оцінити особливості реагування та закономірності існування популяцій видів рослин в умовах антропогенного навантаження.

Актуальність дослідження. У степових та лучно-степових фітоценозах внаслідок антропогенного впливу спостерігається низка змін, у тому числі негативних (мезофітизація рослинного покриву, поширення інвазійних видів та ін.), що також відображається на стані та структурі популяцій окремих видів рослин [3, 4]. Вивчення особливостей реагування популяцій злакових та бобових рослин в умовах лучно-степових фітоценозів на різноманітні антропогенні чинники дозволить глибше зрозуміти дані механізми, що в свою чергу сприятиме розробці заходів, направлених на збереження видів. Таким чином, популяційні дослідження лучно-степових видів рослин на сьогодні є надзвичайно актуальним напрямом.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Головними загрозами для степових та лучно-степових фітоценозів природного заповідника «Михайлівська цілина» на сьогодні є поширення інвазійних видів, а також мезофітизація рослинного покриву, яка відмічається рядом авторів [5, 6]. Унаслідок цього існує загроза для типових степових видів злаків та бобових. Вивчення стану та структури популяцій *S. pennata* та *A. cicer,* дасть уявлення щодо реалізації популяціями даних видів віталітетних тактик та механізмів адаптації до умов конкретних місцезростань, які відрізняються за ступенем антропогенної трансформації. Отримані дані будуть використані науковцями природного заповідника «Михайлівська цілина» при розробці плану заходів із охорони та збереження як цілісного лучно-степового фітоценозу, так і окремих видів, зокрема тих, які мають природоохоронний статус.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Територія природного заповідника «Михайлівська цілина» є неоднорідною як за еколого-ценотичними умовами, так і за режимом території. Одним із вагомих факторів екотопічних змін у рослинному покриві досліджуваної території є існування різних режимів охорони. На сучасному етапі функціонування установи, її територія умовно поділена на дві частини – так звану «історичну» та «нову». Історична територія представляє собою ділянку плакорного лучного степу площею 202,4 га, яка репрезентує найпівденніший варіант північних різнотравних барвистих лучних степів лісостепової зони України, охороняється з 1928 року. Нова територія представляє собою різновікові перелоги (2-20 років), які є частиною колишньої охоронної буферної зони навколо історичного ядра площею 680,5 га. Спочатку ця територія мала статус ботанічного заказника місцевого значення, а з 2009 року – реорганізована разом з історичною частиною в природний заповідник «Михайлівська цілина» [7]. Загалом, ценоструктура всієї території постійно піддавалася трансформаціям у зв'язку з антропогенною діяльністю, вона сформувалась під дією вогню, випасання і почасти – сінокосіння [8].

Уперше, інформація про видовий склад флори заповідника наводиться у працях Г.І. Ширяєва, в списку поданих 196 видів є представники роду *Astragalus*, а також описано місцезростання деяких видів роду *Stipa*, зокрема *S. pennata*, який разом з іншими дернинними злаками становив переважаючу частку травостою історичної ділянки заповідника [9]. Пізніше Є.М. Лавренко та І.Г. Зоз доповнили видовий список рослин [9].

В період планомірних геоботанічних досліджень [10] ґрунтовне вивчення рослинного покриву зробив С.С. Харкевич, згідно його досліджень [11] на території природного заповідника зростало 320 видів рослин, серед яких 44 види були представниками родини *Poaceae*, а 32 – родини *Fabaceae* і представляли найчисельніші групи в складі флори історичної частини заповідника. Чисельні дослідження В.С. Ткаченка згодом показали, що типовий стан заповідника на початку XX ст., характеризувався переважанням у травостоях дернинних злаків та різнотрав'я, серед якого вагому частку мали бобові види рослин [11].

Дослідження другої половини XX ст., які були акцентовані на комплексному вивченні функціонування екосистем заповідника та його продук-

тивності, показали, що через значну тривалість перебування території дослідження під режимом абсолютної заповідності спостерігається істотна зміна рослинного покриву. Дослідження останніх років показали активний процес мезофітизації травостою, зменшення частки степової рослинності. На сьогодні, ми спостерігаємо процеси, характерні для резерватних сукцесій.

Численні праці вітчизняних науковців присвячені популяційним дослідженням з вивченням віталітетної структури типових видів лучних, степових та лісових фітоценозів України [12-18], втім комплексні популяційні дослідження на території природного заповідника «Михайлівська цілина» раніше не проводились.

Популяційні дослідження *S. pennata* є більш поширеними на території України, порівняно з дослідженнями які стосуються *A. cicer*, адже всі види роду *Stipa* на території України занесені до Червоної книги України і тому становлять ширший інтерес в наукових колах. На сьогодні популяційні дослідження видів роду *Stipa* проводять В.В. Гриценко, частково О.С. Абдулоєва [19, 20]. Етапи еволюції роду *Stipa*, а також екологічні ніші українських ковил описали К.Ю. Ромащенко, Я.П. Дідух [21, 22]. Картування популяцій рідкісних видів, зокрема *S. pennata* проводив С.М. Панченко [23]. На регіональному рівні, рідкісні види рослин, в тому числі *S. pennata*, досліджуються в працях Г.І. Клименко [24].

Популяційні дослідження *A. cicer* в працях вітчизняних дослідників не зустрічаються. *A. cicer* є кормовою рослиною, тому чисельні дослідження науковців пов'язані з виявленням закономірностей формування кормової та насіннєвої продуктивності виду за різних умов [25, 26], а також особливостями інтродукції рідкісних і зникаючих видів роду [27].

Аналіз літературних джерел доводить, що популяційні дослідження злакових і бобових рослин займають окрему, маловивчену нішу в науковому просторі України. Дослідження віталітетної структури популяцій видів *S. pennata* та *A. cicer* у вже існуючих працях не розглядаються в комплексі з іншими видами структури популяцій та не дають повноцінного уявлення про функціонування популяцій даних видів та рослинних угруповань у складі яких вони знаходяться.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У різних ландшафтних умовах відрізняються історія та традиції природокористування досліджуваної території, що відображує нерівномірність і мозаїчність антропогенного впливу на типові ценозоутворюючі угруповання. Одними з найважливіших та найбільших за чисельністю ценокомпонентів степових і лучно-степових фітоценозів є представники злакових та бобових видів рослин, втім комплексні популяційні дослідження ні злакових, ні бобових видів рослин на території природного заповідника «Михайлівська цілина» раніше не проводилися, а інформація про стан популяцій видів має фрагментарний характер. Вважаємо, що вивчення стану популяцій видів *S. pennata* та *A. cicer* дозволить покласти початок системним популяційним дослідженням на даній території. Вплив різних чинників на стан і динаміку ценопопуляцій становить інтерес для вивчення популяційних механізмів пристосування до умов місцезростань. Це, в свою чергу дасть можливість розробки заходів збереження та ренатуралізації флори.

Новизна. Вперше проведено популяційний аналіз видів злакових та бобових на території природного заповідника «Михайлівська цілина». Визначено віталітетну структуру популяцій *S. pennata* та *A. cicer.*

Об'єкт, матеріали та методика досліджень. Об'єктом досліджень стали популяції *S. pennata* та *A. cicer* в умовах лучно-степових фітоценозів природного заповідника «Михайлівська цілина». *S. pennata* – багаторічна трав'яниста рослина, яка належить до групи щільнодернинних злаків [28]. Це степовий вид з родини *Poaceae*, один з представників роду *Stipa* на території заповідника, занесений до Червоної книги України, природоохоронний статус – «вразливий». Популяції даного виду поширені на більшій частині досліджуваної території, як і популяції виду *A. cicer*, вони знаходяться на ділянках, які відрізняються ступенем і характером антропогенного впливу.

A. cicer – багаторічна трав'яниста рослина родини *Fabaceae* [29]. Популяції даного виду на території природного заповідника «Михайлівська цілина» є поширеними, чисельними та відрізняються високою популяційною щільністю.

Визначення віталітетної структури *S. pennata* та *A. cicer* проводилось згідно методики, запропонованої Ю.А. Злобіним [30, 31] та супроводжувалась оцінкою у рослин низки морфопараметрів. У зв'язку із відмінностями абіотичних та еколого-ценотичних умов місцезростань популяцій, особини мають різні темпи росту і розвитку у кожній з них. Співвідношення у популяції частки рослин того чи іншого віталітету дає можливість оцінити загальний стан популяції та встановити її віталітетний тип. Враховуючи величини морфоознак, у кожній популяцій було проведено розподіл рослин на три класи віталітету: найвищий (a), проміжний (b) та нижчий (c). Встановлення віталітетного типу популяції проводилося на основі даних про співвідношення в кожній з них рослин різних класів віталітету і визначення індексу Q, який дорівнює півсумі загальної кількості рослин найвищого та проміжного класів віталітету. Величини індексу Q вказують на належність популяцій до одного з її якісних типів: депресивна (якщо $Q < 0{,}16667$), врівноважена (якщо $Q > 0{,}16667$, але $< 0{,}3333$), процвітаюча ($Q > 0{,}3333$) [30].

Одним із етапів віталітетного аналізу був вибір ознак, що будуть відображати життєвий стан рос-

лин. За результатами факторного аналізу перевага віддавалася показникам, що мають вищі значення факторних навантажень. Також до числа ключових морфопараметрів відносили ознаки, які вирізняються суттєвим варіюванням і проявляють статистично достовірну зміну величин за досліджуваними фітоценозами. Для дослідження популяцій виду *S. pennata* застосовані лише непорушуючі методи, тому до числа морфопараметрів, які детермінують віталітет рослин даного виду увійшли: кількість генеративних структур – суцвіть (Ng), кількість листків (NL) та кількість генеративних структур – зернівок (ng). Для популяцій *A. cicer* було обрано наступні морфопараметри: загальна фітомаса надземної частини рослини (W), кількість генеративних структур (Ng) та вага листків (Wl). Обрані морфопараметри мають статистично достовірні факторні навантаження та вирізняються високими показниками варіювання.

Викладення основного матеріалу. За результатими віталітетного аналізу було встановлено, що серед шести досліджених популяцій *S. pennata* три належали до врівноважених (значення індексу Q в діапазоні від 0,2500 до 0,2894), дві популяції були депресивними (значення індексу Q в діапазоні від 0,0200 до 0,1562) та одна популяція визначена як процвітаюча (значення індексу Q 0,3845) (табл. 1).

Усі популяції виду *S. pennata* досліджені на території природного заповідника «Михайлівська цілина», відрізняються між собою як власне за значенням індексу Q (рис. 1) (реалізують віталітетну пластичність), так і за співвідношенням у своєму складі рослин різного рівня віталітету (реалізують віталітетну мінливість).

Більшість досліджених популяцій *S. pennata* мали значну частку рослин проміжного класу віталітету. Середній показник індексу Q у популяцій, які знаходяться на новій території є вищим (0,2700), ніж середнє значення індексу Q у популяцій, які знаходяться на історичній території (0,1433).

Усі досліджені популяції зростають на ділянках, які характеризуються різним часом заповідання, режимом території та рослинним угрупованням в складі якого вони знаходяться. Популяція, віталітетний тип якої визначений як процвітаюча (П4), знаходиться на новій території заповідника і лежить на схилі південної експозиції, який являє собою переліг 13-15 річної давнини, в межах смуг протипожежного призначення, на яких періодично здійснювалося сінокосіння. Дана популяція характеризується неве-

Таблиця 1

Віталітетна структура популяцій S. pennata

№ популяції	Особливість території	Відносна частка рослин окремих класів			Значення індексу якості (Q)	Віталітетний тип популяції
		вищий клас (a)	проміжний клас (b)	нижчий клас (c)		
1	ІТ	0,0000	0,0400	0,9600	0,0200	депресивна
2	НТ	0,0000	0,5000	0,5000	0,2500	врівноважена
3	ІТ	0,1333	0,4000	0,4667	0,2666	врівноважена
4	НТ	0,1538	0,6153	0,2309	0,3845	процвітаюча
5	НТ	0,0526	0,5263	0,4211	0,2894	врівноважена
6	НТ	0,0000	0,3125	0,6875	0,1562	депресивна

*НТ – нова територія, ІТ – історична територія ПЗ «Михайлівська цілина»

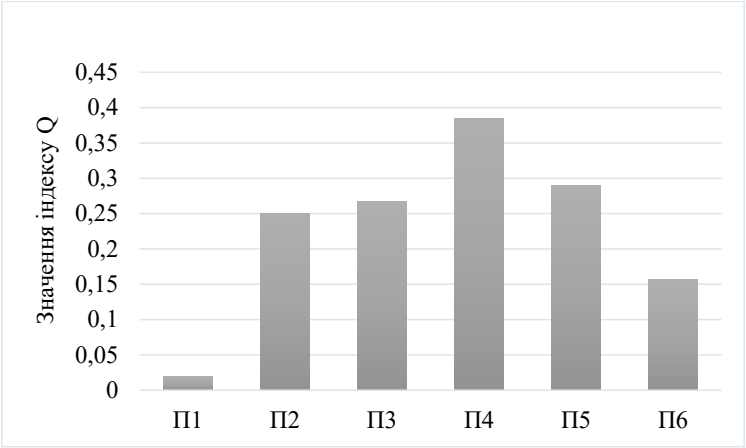


Рис. 1. Значення індексу Q для популяцій S. pennata

ликою чисельністю рослин в своєму складі та знаходиться в межах рослинного угруповання *Poetum angustifoliae-Arrhenatheretum elatii*.

Більша частина досліджених популяцій *S. pennata* мають врівноважений тип віталетету і знаходяться як на новій (П2, П5), та і на історичній (П3) території. З перелічених, лише одна популяція не має в своєму складі рослин з найвищим класом віталітету (П2). Відповідно, дана популяцій (П2) має найнижче значенням індексу якості Q серед популяцій, які мають врівноважений тип віталітету і знаходиться на новій території, де сінокосіння було припинене в 2009 році. Усі три популяції, які належать до категорії врівноважених, зростають у складі різних рослинних угруповань. На історичній частині це угруповання *Salvio pratensis-Poetum angustifoliae* (для П3), а на новій це *Poetum angustifoliae agrimonietosum grandii* (для П2) та *Poetum angustifoliae-Arrhenatheretum elatii* (для П5).

Популяції, віталітетний тип яких визначений як депресивні, зростають на історичній (П1) та новій (П6) територіях. Одна з таких (П1), знаходиться в межах рослинного угруповання *Stipetum pennatae festucosum valesiacae*, яке перебуває під загрозою зникнення та занесене до Зеленої книги України [32]. Територія, на якій виявлена дана популяція та рослинне угруповання, до складу якого вона входить, перебувають в умовах резерватної сукцесії, що має негативні тенденції впливу на стан популяції рідкісного виду та угруповання в цілому. У іншої популяції (П6), яка також є депресивною, однак зростає на новій території заповідника, спостерігається інше фітоценотичне оточення. Дана популяція знаходиться у складі угруповання *Thymo marshaliani-Caricetum praecoxis stipetosum pennati* і перебуває під значним впливом експансії видів з високим інвазійним потенціалом, переважно – *Solidago canadensis* L.

Зі всіх досліджених популяцій *S. pennata*, дві (П4 та П5) знаходяться у складі одного типу рослинного угруповання на новій території заповідника, але зростають вони на ділянках з історично складеним різним рівнем антропогенного навантаження. Тут в одному випадку сінокосіння здійснювалося регулярно (П4), а в іншому – ні (П5).

В ході віталітетного аналізу популяцій *A. cicer* було встановлено, що серед шести популяцій даного виду дві належали до процвітаючих (значення індексу Q в діапазоні від 0,4200 до 0,5000), дві популяції були врівноваженими (значення індексу Q в діапазоні від 0,1800 до 0,2916) та дві популяції належать до депресивних (значення індексу Q в діапазоні від 0,0806 до 0,1591) (табл. 2).

Чотири з шести досліджених популяцій *A. cicer* мали в своєму складі значну частку рослин вищого та проміжного класів віталітету. Для популяцій в умовах сінокісного режиму середній показник індексу якості Q склав 0,4039, що значно перевищує середній показник індексу якості Q для популяцій, де не проводилось сінокосіння – 0,1399.

Популяції *A. cicer*, які за віталітетним типом належали до процвітаючих (№ 5 та № 6), зростали в умовах сінокісного режиму. При цьому, популяція № 5 зростала на історичній території заповідника у складі рослинного угруповання *Poetum angustifoliae chamaecytisetosum ruthenici*, а популяція № 6 – на новій, у складі рослинного угруповання *Poetum angustifoliae-Arrhenatheretum elatii*.

Обидві врівноважені за віталітетним типом популяції *A. cicer* (№ 1 та № 4) зростали на ділянках, що відрізняються як за типом використання, так і часом заповідання. Популяція № 1 зростає в умовах відсутнього сінокосіння на історичній території заповідника у складі рослинного угруповання S*alvio pratensis-Poetum angustifoliae*. Популяція № 4 зростає на ділянці в умовах сінокісного режиму (нова територія) у складі рослинного угруповання *Poetum angustifoliae agrimonietosum grandii*.

Популяції № 2 та № 3, які за віталітетним типом належать до депресивних, зростали на історичній території. Популяція № 2 – у складі рослинного угруповання *Salvio pratensis-Poetum angustifoliae* на історичній території природного заповідника. Популяція

Таблиця 2

Віталітетна структура популяцій A. cicer

№ популяції	Особливість території	Відносна частка рослин окремих класів			Значення індексу якості (Q)	Віталітетний тип популяції
		вищий клас (a)	проміжний клас (b)	нижчий клас (c)		
1	ІТ	0,0000	0,3600	0,6400	0,1800	врівноважена
2	ІТ	0,0000	0,1613	0,8387	0,0806	депресивна
3	НТ	0,0000	0,3182	0,6818	0,1591	депресивна
Популяції в умовах сінокісного режиму						
4	НТ	0,0000	0,5833	0,4167	0,2916	врівноважена
5	ІТ	0,2000	0,6400	0,1600	0,4200	процвітаюча
6	НТ	0,1875	0,8125	0,0000	0,5000	процвітаюча

*НТ – нова територія, ІТ – історична територія ПЗ «Михайлівська цілина»

№ 3 – на новій території у складі рослинного угруповання *Poetum angustifoliae agrimonietosum grandii*. Обидві популяції зростали в умовах відсутнього сінокосіння.

Віталітетним аналізом популяцій *A. cicer* встановлено залежність між індексом якості популяцій та режимом користування територій, де вони зростали: популяції в умовах сінокісного режиму мали в своєму складі вищу частку рослин вищого (а) та проміжного класів віталітету та вищий індекс якості популяцій відповідно (рис. 2-3).

Головні висновки. Дослідження по кожному виду репрезентують наявність усіх трьох якісних типів популяцій (депресивні, врівноважені та процвітаючі). Віталітетний аналіз показав, що лучно-степові фітоценози природного заповідника «Михайлівська цілина» загалом є оптимальними для формування та функціонування популяцій *S. pennata* та *A. cicer*. Більшість вивчених популяцій мали значну частку рослин проміжного класів віталітету, у випадку *A. cicer* – ще й найвищого класу віталітету. При цьому, виявлені відмінності в типах популяцій вказують на залежність між режимом території (наявним чи відсутнім сінокосінням) та індексом якості популяції. Як на історичній, так і на новій території природного заповідника «Михайлівська цілина» має існувати режим регульованої заповідності, а не абсолютної. Як показали дослідження, саме такий режим є оптимальним та сприятливим для формування та функціонування популяцій *S. pennata* та *A. cicer*. Запровадження активних форм менеджменту для історичної та нової території (не лише сінокосіння, а й регульований випас зокрема) сприятиме покращенню стану та динаміки популяцій видів, які досліджувалися.

Перспективи використання результатів дослідження. Представлені в роботі результати є частиною проведеного комплексного популяційного аналізу ценозоутворюючих злакових та бобових видів рослин природного заповідника «Михайлівська цілина» у період з 2021 по 2024 рік. Отримані результати мають як фундаментальне, так і практичне значення. На основі представлених в роботі даних буде відбуватися розробка та впровадження природоохоронних заходів на території природного заповідника «Михайлівська цілина» з метою охорони та збереження популяцій типових степових та лучно-степових видів рослин.

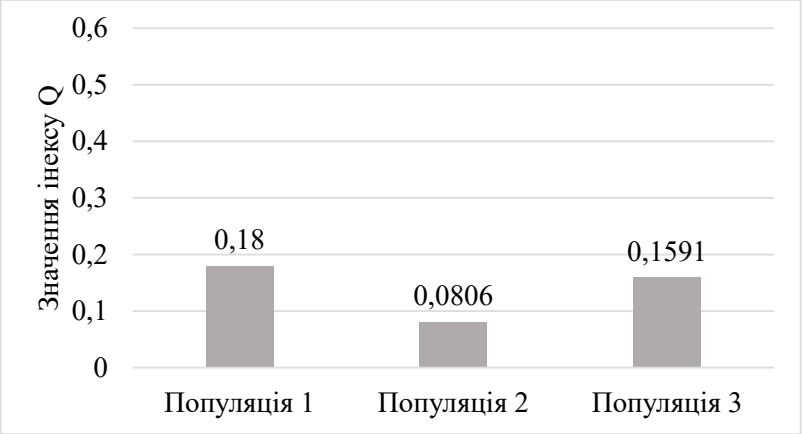


Рис. 2. Значення індексу Q для популяцій A. cicer на ділянках без сінокосіння

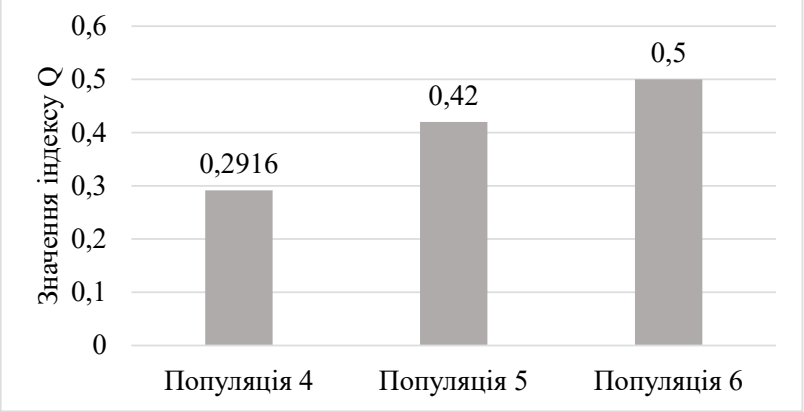


Рис. 3. Значення індексу Q для популяцій A. cicer в умовах сінокісного режиму

Література

1. Парнікоза І., Василюк О., Іноземцева Д. та ін. Степи Київської області. Сучасний стан та проблеми збереження. Серія: Збережемо українські степи. Київ: НЕЦУ, 2009. 160 с.
2. Гриценко В.В. Стан лучних степів південної частини Київського плато, в зв'язку з антропогенним впливом. Відновлення порушених природних екосистем. Матеріали І Міжнарод. наук. конф. Донецьк: Лебідь, 2002. С. 114–117.
3. Білик Г. І. Рослинність заповідника Михайлівська цілина та її зміни під впливом господарської діяльності людини. *Укр. ботан. журнал*, № 4. 1957, С. 26–39.
4. Білик Г.І., В.С. Ткаченко. Зміни рослинного покриву степу Михайлівська цілина на Сумщині залежно від режиму заповідності. *Укр. ботан. журнал*, 30, № 1, 1973. С. 89–95.
5. Ткаченко В. С., Генов А. П., Лисенко Г. М. Структурні зміни в рослинному покриві заповідного лучного степу «Михайлівська цілина» (Україна) за данними великомасштабного картування у 2001 році. *Вісті біосф. Запов. «Асканія-Нова»*, Т. 5, 2003. С. 7–17.
6. Ткаченко В.С., Парахонська Н.О., Шеремет Л.Г. Динаміка структури рослинного покриву заповіднику «Михайлівська цілина». *Укр. ботан. журн.*, 41, № 3, 1984. С. 71–74.
7. Проект організації території природного заповідника «Михайлівська цілина» та охорони його природних комплексів. Приватне акціонерне товариство «Науково-виробничий комплекс «Курс». Київ, 2020. 272 с.
8. Ткаченко В. С., Генов А.П., Лисенко Г.М. Структура рослинності заповідного степу «Михайлівська цілина» за даними крупномасштабного картування в 1991 році. Укр. ботан. журн., Вип. 50, № 4, 1991. С. 5–15.
9. Лавренко Є., Зоз І. Рослинність цілини Михайлівського кінного заводу (кол. Капніста), Сумської округи. Охорона пам'яток природи на Україні. Харків, 1928. Вип. 2. С. 3–16.
10. Ларіонов М.С. Рослинний покрив природного заповідника «Михайлівська цілина»: історія досліджень та сучасний стан. *Вісник Черкаського університету*. Серія «Біологічні науки». 2022. Вип. № 2. С. 53–65.
11. Харкевич С.С. Степовий заповідник Михайлівська цілина. *Укр. ботан. журн.*, 1956, 13, № 2. С. 58–67.
12. Бондарєва Л. М. Популяції ценозоутворюючих видів злакових рослин на заплавних луках р. Сули в її верхній та середній течії (Сумська область): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.05 «Ботаніка», Київ, 2005. 21 с.
13. Бондарєва Л. М., Кирильчук К.С. Порівняльний аналіз віталітетної структури злаків та бобових на заплавних луках Північного Сходу України в умовах пасквальних та фенісиціальних навантажень. *Вісник СНАУ*: Серія «Агрономія і біологія». Вип. III (29), 2015. С. 68–74.
14. Зубцова І. В., Скляр В.Г., Мельничук С.Д., Бондарєва Л.М. (2019). Віталітетна структура ценопопуляцій *Melilotus officinalis* (L.) Pall. в умовах заплавних лук Кролевецько-Глухівського геоботанічного району. *Вісник СНАУ*, серія «Агрономія і Біологія», № 1–2 (35–36), С. 10–15.
15. Кирильчук К.С. Віталітетна структура популяцій *Trifolium pratense* L. та *Trifolium repens* L. на заплавних луках в умовах господарського користування. *Вісник СНАУ*, серія «Агрономія і Біологія», Вип. 2 (33). Суми, СНАУ, 2017. С. 12–16.
16. Коваленко І. М. Структура популяцій домінантів трав'яно-чагарникового ярусу в лісових фітоценозах Деснянсько-Старогутського національного природного парку. Віталітетна. *Укр. ботан. журнал*, Т. 63, № 3, 2006. С. 376–383.
17. Skliar V., Kovalenko I., Skliar Iu., Sherstiuk M. (2019). Vitality structure and its dynamics in the process of natural reforestation of *Quercus robur* L. *AgroLife Journal*. 8(1). 233–241.
18. Skliar Iu., Skliar V., Klymenko A., Sherstiuk M., Zubtsova I. (2020). Growth signs of *Nymphaea candida* in various ecological and cenotic conditions of Desna Basin (Ukraine). *AgroLife Scientific Journal*. Vol.9, № 1. 316–323.
19. Гриценко В. В. *Stipa pennata* (Poaceae) на Київському плато. *Укр. бот. журнал*. 2020. Вип 77(2). С. 104–112.
20. Абдулоєва О.С. Аналіз стану ценопопуляцій виду Stipa L. на території Придністровського Поділля та Товтрового кряжу. *Науковий вісник УжНУ*, Серія: біологія. № 10. С. 5–10.
21. Ромащенко К.Ю. Екологічні ніші українських ковил: диференціація, структура, лімітуючи фактори. *Укр. ботан. журнал*, 2006. Т. 63, № 4. С. 480–494.
22. Дідух Я.П., Ромащенко К.Ю., Футорна О.А. Етапи еволюції роду *Stipa* і формування степів. *Український ботанічний журнал*, 2016. Т. 73, № 1. С. 21–32.
23. Панченко С. М. Методи картування при вивченні екології популяцій рідкісних видів рослин. Український ботанічний журнал, 2011.Т. 68, № 5. С. 672–685.
24. Клименко Г., Шерстюк М. Рідкісні рослини природного заповідника «Михайлівська цілина». Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Сер. «Біологічні науки», 2019. № 4 (388). С. 30–39.
25. Peel M., Waldron B. Forage nutritive value of stock-piled cicer milkvetch for late-season grazing. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 2022. P. 13–26.
26. Панкова О., Мельничук О., Кубінська Л. Насіннєва продуктивність та якість насіння видів роду *Astragalus* L. в умовах Кременецького ботанічного саду. *Молодий вчений*, № 2 (102). С. 12–16, 2022.
27. Перегрим, Ю. С. Інтродукція рідкісних і зникаючих видів роду *Astragalus* L. (*Fabaceae*) природної флори України: успіхи і перспективи. *Біологічні системи*, (6, Вип. 1), 2014. С. 64–71.
28. Біотопи степової зони України. Ред. академік НАН України Я.П. Дідух. Київ-Чернівці: ДрукАРТ, 2020, 392 с.
29. Бабич А.О. Кормові і лікарські рослини в XX-XXI століттях. Київ: Аграрна наука, 1996. 822 с.
30. Злобін Ю. А. Популяційна екологія рослин: сучасний стан, точки росту. Університетська книга. Суми, 2009. 263 с.
31. Злобін Ю.А., Скляр В.Г., Клименко Г.О. Біологія та екологія фітопопуляцій: монографія за заг. ред. професора, доктора біологічних наук, Заслуженого діяча науки і техніки України Ю.А. Злобіна. Суми: Університетська книга, 2022. С. 290–298.
32. Зелена книга України. Під заг. ред. Я.П. Дідуха. К.: Альтерпрес, 2009. 448 с.

УДК 502.3:504: 582:591
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.24

ВИДОВИЙ СКЛАД ТА РОЗПОДІЛ ОХОРОНЮВАНИХ ХРЕБЕТНИХ ТВАРИН У РЛП «ПРИІРПІННЯ» (КИЇВЩИНА)

Причепа М.В., Коваленко Ю.О.
Інститут гідробіології Національної академії наук України
пр. Володимира Івасюка, 12, 04210, м. Київ
prichepa1987@ukr.net

За результатами проведених досліджень на шести основних біотопах (лісовий, чагарниковий, водний, болотний, лучний, обриви) отримано дані щодо видового складу та розподілу хребетних тварин у різних біотопах регіонального ландшафтного парку (РЛП) «Приірпіння».

Мозаїчність біотопів у долині річки Ірпінь створює осередки біологічного різноманіття рідкісних видів і слугує важливим резерватом для їхнього відтворення та охорони. Аналіз розподілу видів у біотопах показав, що найбільша кількість тварин із національних та міжнародних червоних списків зустрічається саме у лучних і болотних біотопах, що підтверджує їх ключову роль у збереженні рідкісних видів.

Загалом виявлено 130 видів тварин, занесених до охоронних списків, зокрема 16 видів із Червоної книги України (*Alburnoides rossicus, Clanga pomarina, Grus grus, Ciconia nigra, Lanius ecxubitor, Columba oenas, Circaetus albicilla, Circus pygargus, Circus macrourus, Circus cyaneus, Milvus migrans, Haematopus ostralegus, Gallinago media, Limosa limosa, Haliaeetus albicilla, Nyctalus noctula*) та 9 видів із Європейського червоного списку (*Emys orbicularis, Limoa limosa, Vanellus vanellus, Tringa totanus, Gallinago gallinago, Falco columbarius, Falco vespertinus, Calidris pugnax, Haematopus ostralegus*). Крім того, зареєстровано 39 видів зі списку Резолюції 6 Оселищної директиви. Отримані дані свідчать про високий рівень видового багатства парку.

Наявність великої кількості видів із охоронними статусами підкреслює необхідність додаткових заходів охорони для збереження цих територій. Зокрема, рекомендується збільшення площі заповідних зон та можливе розширення площі РЛП «Приірпіння». Це дозволить зберегти важливі для розмноження та міграційних зупинок ділянки в нетрансформованому стані.

В умовах зростаючого антропогенного тиску РЛП «Приірпіння» може стати прикладом ефективного локального заповідання територій у долинах річок, що сприятиме покращенню стану біоти та наданню низки екосистемних послуг для суспільства. Заповідання територій із заплавними біоценозами у долині річки Ірпінь має важливе значення для збільшення біологічного потенціалу регіону та збереження його у малотрансформованому вигляді. *Ключові слова:* регіональний ландшафтний парк, РЛП, біотопи, річка Ірпінь, рідкісні види, видове багатство.

Species composition and distribution of protected vertebrates in the RLP "Pryirpinnya" (Kyiv region). Prychepa M., Kovalenko Yu.

This research, conducted across six primary biotopes (forest, shrub, aquatic, wetland, meadow, and cliffs), examined the species composition and distribution of vertebrates within the Regional Landscape Park (RLP) «Pryirpinnya.»

The mosaic of biotopes in the Irpin River valley creates biodiversity hotspots for rare species, serving as important reservoirs for their reproduction and conservation. The analysis of species distribution across biotopes shows that meadow and wetland habitats host the highest numbers of species listed in national and international conservation lists, underscoring their critical role in the preservation of rare species.

A total of 130 species with conservation statuses were identified, including 16 species from the Red Book of Ukraine (*Alburnoides rossicus, Clanga pomarina, Grus grus, Ciconia nigra, Lanius excubitor, Columba oenas, Circaetus albicilla, Circus pygargus, Circus macrourus, Circus cyaneus, Milvus migrans, Haematopus ostralegus, Gallinago media, Limosa limosa, Haliaeetus albicilla, Nyctalus noctula*) and 9 species from the European Red List (*Emys orbicularis, Limosa limosa, Vanellus vanellus, Tringa totanus, Gallinago gallinago, Falco columbarius, Falco vespertinus, Calidris pugnax, Haematopus ostralegus*). Additionally, 39 species listed in Annex II of the Habitats Directive were recorded, indicating a high level of species richness within the park.

The presence of numerous species with conservation statuses emphasizes the need for enhanced protective measures. Specifically, expanding the area of protected zones and potentially enlarging the boundaries of RLP «Pryirpinnya» are recommended to safeguard key breeding and migration sites.

In light of growing anthropogenic pressures, RLP «Pryirpinnya» could serve as a model for effective local conservation in river valley regions, enhancing biodiversity and providing numerous ecosystem services. Conservation of floodplain ecosystems in the Irpin River valley is vital for boosting the biological potential of the region and preserving it in a minimally transformed state. *Key words:* Regional Landscape Park, biotopes, Irpin River, rare species, species richness.

Постановка проблеми. Екосистеми річкових долин зазнають значного антропогенного навантаження через надмірну експлуатацію ресурсів [1, 2, 3, 4]. Вторгнення російських військ в Україну та окупація частини територій спричинили знищення природних комплексів і зменшення чисельності рідкісних тварин, особливо в заплавних біоценозах східних та південних регіонів України. Це підкреслює необхідність збереження природних біоценозів в інших областях країни. Одним з ефективних способів охорони та відновлення природи є створення регіональних ландшафтних парків (РЛП).

Актуальність дослідження. Заплавні біоценози мають міжнародне значення завдяки гніздуванню транскордонних видів птахів, що охороняються в Європі, зокрема в Німеччині та Польщі. Збереження річкових долин як екологічних коридорів здійснюється через включення їх до складу природних парків. Подібна модель застосовується і в Україні зокрема в РЛП «Сеймський» та «Міжрічинський» [5], які схожі на долину нижньої течії річки Ірпінь, де також зберігається природна річкова система з меандрами, заплавними луками та мішаними лісами. Різноманіття біотопів річки Ірпінь робить її важливим резерватом для Лісостепу та Полісся, а також міграційним коридором для багатьох видів. На жаль, окремі її частини постраждали під час воєнного вторгнення Росії, що погіршило її екологічний стан. Разом з тим, сильніші трансформації у верхній та середній течіях зменшили їх екологічну привабливість для біоти.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Моніторинг біорізноманіття рідкісних видів тварин річкових долинах забезпечує виявлення осередків високого біорізноманіття та цінних оселищ, а також дозволяє здійснювати оцінку екологічного стану екосистем на локальному рівні. Це особливо важливо для РЛП, які виконують багатофункціональну роль у рамках природно-заповідного фонду, поєднуючи збереження природи з рекреаційними та науковими завданнями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Долина річки Ірпінь є об'єктом наукового інтересу дослідників різних галузей [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Ландшафтні комплекси, які не використовуються для сільського господарства, виконують функцію природних оселищ для різних видів тварин [14].

На території РЛП досі знаходять археологічні залишки поселень часів Київської Русі. Зокрема, у 991 році на правому березі Ірпеня було збудовано місто Білгород-Київський, що виконував роль західного форпосту середньовічного Києва. Річка Ірпінь, одна з річок, що найбільш часто згадується у літописах через важливі події на її берегах, адже ця річка була природним форпостом. Таким чином, долина річки Ірпінь і зокрема РЛП «Приірпіння» є осередком природної та культурної спадщини [10, 15, 16].

«Приірпіння» також межує з іншими об'єктами природно-заповідного фонду: «Жорнівський орнітологічний заказник загальнодержавного значення», в якому охороняються колонії сірої чаплі, гніздові угруповання хижих птахів і голуба синяка, а також пам'ятки природи «Урочище Ярове» та «Гореницький лісовий заказник» [16].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідженні біорізноманіття хребетних тварин у РЛП «Приірпіння» є однією з ключових задач є визначення «гарячих точок» біорізноманіття, що вимагає проведення зонування як на територіях самого РЛП, так і на прилеглих ділянках. Це особливо важливо для охорони рідкісних та вразливих видів, які перебувають у цих екосистемах.

Новизна. Проведено всебічний аналіз біорізноманіття хребетних тварин у межах РЛП «Приірпіння» та прилеглих до нього територій. Дослідження включає зонування та ідентифікацію «гарячих точок» біорізноманіття, що є ключовим для збереження рідкісних і вразливих видів. Також проаналізовано розподілу видів тварин за різними біотопами, що дозволяє приймати інформовані рішення стосовно охорони і управління природними екосистемами. Це дослідження також підкреслює важливість зонування територій для збереження видів, які перебувають під загрозою в умовах зростаючого антропогенного тиску.

Методологічне або загальнонаукове значення. Фоновий моніторинг заповідних територій Київської області, особливо в річкових долинах, є ключовим для збору даних про якісне та кількісне різноманіття видів. Ці дослідження сприяють кращому розумінню екосистемних процесів та стану популяцій хребетних тварин, зокрема вразливих і охоронюваних видів, дозволяючи оперативно реагувати на зміни в середовищі та ухвалювати рішення для їхнього відновлення й охорони.

Створення регіональних ландшафтних парків виступає ефективною стратегією, яка поєднує збереження природних екосистем із господарським використанням заплавних земель. Такі парки допомагають зберігати біорізноманіття та задовольняти потреби місцевих громад, що забезпечує стале використання природних ресурсів та підтримку функціонування екосистем.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження в долині річки Ірпінь проводились протягом усіх сезонів (зима, весна, літо, осінь) у період з 2021 до 2024 року. Основними об'єктами дослідження були хребетні тварини, які внесені до національних та міжнародних природоохоронних списків. Для дослідження іхтіофауни використовували уніфіковані не заборонені законодавством знаряддя лову, зокрема іхтіологічні сачки [17]. Спостереження за амфібіями та рептиліями здійснювались за допомогою маршрутних обліків, фотофіксацій, а також вилову сачком для амфібій. Для вивчення ссавців використовували візуальні методи, а також непрямі ознаки їхньої присутності, такі як відбитки лап, послід, залишки їжі та сховки. Обліки птахів проводились маршрутним методом уздовж русла річки, що дозволило отримати комплексні дані про різні види тварин у межах долини (рис. 1).

Ширина облікової смуги становила 100 м (по 50 м з кожного боку заплави), для хижих птахів – 100 м з обох сторін. Загалом досліджено 17,1 км ділянки вздовж русла річки Ірпінь. Для опису орнітофауни обрано 10 стаціонарних пунктів спостереження Ідентифікацію та систематичний порядок здійснювали згідно відповідних визначників [18; 19].

Рис. 1. Територія РЛП «Приірпіння». Жовтим кольором позначені станції орнітологічних спостережень; синім кольором позначені станції іхтіологічних ловів

Результати досліджень та їх обговорення.

Риби. На частині річки Ірпінь між селами Гореничі та Музичі реєструється 21 вид. Поміж них: Бистрянка російська (*Alburnoides rossicus)* – реофільний вид, занесений до Червоної книги України (ЧКУ). Крім того, виявлено два види, включених до Резолюції 6 Оселищної директиви: гірчак європейський *(Rhodeus amarus)* та щипавка звичайна *(Cobitis taenia)*. Гірчак *R. amarus* поширений уздовж всього русла річки Ірпінь і зареєструється у великій чисельності в околицях сіл Гнатівка, Білогородка, Лука, Бобриця, а також Музичі [12]. Цей вид також виявлений у ставках, розташованих на притоках річки. Щипавка (***C. taenia)*** – надає перевагу піщаним/піщано-мулистим грунтам мілководдь. В незначній кількості зустрічається біля сіл Лука та Музичі. Поодинокі особини також виявлені неподалік шлюзу в селі Гнатівка та вздовж мілководь села Бобриця. У річці Ірпінь, в межах Парку зареєстровано два види з Додатку ІІІ Бернської конвенції: вівсянка звичайна ***(Leucaspius delineatus)*** та бичок пісочник ***(Neogobius fluviatilis)***. Обидва види у «Парку» доволі чисельні (трапляються від 5 до 10 особин на один улов). Перший вид найчастіше зустрічається на зарослих макрофітами ділянках річки Ірпінь, а також на каскадних ставках, а другий вид на ділянках із твердими субстратами (глина та пісок) у основному руслі.

Амфібії. Представлені п'ятьма видами безхвостих земноводних: кумка червоночеревна *(Bombina bombina),* райка деревна *(Hyla arborea),* жаба гостроморда *(Rana arvalis),* ропуха звичайна *(Bufo bufo)*, а також жаба озерна (*Pelophylax ridibundus)*, усі ці види включені до охоронних списків (Резолюція 6 Оселищної Директиви, Додаток ІІ, ІІІ Бернської конвенції). Найбільш важливими є середовища існування ***Bombina bombina,*** чисельність якої знижується через кліматичні зміни та вплив інвазивних видів, таких як *Perccottus glenii* [20]. Цей вид також входить до Резолюції 6 Оселищної директиви. Слід зауважити, що згідно даних О. Марущака у межах «Приірпіння» також реєструвались: ропуха зелена (*Bufotes viridis),* часничниця звичайна *(Pelobates fuscus),* тритон звичайний *(Lissotriton vulgaris),* тритон гребінчастий *(Triturus cristatus)*. Останній вид входить до ЧКУ. В «Приірпінні» жаба озерна (*P. ridibundus*) – найбільш поширений вид серед амфібій, який є суто водною твариною, тому для цілорічного існування та нересту використовує водойми. Решта видів амфібій зустрічається на заболочених ділянках вздовж села Лука та східної околиці села Музичі, але значно рідше.

Рептилії. В парку «Приірпіння» представлені трьома видами, усі з них мають природоохоронний статус (входять до Додатку ІІІ Бернскої конвенції). Найбільш поширеною є ящірка прудка (***Lacerta agilis)***, яка реєструється як на рівнинних, так і на горбистих луках. Болотна черепаха європейська (*Emys orbicularis)* та вуж звичайний (***Natrix natrix)*** зустрічаються у річці та болотах.

Птахи. Найчисельніга група тварин у парку «Приірпіння». Птахів нараховується понад 129 видів. Згідно даних, отриманих під час здійснення обґрун-

тування у межах РЛП зареєстровано 86 видів птахів. Слід зауважити, що можливі доповнення фауністичного списку. Заплавні біоценози річки Ірпінь відіграють ключову роль у транзиті мігруючих видів, тоді як різноманітність ландшафтів – від пагорбів і різнотравних лук до боліт і заплавних лісів – формують умови для існування різних таксонів птахів, адаптованих до конкретних біотопів. Більшість видів мають природоохоронні статуси. **Гусеподібні (Anseriformes)** представлені 10 видами, з яких три гніздяться, а інші зустрічаються під час міграцій. Зокрема, на заболочених луках вздовж села Лука та в річці Ірпінь гніздяться декілька пар чирянки великої (***Spatula querquedula)***, а на ставках – 4-5 пар лебедя шипуна ***(Cygnus olor)***. Найбільш численним є крижень ***(Anas platyrhynchos)***, який гніздиться в річці, болотах і на ставках. Під час сезонних міграцій на луках реєструються чирянка мала (*Anas crecca), шилохвіст північний (A. acuta),* широконіска північна *(Spatula clypeata),* гуска сіра *(Anser anser),* гуска білолоба *(A. albifrons)*, свищ євразійський *(Mareca Penelope)*.

Куроподібні (Galliformes) представлені двома видами: куріпка сіра ***(Perdix perdix)*** та фазан звичайний ***(Phasiannus colchicus)***, обидва з яких гніздові й представлені на заплавних чагарникових луках.

Серпокрильцеподібні (Adodiformes) представлені одним видом – серпокрильцем чорним *(Apus apus)*, який реєструється у парку під час кормових міграцій з прилеглих до Парку територій.

Зозулеподібні (Cuculiformes) представлені одним видом – зозуля звичайна *(Cuculus canorus)*.

Голубоподібні (Columbiformes) представлені двома видами: голуб синяк *(Columba oenas)* та горлиця садова *(Streptopelia decaocto).*

Журавлеподібні (Gruiformes) представлені 5 видами. Гніздування встановлене для трьох видів: лиска *(Fulica atra)*, курочка водяна *(Gallinula chloropus)*, деркач *(Crex crex)*. Погонич малий *(Zapornia parva)* реєструвався на двох станціях в околицях села Лука, що може вказувати на можливе гніздування цього виду. Журавель сірий *(Grus grus)* неодноразово зупинялися під час весняних міграцій на заплавних луках вздовж села Лука. Лиска *(Fulica atra)* – гніздовий вид ставків в яких гніздиться у кількості 8-16 пар. Курочка водяна *(Gallinula chloropus)* реєструється як на руслі річки Ірпінь (в околицях сіл Лука та Бобриця) так і на ставках. Орієнтовно, у межах «Приірпіння» налічується 8-10 пар. Деркач *(Crex crex)* надає перевагу лучним біоценозам, в яких його чисельність складає 8-12 пар.

Норцеподібні (Podicipediformes) у «Приірпінні» представлені двома видами: пірникоза велика *(Podiceps cristatus)*, що гріздиться на двох рекреаційних ставках в поблизу села Бобриця у кількості 6-8 пар та пірникоза чорношия *(P. nigricollis)* – зустрічається під час сезонних міграцій.

Сивкоподібні (Charadriiformes) у Парку нараховують 16 видів. Підтверджене гніздування двох видів: баранець звичайний *(Gallinago gallinago)* (2-6 пар), а також чайка *(Vanellus vanellus)* (6-10 пар). Під час міграційних періодів реєструються: грицик великий *(Limosa limosa),* коловодник великий *(Tringa nebularia)*, к. звичайний *(T. tetanus),* к. лісовий *(T. ochropus),* к. болотяний *(T. glareola),* набережник палеарктичний *(Actitis hypoleucos),* пісочник малий *(Charadrius dubius)*, брижач (*Calidris pugnax),* слукква лісова *(Scolopax rusticola),* баранець великий *(Gallinago médium)*.

Поміж мартинових (Laridae) виявлено три види: мартин звичайний *(Chroicocephalus ridibundus)*, крячок річковий *(Sterna hirundo)*, к. білокрилий (*Chlidonias leucopterus)*, які реєструються під час сезонних міграцій.

Гагароподібні (Gaviformes). Під час осінніх міграцій, над руслом річки Ірпінь між селами Білогородка та Лука реєструється гагара звичайна (*Gavia arctica)*.

Лелекоподібні (Ciconiiformes). Представлені двома видами: лелека чорний (*Ciconia nigra)* (спостерігається під час сезонних і кормових міграцій на заплавних луках між селами Гореничі та Лука) та лелека білий (*Ciconia ciconia)* – є гніздовим видом на території парку, де його популяція складає приблизно 6-8 пар.

Сулоподібні (Suliformes) представлені одним видом – баклан великий *(Phalacrocorax carbo)*, який використовує ставки в селах Бобриця та Музичі під час кормових міграцій і для відпочинку. Цей вид реєструється поодинці або невеликими групами чисельністю 6-10 особин.

Пеліканоподібні (Pelecaniformes) у Парку представлені чотирьома видами: чапля біла *(Egretta alba),* ч. сіра (*Ardea cinerea),* ч. руда *(A. purpurea)*, а також бугайчик (*Ixobrychus minutus)*. Перші три види зустрічаються переважно під час кормових і сезонних міграцій, тоді як останній – гніздовий вид.

Яструбоподібні (Accipitriformes) представлені 13 видами, з яких достовірно гніздовими є 6 видів. У заплавних лісах вздовж річки Ірпінь та ставків гніздиться 4-5 пар канюк звичайний *(Buteo buteo)*, одна пара осоїд євразійський *(Pernis apivorus)* (рис. 6 А), одна пара шуліки чорного *(Milvus migrans)* (рис. 6 Б) та 1-2 пари яструба малого *(Accipiter nisus)*. На заболочених луках гніздиться 1-2 пари луня очеретяного *(Circus aeruginosus)*. Лучні біоценози під час кормових міграцій регулярно відвідують підорлик малий *(Clanga pomarina)* (рис. 6 В) та змієїд *(Circaetus gallicus)* (рис. 6 Г), гніздові території яких розташовані в прилеглих до заказника лісах. Під час сезонних міграцій на цій території також спостерігаються наступні види: лунь польовий *(Circus cyaneus)*, л. лучний *(C. pygargus)*, л. степовий *(C. macrourus), яструб великий (Accipiter gentilis),* зимняк *(Buteo lagopus)*, а також орлан-білохвіст *(Haliaeetus albicilla)*.

Рис. 2. Види яструбиних, що внесені до охоронних списків: А – Pernis apivorus; Б – Milvus migrans; В – Clanga pomarine; Г – Circaetus gallicus

Совоподібні (Strigiformes) представлені двома видами: сова сіра *(Strix aluco)* та сич хатній *(Athene noctua)*. Обидва види були зареєстровані під час гніздового сезону в околицях села Лука, де їх спостерігали під час токування у відповідних біотопах.

Одудоподібні (Bucerotiformes) представлені одним видом – одуд звичайний *(Upupa epops),* який реєструється в невеликій кількості по всій території парку.

Сиворакшеподібні (Coraciiformes) представлені двома видами. Рибалочка блакитний *(Alcedo atthis)* регулярно спостерігався на каналах та вздовж русла річки Ірпінь, гніздиться в обривах та крутих берегах річки. Бджолоїдка звичайна (*Merops apiaster)* гніздовий вид, який сформував колонію в одному з обривів поблизу села Лука.

Дятлоподібні (Piciformes) представлені 5 видами, всі з яких є гніздовими. Найбільш поширеним видом є дятел великий (*Dendrocopos major)*, який гніздиться у різнотипних заплавних лісах та гаях уздовж річки Ірпінь. У дещо меншій кількості представлені на гніздуванні: дятел сирійський *(Dendrocopos syriacus)* та крутиголовка звичайна *(Jynx torquilla).*Було також зареєстровано кілька гніздових пар жовна чорна *(Dryocopus martius)* та жовна сива (*Picus canus)*.

Соколоподібні (Falconiformes) представлені чотирма видами, з яких два є достовірно гніздовими: кібчик червононогий *(Falco vespertinus)* та підсоколик малий *(F. Columbarius)*, які реєструються у незначній кількості під час сезонних міграцій. У заплавному лісі поблизу Бобриці гніздиться одна пара балабана *(Falco cherrug)* у гнізді крука *(Corvus corax)*. Також у межах заказника орієнтовно гніздиться 1-2 пари боривітра звичайного *(Falco tinnunculus)*.

Горобцеподібні (Passeriformes) нараховують 49 видів. Серед них значну кількість складають кампофільні види, такі як жайворонок польовий *(Alauda arvensis),* трав'янка лучна *(Saxicola rubetra)*, кропив'янка сіра *(Curruca communis),* трав'янка чорноголова *(Saxicola rubicola)*, плиска жовта *(Motacilla flava)* та сорокопуд терновий *(Lanius collurio)*. У 2023 році поблизу села Лука зареєстровано ♂ сорокопуда чорнолобого *(Lanius minor)*. Серед мігруючих видів зареєстровані наступні: плиска жовта *(Motacilla citreola)*, щервик лучний *(Anthus pratensis)*, щ. червоногрудий *(A. Cervinus),*

вівсянка звичайна *(Emberiza citronella),* сорокопуд сірий *(Lanius excubitor).* Останній вид внесений до ЧКУ. Лучні біоценози слугують зимівлею для цього виду, де спостерігається від 2 до 6 особин.

Наступною групою є водно-болотні чагарникові види, такі як: очеретянка звичайна *(Acrocephalus schoenobaenus)*, очеретянка ставкова *(Acrocephalus scirpaceus)*, о. велика *(A. Arundinaceus)*, вівсянка очеретяна *(Emberiza schoeniclus)*, плиска біла *(Motacilla alba)*, ремез *(Remiz pendulinus)*, синьошийка *(Luscinia svecica)*, кобилочка солов'їна *(Locustella luscinioides)*.

Під час міграцій реєструється у заростях очеретів на ставках та руслі Ірпіня синиця вусата *(Panurus biarmicus).*

У заплавних лісах було виявлено багато видів лісового та чагарникового комплексів: синиця велика *(Parus major)*, с. блакитна *(C. caeruleus)*, с. болотяна *(Poecile palustris)*, с. довгохвоста *(Aegithalos caudatus)*, мухоловка сіра *(Muscicapa striata)*, вільшанка *(Erithacus rubecula)*, кропив'янка чорноголова *(Sylvia atricapilla)*, соловейко східний *(Luscinia luscinia)*, дрізд чорний *(Turdus merula)*, д. співочий *(T. philomelos)*, д.-омелюх *(T. pilaris)*, волове очко *(Troglodytes troglodytes)*, омелюх *(Bombycilla garrulus)*, снігур *(Pyrrhula pyrrhula)*, чиж *(Spinus spinus)*, щиглик *(Carduelis carduelis)*, коноплянка *(Linaria cannabina)*, зеленяк *(Chloris chloris)*, щеврик лісовий *(Anthus trivialis)*, вівчарик весняний *(Phylloscopus trochilus)*, вівчарик-ковалик *(Phylloscopus collybita)*, горобець польовий *(Passer montanus)*, зяблик *(Fringilla coelebs)*, вивільга *(Oriolus oriolus)*, крук *(Corvus corax)*.

Заплавні біоценози також відвідують під час кормових міграцій ластівки: ластівка сільська *(Hirundo rustica)*, л. міська *(Delichon urbicum)*, л. берегова *(Riparia riparia)*.

Ссавці. Представлені 7 видами, що належать до охоронних категорій, розподілених між 6 таксономічними групами: Artiodactyla сарна європейська *(Capreolus capreolus)*, Vespertilioniformes вечірниця дозірна *(Nyctalus noctula)*, Carnivora ласиця мала (*Mustela nivalis*), Soriciformes мідиця мала (*Sorex minutus)* та мідиця звичайна *(Sorex araneus*), Muriformes бобер європейський (*Castor fiber)* та вивірка звичайна *(Sciurus vulgaris*) та Leporiformes заєць сірий *(Lepus europaeus)*.

Найбільш поширеним є бобер *(C. fiber)*, що зосереджений у руслі річки Ірпінь та на меліоративних каналах, а також мідиця (*S. Araneus)*, яка переважно трапляється в лучних і чагарникових біотопах. Варто зазначити, що у заплавних лісах реєструвалися різні види рукокрилих, пергач пізній *(Eptesicus serotinus),* Нетопир білосмугий *(Pipistrellus kuhli)* (дані під час проведення обгрунтування).

Інвентаризація біорізноманіття різних таксонів тварин у заказнику «Приірпіння» показало наявність 130 видів, які існують у шести основних біотопах: дендрофільний, лучний, болотний, водний, чагарниковий та обривистий (рис. 1). Найбільша кількість видів зареєстрована у водному (48 видів) та лучному (51 вид) біотопах, а найменша – в обривистому біотопі (10 видів).

Окрім того, під час проведення польових досліджень у долині річки Ірпінь зареєстровано низку видів безхребетних тварин із ЧКУ: беззубка лебедина *(Anodonta cygnea)*, дозорець-імператор *(Anax imperator),* жук-олень *(Lucanus cervus)* та мінливець великий *(Apatura iris).* Слід зауважити, що перераховані види представляють зовсім відмінні біотопи, що засвідчує про потенціал щодо збереження біорізноманіття рідкісних видів у межах РЛП «Приірпіння».

Поміж досліджених таксонів виділено 17 видів внесених до Червоної книги України (ЧКУ),

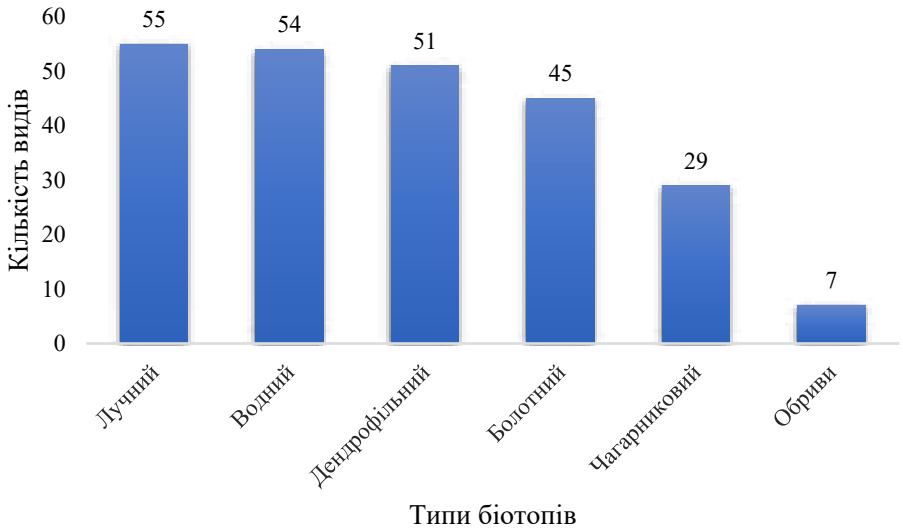


Рис. 3. Кількість видів хребетних тварин у різних типах біотопів РЛП «Приірпіння»

Таблиця 1

Кількість видів тварин та їх охоронний статус у основних біотопах РЛП «Приірпіння»

№	Назва біотопу	Охоронні категорії			
		ЧКУ	Оселищна директива (Резолюція 6)	Європейський червоний список	МСОП
1	Лучний	10	16	4	4
2	Болотний	6	14	5	4
3	Дендрофільний	6	8	✕	✕
4	Водний	4	20	1	✕
5	Чагарниковий	4	12	✕	✕
6	Обриви	✕	1	✕	✕

31 вид перебуває у списках Резолюції 6 Оселищної директиви, видів перебуває у списках Додатків II та III Бернської конвенції, 9 видів внесені до Європейського червоного списку та 5 видів фігурують у списку МСОП (категорія вразливий та види, стан яких близький до загрозливого) (табл. 1). Найбільше видів із Резолюції 6 зустрічається у водному біотопі (20 видів), тоді як види з ЧКУ найчастіше реєструються у лучних біотопах (10 видів). Найбільше видів із міжнародних червоних списків зареєстровано на лучних та болотних біотопах.

Таким чином, у регіональному ландшафтному парку «Приірпіння» водний та лучний біотопи, у даному випадку, є найбільш важливими для збереження рідкісних видів. Наявність великої кількості видів з охоронними статусами підкреслює необхідність додаткових заходів охорони для збереження цих територій, зокрема збільшенням площі заповідних зон і можливим розширенням площі РЛП «Приірпіння». Це дозволить зберегти у нетрансформованому стані важливі для розмноження та міграційних зупинок ділянок. Обриви із глинистими виступами також є важливими біотопами для норногніздових видів птахів. Різноманіття видів, занесених до ЧКУ та Резолюції 6 Оселищної директиви, у дендрофільних біотопах вказує на важливість збереження лісових біоценозів, зокрема вільхових, вербових та тополевих заплавних лісів. В умовах війни, коли чисельність багатьох рідкісних видів в Україні скорочується внаслідок прямих та опосередкованих військових впливів, а також деградації середовищ існування, важливо приділяти увагу заплавним екосистемам, які є осередками біологічного різноманіття. Тому збереження природних екосистем на відносно мирних територіях України, таких як долина річки Ірпінь, можуть стати потенційними рефугіумами для видів, здатних до швидкої міграції, таких як птахи. Адже згідно проведених досліджень, виявлено, що у результаті шумового навантаження на біоценози втрачається біорізноманіття. Підтримка та заходи збільшення чисельності осілих видів, можуть сприяти збереженню генетичного різноманіття цих тварин. Отже, розробка стратегій охорони цих біотопів у Бучанському районі Київської області на прикладі РЛП «Приірпіння» може мати позитивні наслідки для збереження та підтримки чисельності видового багатства тварин. З огляду на це, існує необхідність інтеграції природоохоронних заходів у плани управління ландшафтами Київської області з урахуванням актуальних загроз для біорізноманіття. Виявлення подібних рефугіумів в Україні є важливим у контексті розширення екологічної мережі NATURA [21]. Варто зазначити, що сучасна втрата сільськогосподарських угідь, особливо на півдні України внаслідок російської агресії створює ризик перетворення природних лучних екосистем Київської області на сільськогосподарські поля. Така перспектива викликає занепокоєння серед екологів і науковців, оскільки заплава річки Ірпінь є важливим компонентом типових заплавно-лучних ландшафтів, які є місцями для розмноження та зупинки під час міграцій рідкісних тварин. Такі території, будучи «гарячими точками», відіграють провідну роль у збереженні глобального біорізноманіття [22].

Головні висновки. Інвентаризація 2021-2024 років на території РЛП «Приірпіння» виявила 157 видів тварин. У Парку виділено шість біотопів, що утворюють екотонні зони, сприяючи збереженню видового різноманіття. Серед досліджених видів виявлено 16, занесених до Червоної книги України, 37 видів зі списків Резолюції 6 Оселищної директиви, 157 видів, включених до Додатків II та III Бернської конвенції, 9 видів з Європейського червоного списку та 5 видів зі статусом МСОП.

Найбільше видів з охоронним статусом зареєстровано в лучних та болотних біотопах, що підкреслює їх значення для збереження рідкісних і вразливих видів. Наявність великої кількості таких видів вимагає впровадження прововження моніторингових досліджень та додаткових заходів охорони, зокрема розширення заповідних зон та території РЛП «Приірпіння», для збереження ключових ділянок для розмноження та міграційних зупинок у долині річки Ірпінь.

Література

1. Болтачов О. Р., Дідух Я. П., Дудкін О. В., Іваненко І. Б., Карпова Є. П., Кохан О. В., Онищенко В. А., Парчук Г. В., Проценко Л. Д., Сіренко І. П., Соломаха Т. Д., Червоненко О. В., Яремченко О. А. Смарагдова мережа в Україні. Київ: Хімджест 2011; 192.
2. Lislevan T., Byrkjedal I., Heggoy O., Kalas J.A. Population status, trends and conservation of meadow-breeding waders in Norway. Wader Study 2021; 128: 6–21.
3. Bennett N.J., Roth R., Klain S.C., Chan K., Christie P., Clark D.A., Cullman G., Curran D., Durbini T.J., Epstein G., Greenberg A., Nelson M.P., Sandlos J., Stedman R., Teel T.L., Thomas R., Veríssimo D., Wyborn C. Conservation social science: Understanding and integrating human dimensions to improve conservation. Biological Conservation 2017; 205: 93–108.
4. Матрухан Т.І., Кошелєв В.О. Багаторічний моніторинг біорізноманіття заплав малих річок у Приазов'ї (на прикладі р. Молочної). Проблеми фундаментальної і прикладної екології, екологічної геології та раціонального природокористування: Матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф. Кривий Ріг: Видавничий дім 2009: 167–170.
5. Парнікоза І.Ю., Атамась Н.С., Колінько В.В., Пинзеник О.О., Яловий К.В., Мальований А.М., Король О.В., Борейко В.Є. Київ заповідний. Перспективні території для створення об'єктів природно-заповідного фонду на території Києва. Київ: Київський еколого-культурний центр 2020: 264.
6. Великохатько Ф.Д. Риби Білоцерківщини. Біла Церква: Вид-во Білоцерк. краєзн. т-ва 1929: 34.
7. Куцоконь Ю. К., Циба А. О., Скворчинський А. О. Зміни видового складу іхтіофауни Ірпеня (Басейн Дніпра) протягом останнього століття. Наук. вісник Чернів. ун-ту. Біологія. (Біологічні системи) 2012; 4 (4): 507–510.
8. Мороз В.О, Казанник В.В., Домашевский С.В., Bijlmakers P., Симон А.О. Нові дані по рідкісних та маловивчених видах птахів Київської області. – Беркут. 2015, 24 (2): 87–92.
9. Марущак О.Ю., Некрасова О.Д. Долина річки Ірпінь як перспективний об'єкт Смарагдової мережі в Україні. Тези доповідей Конференції молодих дослідників-зоологів – 2018 (м. Київ, Інститут зоології НАН України, 14-16.11.2018 р.). – Київ. – 2018. – С. 14 – (Зоологічний кур'єр, № 12.).
10. Моця О.П. Енциклопедія історії України (українська). Інститут історії України НАН України. 2003.
11. Причепа М.В., Коваленко Ю.О. Рідкісні види птахів водно-болотних та лучних угідь окремих районів Київської області. Поширення раритетного біорізноманіття в Україні. Серія: Conservation Biology in Ukraine: 38. Київ; Чернівці 2024; 363–395.
12. Причепа М.В., Коваленко Ю.О., Афанасьєв С.О. Реєстрації рідкісних та внесених до Резолюції 6 Бернської конвенції видів риб басейну річки Ірпінь. Поширення раритетного біорізноманіття в Україні. Серія: Conservation Biology in Ukraine. Вип 38. Київ; Чернівці 2024; 396–400.
13. Prychepa M. Ornithofauna of Irpin River valley basin according to the records made in 2019–2023. Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). URL: https://doi.org/10.15468/fcqma5, accessed via GBIF.org on 2024-09-29.
14. Території, що пропонуються до включення у мережу Емеральд (Смарагдову мережу) України («тіньовий список», частина 2) / Кол. авт., під ред. Борисенко К.А., Куземко А.А. Київ: LAT & K 2019; 234.
15. Об'єкти природно-заповідного фонду на території Білогородської громади URL: https://bilohorodka.org.ua/pryirpinnia-novostvorenyj-landshaftnyj-park-mistsevoho-znachennia-na-terytorii-bilohorodskoi-hromady/.
16. Природоохоронна діяльність в Білогородській громаді URL: https://bilohorodka.org.ua/ob-iekty-pryrodno-zapovidnoho-fondu-zakhyst-pryrody-v-bilohorodskij-hromadi/.
17. Мовчан Ю.В. Риби України: визначник-довідник. Київ: Золоті ворота 2011; 444.
18. Фесенко Г.В., Бокотей А.А. Птахи фауни України: польовий визначник. Київ: Українське товариство птахів 2002; 416.
19. Фесенко Г.В. Різноманіття сучасної орнітофауни України. Київ: Академперіодика, 2022. 184.
20. Pupina A., Pupins M., Nekrasova O., Tytar V., Kozynenko I., Marushchak O. Species distribution modelling: Bombina bombina (Linnaeus, 1761) and its important invasive threat Perccottus glenii (Dybowski, 1877) in Latvia under global climate change. Environmental Research, Engineering and Management, 2018;74 (4): 79–86.
21. Василюк О., Борисенко К., Куземко А., Марущак О., Тєстов П., Гриник Є. Проектування і збереження територій мережі Емеральд (Смарагдової мережі). Методичні матеріали. Київ: LAT & K, 2019; 78.
22. HU Y.X, Hyang J.L, DU Y, Han P.P, Wang J.L, Hyang W. Monitoring wetland vegetation pattern response to water level change resulting from the three gorges project in the two largest fresh water lakes of China. Ecological Engineering, 2015; 74: 274–285. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.10.002.

УДК 581.52 (477)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.25

ЧАГАРНИКОВА РОСЛИННІСТЬ ШАЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ

Фіцайло Т.В.
Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного Національної академії наук України
вул. Терещенківська, 2, 01004, м. Київ
tfitsailo@gmail.com

Чагарникова рослинність є дуже цікавою як в синтаксономічному так і в екологічному аспекті, вона відіграє важливу природоохоронну (фітомеліоративну та фітосозологічну) роль, а також має не менш важливе господарське та естетичне значення. В межах Шацького НПП досліджувалася рослинність трьох класів. Угруповання субатлантично-центральноєвропейських ацидофільних чагарників класу Lonicero-Rubetea plicati хоч і фрагментарно, але доволі широко поширені на всій території досліджень, не були достатньою мірою вивчені до останнього часу. Ценози класу Rhamno-Prunetea найпоширеніші в лісостеповій та степовій зонах України. Для Полісся характерні невеликі локалітети цих синтаксонів представлені однією-двома асоціаціями. Типовими для річкових долин та вододільних понижень є гігрофільні (Franguletea) чагарникові фітоценози. Ми ідентифікували вісім асоціацій та одне безрангове угруповання – Franguletea (Salicetum cinereae, Betulo-Salicetum repentis); Lonicero-Rubetea plicati (Frangulo-Rubetum plicati); Rhamno-Prunetea (Prunetum spinosae, Rhamno-Cornetum sanguineae, Euonymo-Cornetum sanguineae, com. *Corylus avellana*). Дана екологічна характеристика чагарникових угруповань за дев'ятьма показниками методом фітоіндикації. Визначено, що диференціюючими екологічними факторами для чагарникової рослинності Шацького НПП є вологість та аерація грунту. Провідними факторами для Frangulo-Rubetum plicati, Rubetum silvatici та Calluno-Sarothamnetum – це змінність зволоження та омброрежим, меншою мірою, кріорежим та освітленість ценозів; для Salicetum cinereae, Betulo-Salicetum repentis є аерація грунту та вологість грунту. Натомість, для Rhamno-Prunetea провідним фактором є вміст карбонатів, кислотний та сольовий режим, вміст мінерального азоту та терморежим. Дані дослідження дають можливість детальніше розглянути питання екологічних особливостей формування чагарникових угруповань у Шацькому національному природному парку. *Ключові слова:* Шацький НПП, чагарникові угруповання, Franguletea, Lonicero-Rubetea plicati, Rhamno-Prunetea, фітоіндикація.

Shrub vegetation of the Shatsk National Nature Park. Fitsailo T.
The shrub vegetation is very interesting both in syntaxonomic and ecological aspects, it plays an important ecological (phytomeliorative and phytosozological) role and is of no less economic and aesthetic importance. Three classes of vegetation have been studied within Shatsk NNP. The communities of sub-Atlantic-Central European acidophilous shrubs of the Lonicero-Rubetea plicati class, although fragmentary, are quite widespread throughout the study area and have not been sufficiently studied until recently. Cenoses of the Rhamno-Prunetea class are most common in the forest-steppe and steppe zones of Ukraine. Polissia is characterised by small localities of these syntaxa, represented by one or two associations. Hygrophilous shrub phytocoenoses (Franguletea) are typical for river valleys and watershed depressions. We identified eight associations and one unranked community – Franguletea (Salicetum cinereae, Betulo-Salicetum repentis); Lonicero-Rubetea (Frangulo-Rubetum plicati, Rubetum silvatici, Calluno-Sarothamnetum); Rhamno Prunetea (Prunetum spinosae, Rhamno-Cornetum sanguineae, Euonymo-Cornetum sanguineae, com. *Corylus avellana*). The ecological characterisation of shrub communities by means of nine indicators using the method of phytoindication is considered. It is determined that the differentiating ecological factors for the shrub vegetation of Shatsk NNP are soil moisture and aeration. The leading factors for Frangulo-Rubetum plicati, Rubetum silvatici and Calluno-Sarothamnetum are variability of soil moisture and ombroregime, to a lesser extent cryoregime and lighting of cenoses; for Salicetum cinereae, Betulo-Salicetum repentis are soil aeration and soil moisture. Instead, for Rhamno-Prunetea, carbonate content, acid and salinity regime, mineral nitrogen content and thermoregime are the most important factors. These studies provide an opportunity to consider in more detail the issue of ecological features of the formation of shrub communities in the Shatsk National Nature Park. *Key words:* Shatsk National Park, shrub communities, Franguletea, Lonicero-Rubetea plicati, Rhamno-Prunetea, phytoindication.

Постановка проблеми. Вивчення та збереження біорізноманіття, в тому числі ценотичної різноманітності, є однією з найважливіших проблем сучасної науки. Територія Шацького національного природного парку відіграє важливу роль у підтриманні біологічного, ценотичного і ландшафтного різноманіття в межах Західного Полісся України. Тож, дослідження синтаксономічного складу її фітосистем має наукове та практичне значення.

Актуальність дослідження. Недостатньо інформації щодо сучасного синтаксономічного складу, еколого-ценотичної структури чагарникової рослинності Західного Полісся спонукало до проведення відповідних досліджень. Типовими для річкових долин та вододільних понижень є гігрофільні (Franguletea) чагарникові фітоценози. Субатлантично-центральноєвропейські ацидофільні чагарникові зарості (Lonicero-Rubetea plicati) бордюрів і лісових узлісь досить фрагментарно поширені в Україні. Рослинність класу Rhamno-Prunetea зустрічається в Європі в основному в помірній і субсередземноморській зоні, а також поширюється далеко в континентальні степи і трохи в бореальну зону. Ці три класа чагарникової рослинності дуже

цікаві як в синтаксономічному так і в екологічному аспекті, вони відіграють важливу природоохоронну (фітомеліоративну та фітосозологічну) роль, а також мають не менш важливе господарське та естетичне значення.

Метою роботи є еколого-ценотична характеристика чагарникової рослинності Шацького національного природного парку.

Матеріали і методи роботи. Дослідження проводилися в 2005-2015 р. маршрутним методом з використанням еколого-флористичних критеріїв опису рослинних угруповань на території заповідника. Згалом для аналізу залучено біля 73 геоботанічні описи. В якості програмного носія бази даних використано TURBO(VEG) [1]. За основу ми взяли класифікацію рослинності, наведену у «Продромусі рослинності України» [2]. Окрім того, враховано синтаксономічні побудови провідних європейських фітоценологів [3, 4-6]. Види рослин подано за визначником рослин [7].

Оцінку впливу екофакторів, визначення їхньої диференціюючої функції та лімітуючої дій проводили за методикою синфітоідикації та ординації з використанням уніфікованих фітоіндикаційних шкал [8, 9]. Екологічний аналіз угруповань проводили за 12 показниками: вологість грунту (Hd), змінність зволоження (fH); аерація грунту (Ae), кислотність грунту (Rc), засоленність грунту (Sl); вміст карбонатів в грунті (Ca); вміст мінерального азоту (Nt); терморежим (Tm); континентальність (Kn), омброрежим (Om), кріорежим (Cr); освітлення (Lc). Аналіз екологічної диференціації угруповань виконували за допомогою PCA-ординації в програмі PAST [10].

Виклад основного матеріалу. Шацький національний природний парк (Шацький НПП) розташований у Шацькому р-ні Волинської обл., на заході він межує з Польщею, на півночі – з Білоруссю. Основна частина парку знаходиться на вододільних теренах р. Західний Буг та Прип'ять.

За геоботанічним районуванням України територія парку належить до Верхньоприп'ятського геоботанічного округу соснових, вільхових, ялинових (фрагментарно) лісів, заплавних лук та оліго-, мезо-, евтрофних боліт, Поліської підпровінції Східноєвропейської провінції Європейської широколистяної області [11]. Території, вкриті лісом займають 50,5%, луки – 6,8%, болота – 4%, водойми – 14,2%. Соснові ліси становлять 70%, на вільшаники, які розповсюджені по всій території парку, але сконцентровані на периферії боліт та у зниженнях на торф'янисто-глейових ґрунтах припадає 15%. Із лісових екосистем 10% належить березовим лісам, які є піонерними угрупованнями і формуються на місці корінних соснових лісів [12].

На основі наявних геоботанічних описів для території Шацького національного природного парку виділили такі синтаксони чагарникової рослинності:

FRANGULETEA DOING EX WESTHOFF IN WESTHOFF ET DEN HELD 1969
Salicetalia auritae Doing 1962
Salicion cinereae T. Müller et Görs ex Passarge 1961
Salicetum cinereae Zólyomi 1931
Betulo-Salicetum repentis Oberd. 1964
LONICERO-RUBETEA PLICATI HAVEMAN ET AL. IN STORTELDER ET AL. 1993
Rubetalia plicati Weber 1995
Lonicero-Rubion silvatici Tx. et Neumann ex Wittig 1977
Frangulo-Rubetum plicati Neumann in Tx. 1952
Rubetum silvatici Weber in Pott 1995
Sarothamnion scoparii Oberd. 1957
Calluno-Sarothamnetum Malcuit 1929
RHAMNO-PRUNETEA RIVAS GODAY ET BORJA CARBONELL EX TX. 1962
Prunion spinosae Soó (1931) 1940
Prunetum spinosae Tx. 1952
Berberidion vulgaris Br.-Bl. ex Tx. 1952
Rhamno-Cornetum sanguineae Passarge (1957) 1963
Euonymo-Cornetum sanguineae Passarge 1957
com. *Corylus avellana*

Ценотичні особливості чагарникових угруповань представлені в Таблиці.

Salicetum cinereae Zólyomi 1931. Болотні чагарникові угруповання висотою близько 3-4 м, вигляд яких визначається переважно домінуючими, напівкулястими заростями *Salix cinerea*, тоді як *Salix aurita, Salix alba, Salix fragilis* домішуються лише окремими екземплярами, які зрідка можуть виходити за межі куртини. Поодиноко зустрічаються *Alnus glutinosa*, рідше *Betula pendula* і *B. pubescens*, але зазвичай вони зустрічаються лише у вигляді молодих рослин. Трав'яний ярус містить вологолюбні багаторічники, такі як *Caltha palustris, Cirsium palustre, Lycopus europaeus, Lythrum salicaria* та *Lysimachia vulgaris*. Крім того, більш-менш постійно трапляються види з класу Phragmito-Magnocaricetea, такі як *Calamagrostis canescens, Phragmites australis, Peucedanum palustre* та *Carex pseudocyperus*. Зазвичай займають ділянки на болотному торфі з високими ґрунтовими водами, які зволожують ґрунт протягом тривалого періоду року. Ці місця багаті на поживні та лужні речовини. Угруповання мають вигляд більш-менш лінійних структур уздовж струмків або канав. Розвиваються як стадія сукцесії між заростями очерету та вільховим лісом, як частина замулення переважно евтрофних вод.

Betulo-Salicetum repentis Oberd. 1964. До складу угруповання входять рідкісні чагарникові ценози з *Betula humilis*, які сьогодні майже зникли в Центральній Європі. Зарості, сформовані переважно з *Betula humilis* заввишки 0,5-1 м, за участі *Betula pubescens, Frangula alnus, Salix rosmarinifolia, S. cinerea* та *S. aurita*. На відміну від них, *Pinus sylvestris* зазвичай трапляється лише у вигляді моло-

дих рослин. Трав'яний ярус включає *Molinia caerulea, Potentilla erecta*, іноді також *Carex lasiocarpa, C. nigra* та інші осоки, особливо з союзу Caricion lasiocarpae. Також часто зустрічаються *Filipendula ulmaria* та *Menyanthes trifoliata, Thelypteris palustris.* Залежно від переважаючих ґрунтових умов, картину доповнюють ацидофільні види, такі як *Oxycoccus palustris* та *Molinia caerulea, Eryophorum polystachyon,* або мезофільні та базофільні представники, такі як *Carex panicea, Geum rivale.* Угруповання зростає на мезотрофних проміжних болотах на вологому, досить кислому або багатому на основи торфі.

Види, які зустрічаються зрідка: *Alisma plantago-aquatica* (1), *Alopecurus pratensis* (5), *Andromeda polifolia* (2), *Arrhenatherum elatius* (5), *Arrhenatherum elatius* (7), *Artemisia dracunculus* (5), *Ballota ruderalis* (5), *Berteroa incana* (5), *Bidens tripartita* (1), *Bolboschoenus maritimus* (1), *Brisa media* (7), *Calamagrostis arundinaria* (8), *Calamagrostis neglecta* (3), *Calla palustris* (2), *Calystegia sepium* (1), *Carex acuta* (1), *Carex flava* (2), *Carex riparia* (1), *Carex rostrata* (2), *Carex vesicaria* (1), *Centaurea jacea* (8), *Cerastium holosteoides* (6), *Chenopodium album* (5), *Cirsium arvense* (3), *Clinopodium vulgare* (6, 7), *Convolvulus arvensis* (3), *Crataegus praearmata* (7), *Dactylorhiza incarnata* (2), *Daucus carota* (6), *Dianthus stenocalyx* (7), *Drosera rotundifolia* (2), *Epilobium palustre* (1), *Equisetum fluviatile* (2), *Eriophorum polystachyon* (2), *Euonymus verrucosa* (7), *Euphorbia cyparissias* (8), *Festuca ovina* (8), *Galium ruthenicum* (7), *Galium uliginosum* (2), *Galium verum* (7), *Gratiola officinalis* (1), *Impatiens parviflora* (5), *Inula britannica* (6), *Iris pseudacorus* (1), *Knautia arvensis* (7), *Leontodon autumnalis* (6), *Leucanthemum vulgare* (7), *Lythrum virgatum* (1), *Medicago lupulina* (6), *Melandrium album* (4), *Milium effusum* (7), *Naumburgia thyrsiflora* (1), *Oxycoccus palustris* (2), *Pinus sylvestris* (2), *Poa annua* (3), *Polygonum scabrum* (5), *Populus alba* (1), *Ranunculus flammula* (2), *Ranunculus lingua* (2), *Rhodococcum vitis-idaea* (4), *Rubus idaeuc* (5), *Rumex hydrolapathum* (1), *Rumex sylvestris* (4), *Sagittaria sagittifolia* (1), *Sambucus nigra* (4), *Serratula tinctoria* (7), *Setaria viridis* (5), *Silene vulgaris* (5), *Sonchus palustris* (1), *Stellaria media* (4), *Thymus pulegioides* (7), *Torilis japonica* (6), *Trifolium alpestre* (7), *Trifolium hybridum* (6), *Trifolium repens* (3), *Vaccinium myrtillus* (4), *Valeriana exaltata* (7), *Veronica longifolia* (5), *Vicia cracca* (7), *Vicia tenuifolia* (6), *Viola hirta* (4). **Номерами позначені синтаксони:** 1 – Salicetum cinereae; 2 – Betulo-Salicetum repentis; 3 – Frangulo-Rubetum plicati; 4 – Rubetum silvatici; 5 – Calluno-Sarothamnetum; 6 – Prunetum spinosae; 7 – Rhamno-Cornetum sanguineae; 8 – Euonymo-Cornetum sanguineae.

Frangulo-Rubetum plicati Neumann in Tx. 1952. Угруповання асоціації заввишки приблизно (0,5-) 1-1,5(-2) м – це чагарникові зарості, в яких часто домінують *Rubus plicatus, R. hirtus*. В цих ценозах значну участь приймають *Frangula alnus* та *Sorbus aucuparia, Betula pendula, Populus tremula, Quercus robur* тощо. Трав'яний покрив зазвичай становить лише 10-20% і складається переважно з ацидофільних видів (*Holcus mollis*, *H. lanatus*) та, у випадку живоплотів, часто також з *Elytrigia repens*. Здебільшого розвиваються у вигляді досить рихлих заростей на узліссях, і також як передлісове угруповання на вирубках. Формуються на помірно свіжих і вологих, кислих глинисто-піщаних ґрунтах.

Rubetum silvatici Weber in Pott 1995. Угруповання утворюють живі стіни заввишки 1-1,5 м вздовж польових стежок або є характерним елементом живоплотів. Зарості ожин (*Rubus nessensis, R. caesius*) утворюють непролазні хащі. В угрупованні содомінують *Frangula alnus* та *Sorbus aucuparia, Betula pendula* та із значною участю видів водно-болотних угідь *Salix cinerea* та *Alnus glutinosa*. Травяний ярус утворений *Agrostis capillaris, Festuca rubra, Deschampsia caespitosa, Lerhenfeldia flexuosa.* Ценози формуються на піщаних, кислих, не надто сухих, в ідеалі дещо свіжих ґрунтах. Поширюються як щільні зарості на осушених, кислих болотних грунтах поряд з угрупованнями Carici-Alnetum або Salicion cinereae.

Calluno-Sarothamnetum Malcuit 1929. Угруповання досить часто трапляються невеликими ділянками, на освітлених узліссях ацидофільних суборів з глинисто-піщаними, кислими та бідними на поживні речовини ґрунтами. Це зімкнуті, чагарникові зарості *Sarothamnus scoparius,* близько 1,5-2(-2,5) м заввишки, до якого зазвичай домішуються *Rubus plicatus* та *Frangula alnus*. Зімкнутість чагарникового ярусу досягає 75-95%, а трав'яного – лише 10-30%. У трав'яному покриві переважають *Holcus mollis, H. lanatus, Agrostis capillaris* та інші переважно ацидофільні види. *Calluna vulgaris* зустрічається відносно рідко із незначним покриттям. Зрідка зустрічається *Betula pendula* та *Quercus robur*.

Prunetum spinosae Tx. 1952. У чагарниковому ярусі винятковим пануванням користується *Prunus spinosa* зі значною домішкою *Rubus caesius,* та поодиноко *Euonymus europaea, Ligustrum vulgare, Frangula alnus.* У травяному покриві окрім типових для цих ценозів сціофітів та нітрофілів (*Galium aparine, Urtica dioica*), також присутні в незначній кількості лучні та узлісні геліофіти – *Achillea submillefolium, Veronicateucrium, Agrostis capillaris, Glechoma hederacea, Carex hirta.* Угруповання Prunetum spinosae зазвичай утворюють непрохідні, переважно 2-3 м заввишки. У сучасному окультуреному ландшафті це часто лінійні структури у вигляді узлісь, спонтанних смуг чагарників по краях доріжок і ділянок, або ж це живоплоти чи огорожі.

Rhamno-Cornetum sanguineae Passarge (1957) 1963. В угрупованні, крім типових для Rhamno-Prunetea – *Rhamnus cathartica, Swida sanguinea, Evonymus europaeus, Pyrus communis, Crataegus pseudokyrtostyla, C praermata*, спостерігається поо-

Таблиця 1

Фітоценотична характеристика чагарникових угруповань

Кількість описів	**9**	**7**	**14**	**11**	**16**	**3**	**6**	**7**
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість видів	6-16	14-25	16-22	9-15	12-16	14-17	10-19	8-17
Зіменутість деревно-чагарнико-вого ярусу	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	1,0	0,9	0,8
Проективне покриття травостою, %	20-30	30-40	10-20	15-20	10-30	5-10	20-25	15-20
Синтаксони	1	2	3	4	5	6	7	8
Salix cinerea	**100**	43		**73**				
Alnus glutinosa	**44**	43		27			17	14
Agrostis stolonifera	**44**							
Caltha palustris	**44**	14						
Carex acutiformis	**56**							
Solanum dulcamara	**56**							
Stachys palustris	11							
Betula humilis		**100**						
Salix rosmarinifolia		**57**						
Betula pubescens		**86**						
Carex lasiocarpa		**57**						
Carex nigra		**43**	7					
Carex panicea	11	**57**						
Cirsium palustre	11	**57**						
Carex appropinquata		**43**						
Salix pentandra		**29**						
Menyanthes trifoliata		**57**						
Agrostis capillaris			18	**73**	**56**	**100**	17	
Rubus plicatus			**100**		**26**			
Holcus lanatus			**25**	14	19			
Rubus hirtus			**64**		6			
Populus tremula	11		**64**		31			14
Holcus mollis			**45**	14	13			
Quercus robur			**45**	7	6		17	
Rumex acetosella			18	**27**	6			
Festuca rubra			14	**36**	19			
Galeopsis ladanum				**73**				
Luzula pilosa				**45**				
Majanthemum bifolium			7	**64**				
Poa nemoralis			21	**100**				
Sarothamnus scoparius					**38**			
Calluna vulgaris					**31**			
Salix caprea			7		**25**			
Pteridium aquilinum					**28**			
Pleurozium schreberi					**41**			
Hypnum cupressiforme					**32**			
Prunus spinosa						**100**		
Galium aparine	11				6	**67**		29
Veronica teucrium					13	**100**		
Rhamnus cathartica							**100**	
Swida sanquinea	11						**100**	**100**
Euonymus europaea						33	**50**	**100**
Padus avium							**50**	29

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pyrus communis							**67**	14
Ulmus glabra								**71**
Geum urbanum					6		17	**43**
Frangula alnus	**67**	**86**	**79**	**100**	**81**	**33**	17	14
Thelypteris palustris	78	71						
Salix aurita	22	71						
Potentilla anserina	22	29						
Comarum palustre	22	71						
Galium palustre	67	71		9				
Lycopus europaeus	**89**	43						
Mentha aquatica	**44**	14						
Peucedanum palustre	11	71						
Phragmites australis	22	29						
Rubus nessensis			**100**	**100**	**81**			
Lerchenfeldia flexuosa			43	**82**	38			
Holcus lanatus			21	18	19			
Sorbus aucuparia	11		43	**50**	**44**			
Rubus caesius				**73**	**63**	**100**	**50**	**86**
Glechoma hederacea				9	13	**100**	**50**	71
Urtica dioica	11			27	13	33	17	57
Veronica chamaedrys				73	38		17	14
Corylus avellana						33		14
Crataegus curvisepala							17	14
Ligustrum vulgare						33		
Rosa tomentosa							17	14
Crataegus pseudokyrtostyla							17	14
Achillea submillefolium			29	36	6	100	33	29
Betula pendula	11	**43**	29	**50**	6			
Carex hirta			14		50	**67**	**50**	
Dactylis glomerata					13		33	14
Deschampsia caespitosa		43	14	55	31			
Elytrigia repens			36		13		17	14
Equisetum arvense				9	13		17	14
Filipendula denudata	22						17	43
Galium mollugo						33	33	14
Humulus lupulus	11			9	13		17	29
Lysimachia vulgaris	56	71	7	36	33		14	
Molinia caerulea	22	86		18	13			
Poa compressa						33	50	14
Polygonum convolvulus			14	9	25			
Potentilla erecta	11	57	7	64	6			
Potentilla reptans	11					**67**		14
Prunella vulgaris			14		25	33		
Ranunculus acris	11	14		9	19	**67**	17	43
Agrimonia eupatoria					6		17	
Artemisia dniproica				9	13			
Calamagrostis canescens	11	14						
Calamagrostis epigeios				9	13			
Carex cinerea	11	14						
Carex contiqua						33	17	
Carex pseudocyperus	11	14						

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Chelidonium majus				18			17	
Cirsium rivulare		14	7					
Dryopteris carthusiana			7	18				
Dryopteris cristata			7	27				
Equisetum palustre	33	14						
Erigeron canadensis			21		6			
Filipendula vulgaris							17	14
Galium boreale							67	14
Geum rivale	11	14						
Glyceria maxima	11	14						
Hypericum perforatum					19		17	
Juncus effusus	22			18				
Lysimachia nummularia						33		14
Lythrum salicaria	44	86						
Pimpinella saxifraga							33	29
Poa pratensis			14	9				
Polygonum aviculare			7	9				
Ranunculus repens	44			18				
Rumex acetosa							83	14
Salix alba	33						33	14
Salix fragilis	22							14
Scutellaria galericulata	44	14						14
Typha latifolia	11	14						
Veronica officinalis			21	18				
Vicia cassubica							50	14

динока присутність *Alnus glutinosa, Quercus robur, Ulmus glabra, Salix alba*. Блок трав'яних видів утворюють *Glechoma hederacea, Carex hirta, Poa compressa, Galium boreale, Rumex acetosa* і *Viccia cassubica*. Зустрічається на узліссях та вздовж берегів річок. Ґрунти багаті суглинисто-піщані.

Euonymo-Cornetum sanguineae Passarge 1957. Угруповання формуються в заплаві Західного Бугу як каймові ценози вербового лісу. Чагарниковий ярус сформований *Swida sanguinea, Euonymus europaea, Frangula alnus, Corylus avellana* та *Rubus caesius*, поодиноко *Crataegus pseudokyrtostyla, C. praermata* з домішкою дерев і чагарників, типових для заплавних лісів (*Populus tremula, Salix alba, S. fragilis, Ulmus glabra, Padus avium*). У трав'яному покриві переважають рудеральні види (*Geum urbanum, Galium aparine, Urtica dioica*) та лучні види (*Dactylis glomerata, Elytrigia repens, Ranunculus acris*). Характеризується присутністю різнотрав'я вологих і багатих поживними речовинами місцезростань. Грунти, як правило, суглинисті та багаті на азот. Значна частина заростей у минулому регулярно затоплювалася під час весняних паводків.

Угруповання *Corylus avellana* – це «майже чисто чагарникове угруповання», здебільшого сформоване як каймовий узлісний ценоз, у якому дерева, такі як *Padus avium, Sorbus aucuparia,* також зустрічаються зазвичай тільки в кущовій формі. Трав'яний покрив маловидовий, розріджений. Угруповання формується на сухих супіщаних ґрунтах.

Для порівняння екологічної амплітуди та з'ясування зв'язків між союзами ми використали метод головних компонент (PCA).

На рисунку виділяються три основні групи біотопів, що зумовлено лімітуючою дією різних екофакторів і відповідає розподілу по класам: I – Franguletea (Salicetum cinereae, Betulo-Salicetum repentis); II – Lonicero-Rubetea (Frangulo-Rubetum plicati, Rubetum silvatici, Calluno-Sarothamnetum); III – Rhamno-Prunetea (Prunetum spinosae, Rhamno-Cornetum sanguineae, Euonymo-Cornetum sanguineae). Провідними факторами диференціації для першої групи є аерація грунту та вологість грунту; для другої – змінність зволоження та омброрежим, меншою мірою, кріорежим та освітленість ценозів. Натомість, для Rhamno-Prunetea провідним фактором є вміст карбонатів, кислотний та сольовий режим, вміст мінерального азоту та терморежим.

Важливою ознакою, що визначається лімітувальною дією екофакторів, є розмірність їхнього екопростору. Найвужчий екопростір мають зарості терну (Prunetum spinosae), поширення яких обмежене

вузьким діапазоном екофакторів, тому такі біотопи є найбільш чутливими до екологічних змін. А найширший – у асоціації Calluno-Sarothamnetum, угруповання якої на досліджуваній території знаходяться в оптимальних екологічних умовах.

Під час аналізу показників екологічних факторів чагарникових угруповань визначено, що найбільша варіабельність серед едафічних факторів належить вологості і аерації грунту, серед кліматичних факторів незначні коливання спостерігаються для континентальності клімату та омброрежиму.

За зволоженістю грунту простежується розподіл синтаксонів на три групи: угруповання Franguletea характеризуються гігрофітними умовами (сирі лісолучні екотопи), Lonicero-Rubetea plicati – гігромезофітні (вологі лісо-лучні екотопи), а мезофітні умови місцезростань (свіжі лісо-лучні екотопи) характерні для угруповань Rhamno-Prunetea. За аерацією грунту розділяються на субаеробні (екотопи слабкоаерованих вологих оглеєних грунтів) ділянки з Salicetum cinereae, аерофобні (екотопи вологих оглеєних грунтів з максимальним капілярним зволоженням) з Betulo-Salicetum repentis і геміаерофобні (екотопи помірноаерованих сухих чи вологих грунтів з тимчасовим надмірним зволоженням) – всі інші синтаксони. Змінність зволоження представлена двома групами – геміконтрастофобні умови (угруповання Franguletea) та геміконтрастофільні (Lonicero-Rubetea plicati, Rhamno-Prunetea). За вмістом мінерального азоту в грунті для всіх чагарникових угруповань характерні гемінітрофільні умови (відносно бідні на мінеральний азот грунти – 0,2-0,3%). За кислотністю грунту розподіл угруповань має незначні коливання: місцезростання з ацидофільними умовами (кислі грунти з pH 4,5-5,5) притаманні для Frangulo-Rubetum plicati і Rubetum silvatici, для інших – субацидофільні умови (слабкокислі грунти з pH 5,5-6,5). Отримані показники за загальним сольовим режимом характеризують умови місцезростань досліджуваних синтаксонів як семіевтрофні (збагачені солями (150-200 мг/л) грунти), виняток складають місезростання Betulo-Salicetum repentis – мезотрофні умови (небагаті на солі грунти (95-150 мг/л)). Показники насичення грунту карбонатами у Franguletea, Frangulo-Rubetum plicati і Rubetum silvatici відповідають гемікарбонатофобним умовам (екотопи, із незначним вмістом карбонатів у грунті – CaO, MgO = 0,5%). Для угруповань Rhamno-Prunetea та Calluno-Sarothamnetum – показники характеризують гемікарбонатофільні умови (збагачені карбонатами грунти – CaO, MgO = 5-10%). В ценозах Franguletea та Rhamno-Prunetea континентальність клімату має геміконтинентальні риси (характерні для лісостепової частини України). Для Lonicero-Rubetea plicati цей показник характеризується як геміокеанічний (умови атлан-

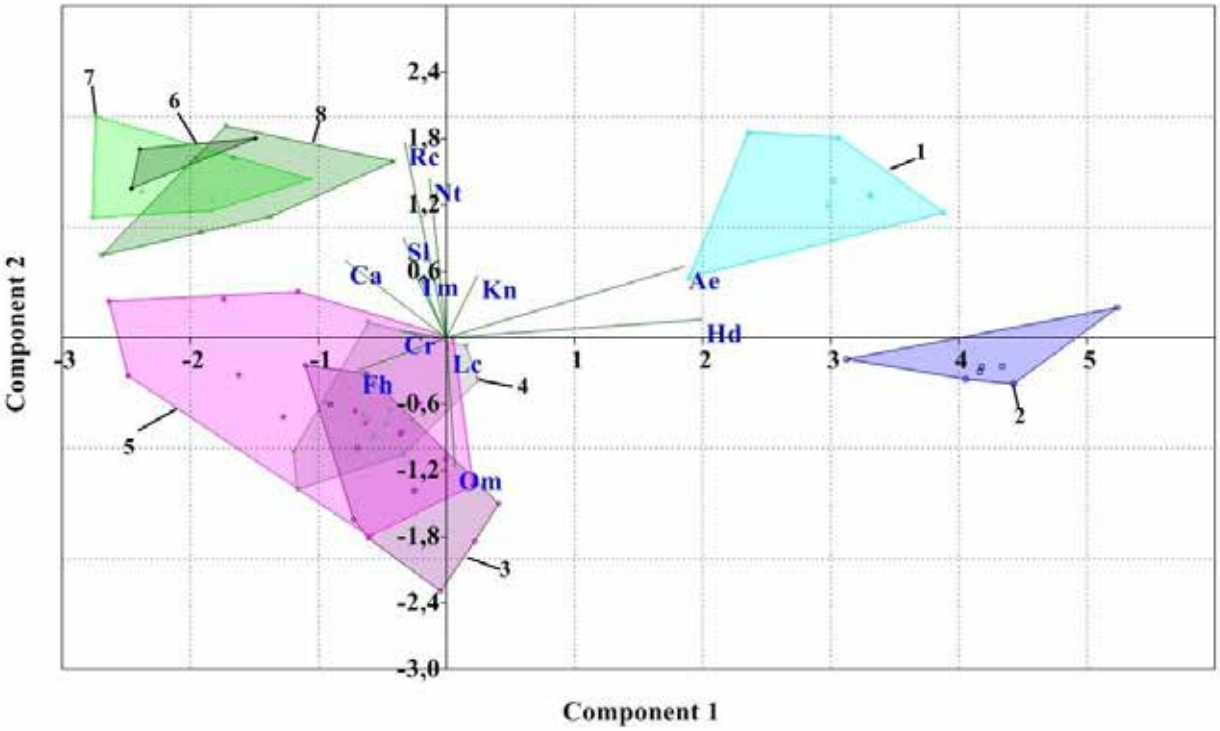


Рис. 1. Ординаційна діаграма методу головних компонент (PCA) для чагарникової рослинності Шацького НПП: 1 – Salicetum cinereae; 2 – Betulo-Salicetum repentis; 3 – Frangulo-Rubetum plicati; 4 – Rubetum silvatici; 5 – Calluno-Sarothamnetum; 6 – Prunetum spinosae; 7 – Rhamno-Cornetum sanguineae; 8 – Euonymo-Cornetum sanguineae

тичної Європи). За терморежимом чагарникові угруповання Rhamno-Prunetea та Salicetum cinereae, Calluno-Sarothamnetum характеризуються неморальним типом терморежиму (45-49 ккал $см^{-2}$ $рік^{-1}$), а Betulo-Salicetum repentis і Lonicero-Rubetea plicati – суббореальним (35-40 ккал $см^{-2}$ $рік^{-1}$). За гумідністю клімату, або омброрежимом, досліджувані ценози характеризуються субгумідним типом режиму (Franguletea, Lonicero-Rubetea plicati, Euonymo-Cornetum sanguineae) та субарідним типом (Prunetum spinosae, Rhamno-Cornetum sanguineae). За освітленістю всі досліджені чагарникові угруповання відповідають субгеліофітним умовам. Амплітуда морозності клімату (кріорежим), для дослідженої рослинності характеризує місцезростання: з гемікріофітними умовами – морозність зим -8-0°С (Rhamno-Prunetea) та субкріофітними (Franguletea, Lonicero-Rubetea plicati) – морозність зим -14...-10°С.

Головні висновки. Загалом чагарникова рослинність Шацького НПП досить різноманітна, особливо цікавими є фітоценози класів Rhamno-Prunetea, Lonicero-Rubetea plicati. Угруповання останнього хоч і фрагментарно, але доволі широко поширені на всій території досліджень і не були достатньою мірою вивчені до останнього часу. Ценози класу Rhamno-Prunetea найпоширеніші в лісостеповій та степовій зонах України. Для Полісся характерні невеликі локалітети цих синтаксонів представлені однією-двома асоціаціями. Для території Шацького НПП нами ідентифіковано вісім асоціацій та одне безрангове угруповання – Franguletea (Salicetum cinereae, Betulo-Salicetum repentis); Lonicero-Rubetea plicati (Frangulo-Rubetum plicati); Rhamno-Prunetea (Prunetum spinosae, Rhamno-Cornetum sanguineae, Euonymo-Cornetum sanguineae, com. *Corylus avellana*). Диференціюючими екологічними факторами для чагарникової рослинності Шацького НПП є вологість та аерація грунту. Провідними факторами для Frangulo-Rubetum plicati, Rubetum silvatici та Calluno-Sarothamnetum – це змінність зволоження та омброрежим, меншою мірою, кріорежим та освітленість ценозів; для Salicetum cinereae, Betulo-Salicetum repentis є аерація грунту та вологість грунту. Натомість, для Rhamno-Prunetea провідним фактором є вміст карбонатів, кислотний та сольовий режим, вміст мінерального азоту та терморежим.

Перспективи використання результатів дослідження. Екологічні аспекти є науковою основою щодо збереження, відтворення біорізноманіття та екосистем, прогнозування їхніх можливих змін у зв'язку з глобальними екологічними кризами. Результати дають можливість детальніше розглянути питання екологічних особливостей формування різних типів рослинності, уточнити межі їхньої екологічної толерантності.

Література

1. Hennekens S.M., Schaminée J.H.J. *TURBOVEG,* a comprehensive date base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science.* 2001. No 12. P. 589-591.
2. Дубина Д.В., Дзюба Т.П., Ємельянова С.М. та ін. Продромус рослинності України. Київ : Наукова думка, 2019. 788 с.
3. Havemann, R., Schaminée, J.H.J., Stortelder, A.H.F. 1999. Lonicero-Rubetea plicati. In: Stortelder, A.H.F., Schaminée, J.H.J. & Hommel, P.W.F.M. (eds.), De Vegetatie von Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen, pp. 89-104. Opulus Press, Uppsala, SE.
4. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., et all. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*. 2016. Vol. 19 (1). P. 1-783.
5. Weber H.E. Eine neue Gebüschgesellschaft in Nordwestdeutschland und Gedanken zur Neugliederung der Rhamno-Prunetea. Mitt. Naturwiss. *Osnabrücker.* 1974. No 13. P. 143-150.
6. Weber H.E. Franguletea (H1). Faulbaum-Gebüsche Synopsis der Pflanzengesellschaften Deutschlands. 1998. Heft 4. P. 3-86.
7. Визначник рослин України. Київ: Урожай, 1965. 878 с.
8. Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал.* 2003. 60, № 1. С. 6-17.
9. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ : Інститут ботаніки НАН України, 1994. 280 с.
10. Hammer, Ø., Harpe D.A.T., Ryan R.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologica Electronica.* 2001. Vol. 4, № 1. P. 1-9.
11. Didukh Ya. P. The ecological scalaes for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv : Phytosociocentre, 2011, 176 p.
12. Заповідники і національні природні парки України. Київ: Вища школа, 1999. 232 с.

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 502.58:004.056.5:625.7:629.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.26

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В СИСТЕМІ «АДС» В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

Адамова Г.В.
Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків
abolmasova@niiep.kharkov.ua

Розвиток інформаційних технологій, що сприяє підвищенню ефективності роботи в системі «Автомобіль-Дорога-Середовище» (АДС), безперечно супроводжується появою все нових ризиків (кіберзагроз), які можуть мати значний вплив на екологічну безпеку. Цей вплив виражається, зокрема, в можливості порушення роботи систем екологічного моніторингу, збільшенні забруднення навколишнього природного середовища, створенні умов для довгострокового впливу на довкілля, використання даних про екологічний стан навколишнього середовища для маніпуляцій, ускладнення прийняття екологічних рішень і т.д. При цьому, більшість досліджень щодо кіберзагроз та кібербезпеки зосереджені на окремих аспектах транспортної інфраструктури, таких як захист окремих компонентів автомобільних систем або інтелектуальних транспортних систем, при цьому не враховуючи екологічний компонент або враховуючи його частково. Але система «АДС» є складним комплексом, в якому, з точки зору кіберзагроз, взаємодіють між собою технічні (автомобілі, дорожня інфраструктура, інженерні споруди), інформаційні (системи збору, передачі та аналізу даних) та екологічні (довкілля, моніторингові системи, екологічні дані) елементи. Тому, для розуміння взаємозв'язків всіх цих елементів та їх компонентів, а також для розуміння щодо потенційного впливу ризиків в системі «Автомобіль-дорога-середовище» на екологічну безпеку, необхідно застосовувати саме комплексний підхід.

Під час дослідження було проаналізовано низку закордонних та вітчизняних робіт з яких виокремлено потенційні види кіберзагроз у системі «АДС» та розподілено їх за спрямуванням на кожний з елементів системи. Також було виділено який вплив можуть чинити розглянуті кіберзагрози в контексті забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг та надані можливі заходи безпеки для підвищення рівня захисту системи «АДС», які необхідно розглядати разом з заходами зі зменшення впливу від експлуатації автомобільної дороги на складові довкілля. *Ключові слова:* система «Автомобіль-Дорога-Середовище», критична інфраструктура, екологічна безпека, кібербезпека, довкілля, загроза, ризик.

A comprehensive approach to ensuring environmental safety in the "CRE" system in the context of digitalization. Adamova H.

The development of information technologies that enhance efficiency in the "Car-Road-Environment" (CRE) system is inevitably accompanied by the emergence of new risks, particularly cyber threats, which can significantly impact environmental safety. This impact is expressed in the potential disruption of environmental monitoring systems, increased environmental pollution, creation of conditions for long-term environmental harm, manipulation of environmental data, and complications in making informed ecological decisions, among other consequences.

Most research on cybersecurity and cyber threats tends to focus on specific aspects, such as protecting individual components of vehicle systems or intelligent transportation systems, while often neglecting or only partially addressing the environmental component. However, the "CRE" system is a complex entity wherein technical (vehicles, road infrastructure, engineering structures), informational (data collection, transmission, and analysis systems), and environmental (natural environment, monitoring systems, environmental data) elements interact in the context of cyber threats. Therefore, a comprehensive approach is needed to systematically analyze risks within the "CRE" system, ensuring a clear understanding of the interconnections between all elements and their potential impacts on environmental safety.

During the study, various foreign and domestic works were analyzed to identify potential types of cyber threats within the "CRE" system and classify them according to their focus on specific system elements. Additionally, the study highlighted the possible impacts of these cyber threats in the context of ensuring the environmental safety of road systems. Recommendations for improving the security of the "CRE" system were provided, emphasizing the need to integrate these measures with strategies aimed at reducing the environmental impact of road operations on ecological components. *Key words:* "Car-Road-Environment" system, critical infrastructure, environmental safety, cybersecurity, environment, threat, risk.

Постановка проблеми. Постійний та невпинний розвиток інформаційних технологій (ІТ), зокрема в системі «Автомобіль-Дорога-Середовище» (АДС), сприяє підвищенню ефективності її роботи. Але поряд з цим безперечно зумовлюється поява нових ризиків (кіберзагроз), які можуть мати значний вплив на екологічну безпеку. Серед них, зокрема, вплив на системи екологічного моніторингу та екологічну інфраструктуру, порушення їх роботи, посилення забруднення навколишнього природного

середовища і т.д. Саме тому важливо усвідомлювати взаємозв'язок між екологічною безпекою та кібербезпекою й застосовувати комплексний підхід до забезпечення безпеки та захищеності критично важливої інфраструктури, якою, беззаперечно являються автомобільні дороги.

Актуальність дослідження. Важливу роль в забезпеченні більш ефективної роботи системи «АДС» грають ІТ, насамперед інтелектуальні транспортні системи, автоматизовані системи керування дорожнім рухом і системи екологічного моніторингу. Поряд з перевагами, що вони надають, безперечно зростають і загрози для кібербезпеки, що можуть впливати як на кожну з складових, так і на систему в цілому.

Так, кібератаки як окремих елементів так і всієї системи «АДС» можуть мати суттєві наслідки для життєзабезпечення густонаселених територій, призвести до значних екологічних і соціальних втрат. Зокрема, вони здатні порушувати роботу систем моніторингу забруднення основних складових довкілля (повітря, води, ґрунту), викликати аварійні ситуації, що матимуть екологічні наслідки (розлив небезпечних речовин, забруднення відходами аварій, розливи масел та нафтопродуктів, збільшення рівня викидів), або ж навіть створювати умови для довготривалого впливу на навколишнє природне середовище.

Враховуючи вище наведену інформацію, дослідження зв'язку між екологічною безпекою та кібербезпекою в системі «Автомобіль-Дорога-Середовище» є надзвичайно актуальним.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В статті підіймаються важливі та актуальні питання, пов'язані із кіберзагрозами в системі «АДС», зокрема в частині впливу їх на екологічну безпеку. Визначено потенційні кіберзагрози, що можуть впливати на систему «АДС», встановлено можливі наслідки для екологічної складової системи, а також запропоновано шляхи підвищення рівня безпеки у системі. Розглянуто механізми дії між технічними, інформаційними та екологічними елементами системи «АДС» з точки зору їх уразливості до кібератак, що підкреслює важливість врахування заходів з кіберзахисту під час розробки комплексних заходів зменшення впливу на довкілля від експлуатації автомобільних доріг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні, системний підхід до забезпечення безпеки всіх комплексних елементів системи «Автомобіль-Дорога-Середовище» є недостатньо дослідженим. Важливим аспектом є інтеграція безпеки на всіх рівнях взаємодії, що охоплює автомобільні системи, дорожню інфраструктуру та навколишнє середовище.

За останні роки було проведено ряд нових досліджень, присвячених питанням кібербезпеки транспортних систем. Однак, більшість з них зосереджені на окремих аспектах, таких як захист окремих компонентів автомобільних систем або інтелектуальних транспортних систем (ITS) [1, 2].

В [3] розглядаються екологічні ризики, що можуть бути викликані кіберзагрозами, зокрема, зазначено, що для транспортних систем впливи можуть бути на камери, що знаходяться на дорогах, на сигнали та системи моніторингу/контролю. Однак у роботі відсутній розширений аналіз щодо того, як саме це вплине на екологічну безпеку доріг і відсутні пропозиції щодо шляхів підвищення рівня безпеки захисту**.**

В Україні існують кілька нормативних документів [4-6], які регулюють питання кібербезпеки та опосередковано торкаються екологічної безпеки, зокрема через захист критичної інфраструктури. Так, у [4] визначено основи кібербезпеки, включаючи захист критичної інфраструктури, до якої належать також і елементи, що можуть впливати на навколишнє середовище, наприклад, транспортні та дорожні системи [7]. Однак чіткої інформації щодо зв'язку між екологічною безпекою та кібербезпекою автомобільних доріг немає.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна.

Кібербезпека автомобільних доріг, як об'єкта критичної інфраструктури, потребує інформації не лише про будівництво, утримання та експлуатацію автомобільних доріг, а й про планування та організацію впровадження заходів із забезпечення екологічної безпеки.

Більшість досліджень на цю тему зосереджені або на автомобільних системах, або ж на дорожній інфраструктурі, при цьому дуже часто екологічний компонент у них не враховується. Ці дослідження окреслюють загальні питання пов'язані з кіберзагрозами в транспортних системах і пропонують технічні рішення для їх мінімізації. Але ж вразливими для кібератак можуть бути зокрема і дорожні об'єкти дистанційного відстеження змін та параметрів стану та умов навколишнього середовища в районі проходження автомобільної дороги, де використовуються датчики або інші системи моніторингу. Це означає, що заходи екологічної безпеки також повинні враховувати необхідність захисту кібербезпеки для запобігання потенційним атакам, які можуть порушити роботу цих систем або поставити їх роботу під загрозу.

Тому необхідно застосовувати комплексний підхід, який охоплюватиме всі аспекти системи «АДС», та враховуватиме як екологічну безпеку так і кібербезпеку цієї системи.

Мета дослідження: визначити можливі кіберзагрози в системі «АДС», зокрема з точки зору їх впливу на екологічну безпеку та надати пропозиції щодо можливих заходів безпеки для підвищення рівня захисту системи.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження проводилися на основі опрацювання наукових, нормативних та методологічних літературних джерел за тематикою статті.

Викладення основного матеріалу.

Для забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг оптимальним є використання комплексного експертно-аналітичного підходу із застосуванням MAI. Для цього була розроблена ієрархічна структура комплексної оцінки впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля (рис. 1). Детальний опис декомпозиції проблеми, самої структури, постановок завдання експертам для попарного порівняння елементів та аналіз результатів еколого-експертно-аналітичного дослідження (ЕЕАД) надані в [8].

Система «АДС» є складним комплексом, в якому, з точки зору кібербезпеки, взаємодіють між собою технічні (автомобілі, дорожня інфраструктура, інженерні споруди), інформаційні (системи збору, передачі та аналізу даних) та екологічні (довкілля, моніторингові системи, екологічні дані) елементи. Розгляд системи «АДС» в такому ключі дозволить виокремити «слабкі місця» кожного з елементів та його компонентів, а також розробити комплексні заходи захисту для кожного з них. Окрім цього це надасть змогу зрозуміти так званий «каскадний ефект» кіберзагроз, коли порушення роботи одного елемента системи може мати серйозні наслідки для інших, включаючи вплив на екологічну безпеку.

У контексті екологічної безпеки кіберзагрози, націлені на систему «АДС», можуть мати шкідливий вплив на складові екосистеми. Так, встановлення датчиків, камер та інших систем моніторингу вздовж автомобільних доріг може створити нові вразливі місця та додаткові цілі для кібератак. Кібератаки можуть пошкодити системи управління дорожнім рухом, спричинити затори та аварії, а також мати негативний економічний та соціальний вплив як на учасників дорожнього руху, так і на навколишнє середовище [9].

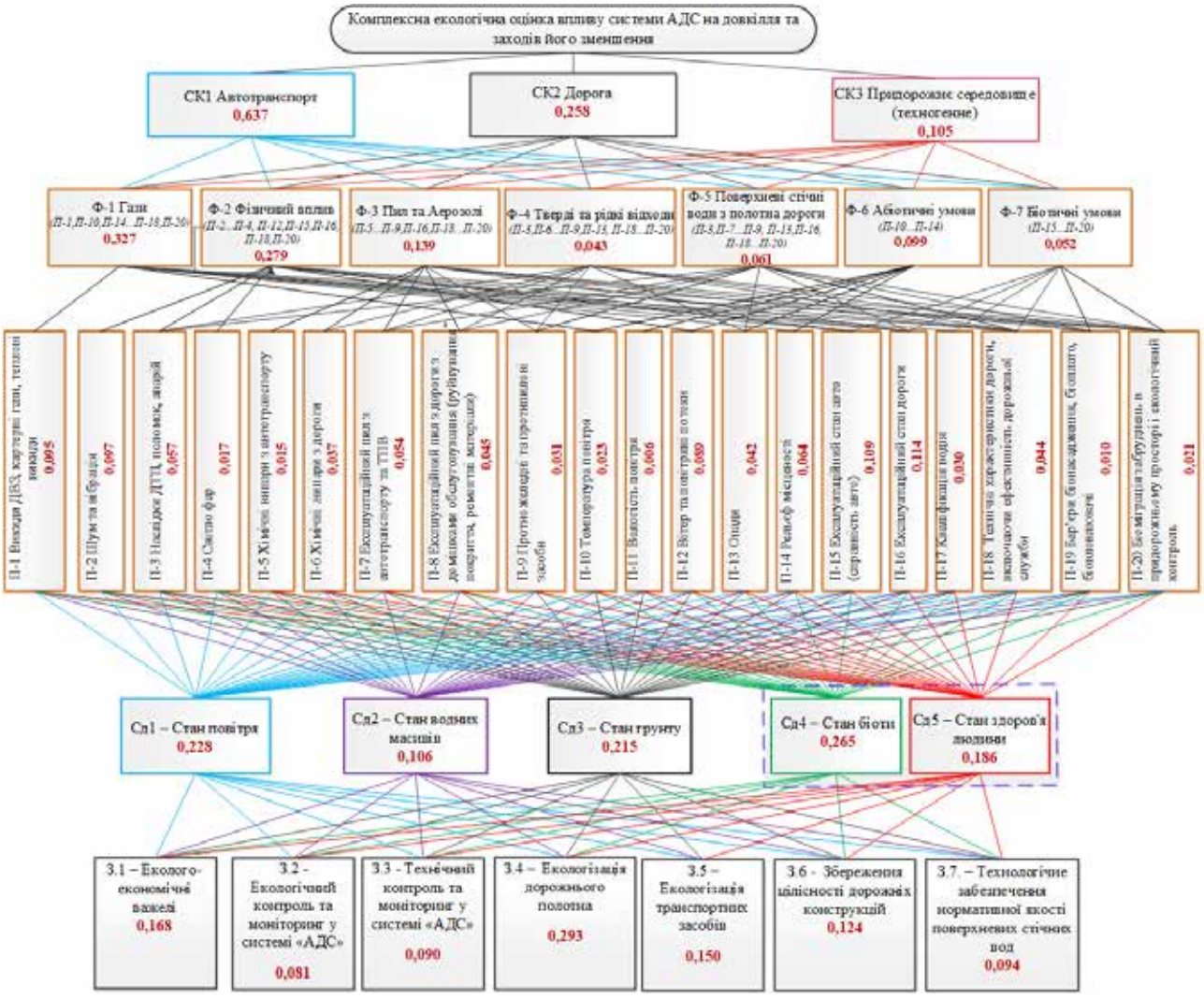


Рис. 1. Ієрархічна структура комплексної оцінки впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля з результатами ЕЕАД [8]

Розподіл кіберзагроз за елементами системи «АДС» дозволить краще зрозуміти, на які елемени та/або їх компоненти слід звернути особливу увагу для забезпечення їх безпеки. Тому, проаналізувавши дослідження, які стосуються питань кібербезпеки, зокрема [1-3, 10, 11], було виділено можливі кіберзагрози і вразливості до кібератак у системі «АДС» та згруповано їх за спрямованістю на кожний з елементів системи (рис. 2).

Нижче наведено перелік деяких наслідків, що можуть бути спричинені переліченими загрозами [2, 10, 11]:

– Збільшення заторів на дорогах і викидів забруднюючих речовин.

– Вплив на енергоефективність і додаткові викиди CO_2.

– Підробка та/або втрата даних моніторингу якості повітря та інших екологічних показників.

– Ускладнення прийняття екологічних рішень.

– Порушення роботи обладнання систем контролю стану НС.

– Негативний вплив на флору та фауну.

– Порушення роботи інфраструктури збереження біорізноманіття.

– Вплив на екологічні параметри через використання даних про транспортні потоки.

– Втрата координації автомобіля та підвищення вірогідності ДТП.

– Ускладнення моніторингу дорожньої ситуації та реагування на екологічні та транспортні аварії.

– Зростання ризику екологічних катастроф.

– Використання даних про екологічний стан НС для маніпуляцій.

– Зміни транспортних маршрутів (збої в навігації), що призведе до збільшення часу в дорозі, споживання палива та викидів ЗР.

Виходячи з вищенаведеної інформації можна зробити висновок, що ризики кіберзагроз є для кожної складової системи «АДС». Саме тому заходи з підвищення екологічної безпеки у системі «АДС» повинні також враховувати кібербезпеку задля запобігання потенційним атакам, які можуть порушити роботу системи і призвести до негативних впливів на довкілля.

Проаналізувавши вітчизняні та закордонні роботи щодо захисту критичної інфраструктури [12-14], було виділено заходи безпеки для підвищення рівня

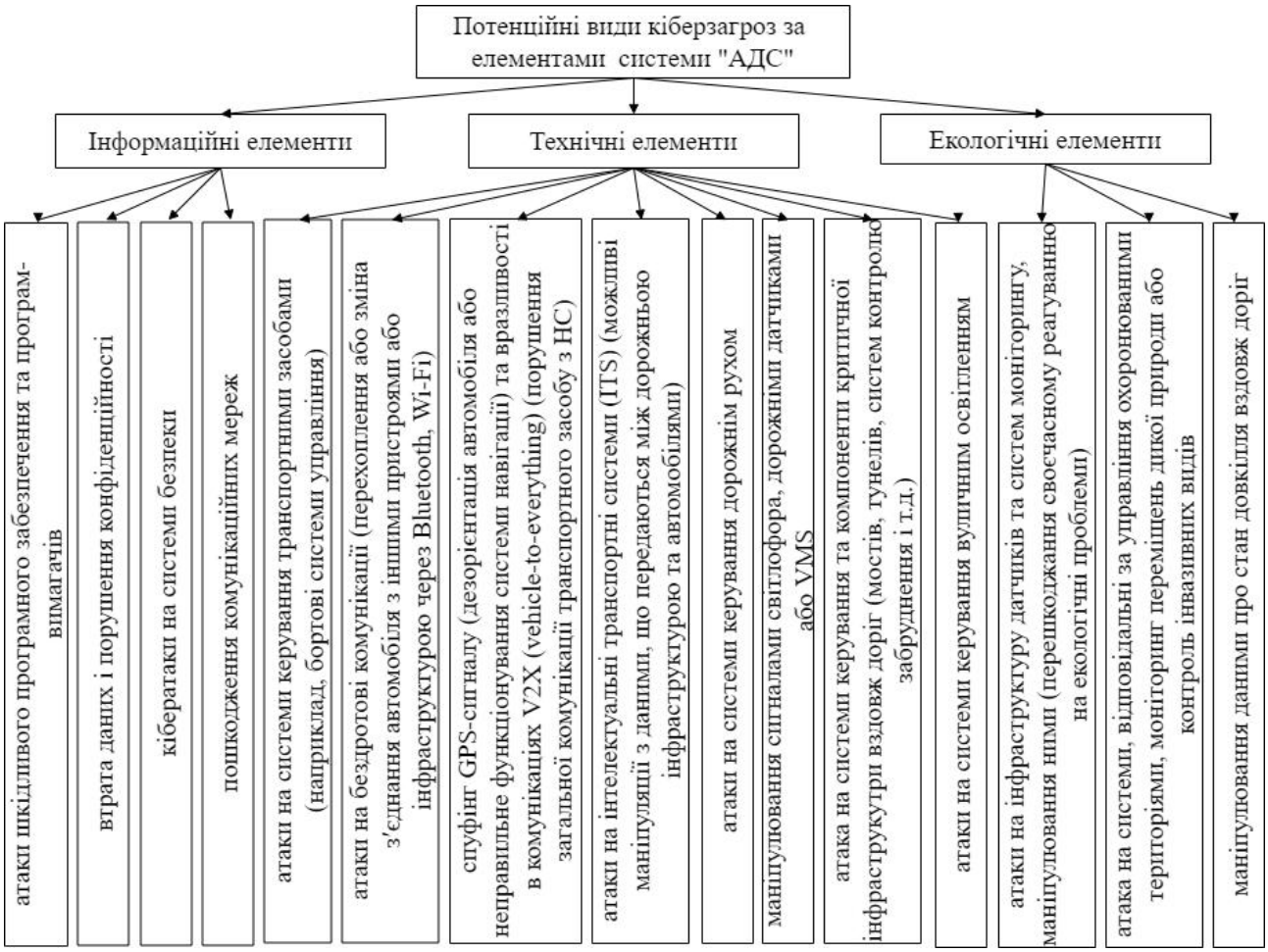


Рис. 2. Потенційні види кіберзагроз в системі «АДС» за спрямуванням на кожний з елементів системи

Джерело: розроблено автором за [1-3, 10, 11]

захисту системи «АДС» та згруповано їх в окремі блоки (Табл. 1). Як видно з таблиці, запропоновані заходи безпеки включають як технічні, так і організаційні рішення, що дозволяють підвищити рівень захисту у системі.

Головні висновки. В сьогоднішніх умовах стрімкого і невпинного росту цифрових технологій важливим є усвідомлення взаємозв'язку між екологічною безпекою та кібербезпекою системи «АДС» та застосування комплексного підходу, що враховує технічні, інформаційні та екологічні аспекти системи.

В роботі визначено можливі кіберзагрози в системі «АДС», зокрема з точки зору їх впливу на екологічну безпеку та надано пропозиції щодо можливих заходів безпеки для підвищення рівня захисту системи.

Підкреслено важливість та необхідність врахування заходів із забезпечення кібербезпеки цифрових систем і мереж під час реалізації заходів із захисту довкілля в системі «АДС». Реалізація таких комплексних заходів сприятиме, зокрема, створенню умов для безпечної та екологічно відповідальної експлуатації автомобільних доріг та всебічного захисту навколишнього природного середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані:

– для вдосконалення проведення екологічного моніторингу та впровадження комплексних заходів захисту системи «АДС», що включатимуть заходи з кібербезпеки.

– як додаткові матеріали для розробки рекомендацій та нових стандартів з кібербезпеки, для комплексного захисту системи «АДС» та забезпечення екологічної безпеки;

– як інформаційні матеріали при підготовці фахівців з кіберзахисту критичної інфраструктури в системі «АДС».

Таблиця 1

Можливі заходи безпеки для підвищення рівня захисту системи «АДС»

Назва заходу	Шляхи підвищення рівня безпеки захисту системи «АДС»
Посилення кіберзахисту системи	Встановлення систем виявлення та запобігання вторгненням; впровадження системи контролю цілісності (виявлення несанкціонованих змін у програмне забезпечення чи налаштування системи); застосування шифрування даних.
Авторизація та автенти-фікація	Використання механізмів багатофакторної автентифікації (запобігання несанкціонованому доступу до систем керування дорожнім рухом та ін.). Впровадження політики паролів і контролю доступу.
Оновлення та патчі	Виправлення вразливостей у програмному забезпеченні, операційних системах та інших системних компонентах, оцінка та застосування патчів безпеки, тощо.
Сегментація мережі	Поділ мережевої інфраструктури на ізольовані сегменти за допомогою віртуальних приватних мереж.
Навчання персоналу	Проведення навчальних програм з кібербезпеки для співробітників, які працюють в системі «АДС» (підвищення обізнаності про кіберзагрози та методи запобігання). Навчання персоналу розпізнавати та реагувати на підозрілу активність, фішингові атаки або незвичну поведінку системи.
Вдосконалення політик безпеки	Розробка та впровадження політик і процедур, які регулюють використання інформаційних систем для складових системи «АДС».
Резервне копіювання та відновлення	Дотримання протоколів створення резервних копіювання даних (відновлення систем після кібератаки/ інциденту). Тестування ефективності процедур відновлення та розробка планів реагування на інциденти.
Співпраця та обмін інформацією	Участь у національних та міжнародних ініціативах з обміну інформацією про кіберзагрози, вразливості та нові методи захисту. Співпраця між урядовими установами, експертами з кібербезпеки, екологічними організаціями та операторами інфраструктури автомобільних доріг.
Регулярний аудит безпеки	Проведення регулярних аудитів безпеки системи «АДС» (виявлення вразливостей, оцінка ефективності заходів безпеки та визначення шляхів покращення).
Постійний моніторинг і реагування на інциденти	Моніторинг мережевого трафіку, відстеження підозрілої активності, системні журнали та механізми виявлення аномалій. Можливість застосування штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних і виявлення аномалій, які можуть вказувати на кіберзагрози.
Використання інерціальних систем навігації	Використання інерційних систем (у разі атаки на GPS можуть працювати самостійно і видавати точне місцезнаходження). Використання технологій, що можуть виявляти спроби підробити сигнал GPS, запобігати їм, і перемикати на альтернативні джерела даних для навігації.

Література

1. Положий Д. С., Орєхов О. О. Інтелектуальні системи автомобільної безпеки на основі хмарних архітектур. Системи управління навігації та зв'язку Збірник наукових праць 4(74):91-95. DOI:10.26906/SUNZ.2023.4.091
2. Мигаль В.Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. Харків: Майдан, 2018. 262 с. URL: https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/ecbc039f-13a5-46ac-ac96-6236761e3aec/content
3. Environmental risks: cyber security andcritical industries. An environmental white paper. Environmental Risk Consulting team. URL: https://axaxl.com
4. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text
5. ДСТУ ISO/IEC 27001:2023 Інформаційна безпека, кібербезпека та захист конфіденційності. Системи керування інформаційною безпекою. Вимоги (ISO/IEC 27001:2022, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104398
6. Постанова КМУ від 19.06.2019 № 518 «Про затвердження Загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/518-2019-%D0%BF#Text
7. Сироватченко М. Правові аспекти забезпечення кібербезпеки в Україні: сучасні виклики та роль національного законодавства. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Юридичні науки».* 2024. Том 11, № 1(41). С. 314-320. URL:https://doi.org/10.23939/law2024.41.314
8. Адамова Г.В. Можливості еколого-експертно-аналітичних досліджень системи «АДС». Екологічні науки : науково-практичний журнал 2024. – № 2(53). С. 16-22. URL: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.2
9. Яременко О. І., Страхніцький Я. О. Теоретико-методичні основи забезпечення системи захисту критичної інфраструктури держави. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2022. № 1. – URL: http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=2610
10. What is Environmental Risk in Cyber Security? [Електронний ресурс]. – https://cyberinsight.co/what-is-environmental-in-cyber-security/
11. Safeguarding the environment: Cybersecurity in environmental protection URL: https://cybersecurityguide.org/industries/environmental-protection/
12. Road infrastructure operational technology cyber security primer. Prepared by Transport Canada. 2022. URL: https://tc.canada.ca/sites/default/files/2022-12/Road_Infrastructure_Operational_Technology_Cyber_Security_Primer-ENG.pdf
13. Єрменчук О.П. Основні підходи до організації захисту критичної інфраструктури в країнах Європи: досвід для України: монографія. Дніпро: Дніпроп. держ. ун-т внутр. справ, 2018. 180 с.
14. Safeguarding Critical Infrastructure In The Transportation Sector. URL: https://www.forbes.com/councils/forbestechcouncil/2024/02/02/safeguarding-critical-infrastructure-in-the-transportation-sector/

УДК 528.4:528.6
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.27

ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ: РОЛЬ ДРОНІВ, СУПУТНИКІВ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Сержантова Ю.Ю.[1], **Марченко О.І.**[2], **Зеленчук І.Д.**[3]
[1]Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майд. Свободи, 4, 61022, м. Харків
[2]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Берестейський, 37, 03056, м. Київ
[3]Уманський національний університет садівництва
вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань
y.serzhantova@karazin.ua, marchenko.helene@gmail.com, zelenchuk.id@gmail.com

У статті розглядається вплив новітніх технологічних рішень на можливості моніторингу та збереження довкілля, з особливим акцентом на дронах, супутниках та системах штучного інтелекту, в форматі того що ці інструменти стали незамінними для збору, обробки й аналізу екологічних даних, на основі яких формується комплексний підхід до моніторингу. В межах дослідження оцінено переваги дронів у екологічному моніторингу, коли їхня висока мобільність, доступ до важкодоступних територій та можливість збору даних у реальному часі дозволяє швидко і надійно забезпечувати точний моніторинг навіть у складних географічних умовах, як-от гірські райони чи водні басейни. Завдяки сенсорам і високоякісним камерам дрони визначено як найбільш ефективний засіб для своєчасного виявлення та реагування на екологічні загрози. Супутникові технології, як обґрунтовано в дослідженні, є критично важливими для глобального моніторингу. Високоякісні цифрові знімки, які надають супутники, дозволяють не лише стежити за змінами у довкіллі, а й аналізувати кліматичні процеси, що є необхідним компонентом для створення довгострокових екологічних прогнозів. Отримувані цифрові дані формують основу для стратегій адаптації до кліматичних змін, допомагаючи приймати обґрунтовані рішення для збереження природного середовища. В межах дослідження було розроблено концепцію застосування штучного інтелекту для ефективної обробки великих обсягів екологічних даних. Алгоритми машинного навчання демонструють здатність прогнозувати кліматичні зміни, моделювати динаміку екосистем і виявляти загрози для біорізноманіття. Ефективність автоматизованого моніторингу за допомогою ШІ підтверджується його здатністю відстежувати зміни в популяціях рослин і тварин, сприяючи таким чином збереженню видів та запобіганню незаконному полюванню. Загалом дослідження підтвердило, що комплексне поєднання апаратного забезпечення дронів, супутників і технологій штучного інтелекту має здатність значно підвищити якість проведення моніторингу навколишнього середовища. Цей фактор забезпечує своєчасне виявлення ряду загроз, формує практику оперативного реагування та стає базою для стратегій сталого розвитку й охорони природних ресурсів для нащадків. *Ключові слова:* моніторинг довкілля, екологічний моніторинг, дрони, супутникові технології, штучний інтелект, цифрові дані, екосистема, ландшафти, компоненти ландшафту.

Using the latest technologies for environmental monitoring and preservation: the role of drones, satellites and artificial intelligence. Serzhantova Yu., Marchenko O., Zelenchuk I.

The article examines the impact of modern technological innovations on environmental monitoring and preservation. The main focus is on the use of drones, satellites and systems based on artificial intelligence to collect, process and analyze environmental data. A systematic approach to the integration of these technologies to create complex monitoring systems has been developed. The defining advantages of drones for environmental monitoring were assessed in detail. In particular, drones are characterized by mobility, the ability to reach hard-to-reach areas and the ability to collect data in real time. Thanks to built-in sensors and high-quality cameras, drones provide accurate monitoring even in mountainous areas and water basins, which facilitates rapid response to environmental threats. The importance of satellite technology has been substantiated as a critical tool for global monitoring. Satellites provide access to high-resolution digital images that help detect changes in the environment, analyze climate processes, and create long-term forecasts. Such data are the basis for the development of strategies for adaptation to climate change. The concept of using artificial intelligence to process large volumes of environmental data was also developed. Machine learning algorithms can predict climate change, model ecosystems, and identify potential threats to biodiversity. The effectiveness of artificial intelligence in conducting automated monitoring and detecting changes in plant and animal populations, which contributes to the preservation of species and prevents illegal hunting, is evaluated. As a result, it is substantiated that the integration of drones, satellites and artificial intelligence significantly increases the quality of environmental monitoring. The integrated use of these technologies allows for timely detection of threats, providing prompt response and contributing to the preservation of natural resources, supporting the sustainable development of environmental security and the preservation of natural resources for future generations. *Key words:* environmental monitoring, ecological monitoring, drones, satellite technologies, artificial intelligence, digital data, ecosystem, landscapes, landscape components.

Постановка проблеми. Питання оцінки екологічної ситуації в світі характеризується складністю та багатогранністю викликів, з якими стикається людство на сучасному етапі. Традиційні методи моніторингу довкілля мають певні обмеження саме через свою недостатню оперативність, високі витрати та

складність доступу до віддалених або важкодоступних географічних регіонів і територій. І саме в цьому напрямку використання новітніх технологій, таких як дрони, супутникові сервіси і технології та штучний інтелект, стають провідною і новою складовою сучасної екологічної практики та забезпечення екологічного моніторингу довкілля.

Актуальність дослідження. Актуальність полягає в тому, що інтеграція таких технологій як дрони, супутникові технології та штучний інтелект в області проведення екологічного моніторингу надаватиме нових перспектив для своєчасного виявлення і оцінки екологічних загроз, прийняття ефективних заходів щодо їх нівелювання і зменшення тиску. Широке розповсюдження цих цифрових технологій має забезпечити в майбутньому значне зростання рівня ефективності охорони довкілля, гарантувати як розробку так і реалізацію стратегії територіального сталого розвитку, які будуть адаптовані до потреб конкретних географічних регіонів та їх екосистем.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дрони, завдячуючи своїй мобільності та здатності збирати високоточні дані в реальному часі, формують оперативну і технічну можливість здійснювати моніторинг лісів, водних ресурсів, сільськогосподарських угідь та інших природних об'єктів, мінімізуючи людське втручання та апаратні ризики. В свою чергу, супутникові технології здатні забезпечити вже глобальне інформаційне охоплення та можливість довготривалих спостережень, що принципово для відстеження поточних процесів кліматичних змін та виявлення різних осередків забруднень у масштабах великих географічних територій. Технологія використання штучного інтелекту, в своєму амплуа, надає можливість обробляти та аналізувати великі обсяги геоінформаційних даних, формувати прогнози та виявляти закономірності в екологічному форматі, які недоступні для людського сприйняття і виконання [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття наукові дослідження, присвячені моніторингу та збереженню довкілля за допомогою технологій, набули особливої актуальності. У науковому доробку ми можемо виділити три основні напрями досліджень щодо зв'язку технологій і охорони навколишнього середовища, і це застосування дронів, масштабування використання супутникових технологій та інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у збір, обробку і групування екологічних даних про стан ландшафтів.

Такі дослідники як: Андрєєв С., Жилін В. [1], Бондар Д., Гурник А. [4], зазначають, що дрони дозволяють проводити детальну аерофотозйомку та збирати дані про стан лісових масивів, водних ресурсів та інших природних об'єктів. Багато наукових праць акцентують увагу на можливості дронів досягати важкодоступних територій та проводити спостереження з високою точністю у реальному часі. Згідно з дослідженнями Чабанюк В., Поливач К. [12], супутники дозволяють отримувати дані з великою роздільною здатністю, що сприяє вивченню кліматичних змін, забруднення повітря та водних ресурсів. В ряді нових і більш сучасних наукових робіт від вчених Бхунія Г. С., Шіт П. К., Сенгупта Д. [11], можна підкреслити, що самі супутникові спостереження міцно зайняли свою частку для проведення комплексного аналізу різноманітних змін у довкіллі.

Штучний інтелект відіграє особливу роль в проведенні поточних екологічних досліджень, особливо в обробці та аналізі великих обсягів даних. За свідченнями таких науковців, як то Ду Х., Тан Ю., Гоу Ю. та Хуанг Дж. [15], алгоритми машинного навчання здатні розкривати складні екологічні взаємозв'язки та прогнозувати розвиток кліматичних процесів. Ряд перспективних досліджень демонструє, як ШІ успішно використовується для моделювання екосистем, а також для розробки рішень, спрямованих на збереження біорізноманіття та стану ландшафтів.

Інтеграція цифрових технологій в сфері екологічного моніторингу, стала предметом наукових досліджень, так достатній аналіз, проведений Гематуліним В., Камсінгом П., Тортікою П., Сомджітом Т., Фісаннупавонгом Т. і Джараваном Т. [17], підкреслює, що об'єднання дронів, супутників і алгоритмів ШІ дозволить в подальшому створювати комплексні системи моніторингу, які істотно підвищують точність і дієвість екологічного аналізу. Такі практичні підходи можуть стати більш ефективним інструментом не тільки для виявлення потенційних загроз, але й для розробки стратегій збереження та відновлення природних ресурсів, що має вирішальне значення для збереження природного середовища та екологічної стабільності.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Таким чином, проведений огляд наукових публікацій і поширеної інформації підтверджує значущість подальшого використання новітніх технологій для моніторингу та збереження довкілля. Інноваційні підходи дозволятимуть і далі покращувати процеси збору та аналізу геоінформаційних даних, що є критично важливим для прийняття ефективних екологічних рішень та збереження довкілля для майбутніх поколінь.

Метою дослідження є визначення ефективних підходів до використання новітніх технологій: дронів, супутників і штучного інтелекту – для моніторингу та збереження навколишнього середовища.

Новизна. Дослідження пропонує комплексний аналіз використання дронів, супутників та штучного інтелекту (ШІ) для моніторингу і збереження навколишнього середовища, що є новим підходом у поєднанні цих технологій. Новизна дослідження полягає в системному інтегруванні сучасних технологій, що дозволяє оптимізувати збір, обробку та аналіз екологічних даних.

Загальнонаукове значення дослідження полягає в його внеску до міждисциплінарних досліджень у сфері екології, технологій і штучного інтелекту. Запропоновані підходи щодо інтеграції дронів, супутникових даних та ШІ сприяє розвитку сучасних підходів до сталого управління природними ресурсами. Цей підхід може бути адаптований для різних екологічних умов, зокрема для прогнозування кліматичних змін, аналізу екосистем і розробки стратегій збереження біорізноманіття, що робить його цінним для наукової спільноти, урядових та екологічних інститутів.

Виклад основного матеріалу. Сучасні технологічні інновації вже у більшості випадків відіграють вирішальну роль у моніторингу та збереженні екології і навколишнього середовища. Серед найважливіших і найбільш сучасних інструментів, що використовуються для цього, ми виділяємо дрони, супутники і супутникові сервіси та системи на основі моніторингу на базі штучного інтелекту.

1. Дрони і нові можливості для екологічного моніторингу. Серед випереджаючих технічних рішень з високим рівнем перспективності використання ми відзначаємо саме технологію дронів, або безпілотних літальних апаратів, які здатні забезпечувати якісний, точний і оперативний режим збору широких геоінформаційних даних. Дрони вже мають ряд безперечних технологічних переваг, які роблять їх незамінним інструментом для проведення складного екологічного моніторингу. Так, по-перше, це мобільність дронів, яка дозволяє їм швидко пересуватися між різними ділянками, збирати задані види даних в масштабі або програмі охоплення великих територій що далі забезпечує більш детальний інформаційний режим роботи, на відміну від традиційних методів моніторингу компонентів ландшафту [16, с. 259].

По-друге, дрони здатні легко досягати важкодоступних місць, де неможливо використовувати інші більш прості (або більш дешеві) методи спостереження, що автоматично формує умову для збирання різнотипної інформації про стан заданих екосистем, які розташовані у віддалених або небезпечних зонах. Завдячуючи своїм компактним розмірам та легкості керування, дрони здатні тривалий час працювати у важких кліматичних чи погодних умовах, включаючи гірські регіони, ліси та різні водні басейни. І по-третє, дрони мають технологічну можливість для широкого збору даних у режимі реального часу, що сприяє швидкому реагуванню на погодні і іноді техногенні загрози. Вбудовані сенсори та камери високої роздільної здатності забезпечують високий рівень якості зйомки відео і фото з наданням цифрового формату зображення виділеної території [3, с. 59; 7]. Зібрані цифрові дані можуть передаватися безпосередньо до центру моніторингу для негайного екологічного або геоінформаційного аналізу (рис. 1).

Дрони доволі ефективно також застосовуються для моніторингу стану лісових масивів, що є важливою складовою запобігання лісовим пожежам і знищенню флори. Завдяки своїм інфрачервоним камерам, дрони здатні оперативно і чітко виявляти осередки підвищеної температури та потенційні джерела займання, що надалі дає змогу швидко локалізувати небезпеку та вжити заходів для її усунення до початку масштабної лісової пожежі [9, с. 414]. Такий варіант розвитку подій дійсно значно скорочує екологічні ризики та знижує потенційні збитки, які можуть бути завдані окресленим природним екосистемам. Дрони можуть бути використані і для комплексного відстеження змін у біорізноманітті, коли завдячуючи технічному рішенню проведення

Рис. 1. Колаж цифрових знімків ландшафтів отриманих з використанням дрону [13]

детальні аерофотозйомки, вони допомагають визначати наявні зміни у рослинних та тваринних популяціях, що вкрай важливо для системного моніторингу зникаючих видів тварин та захисту природних середовищ їхнього проживання [1, с. 8].

Дрони набули значної цінності і для здійснення моніторингу стану водних ресурсів, коли за їхньою участю дослідники можуть на високому рівні оцінювати стан річок, озер та морських узбережь. Все це можливо коли працюють вбудовані датчики, які здатні вимірювати показники якості води, такі як рівень забруднення, температура води та наявність шкідливих речовин, що формує дослідницьку можливість отримати ранні результати нагромадження проблем, таких як забруднення нафтою чи відходами, що дозволяє ургентно реагувати на екологічні загрози.

2. Супутникові технології у моніторингу довкілля. Сучасні супутникові технології дійсно здатні забезпечуючи безпрецедентні можливості для збору геоданих про стан і зміни нашої планети. Їхня здатність забезпечувати глобальне охоплення, високу цифрову роздільну здатність та довготривале спостереження робить супутникові системи невід'ємною частиною сучасної екологічної практики. Супутники а їх програмне оснащення вже створили модель глобального і локального спостереження за віддаленими зонами і територіями нашої планети, включаючи океани, полярні зони та густонаселені міські території. Такі технічні можливості – це якісні і комплексні цифрові дані про стан атмосфери, стан лісових масивів, всіх водних ресурсів та інших базових екосистем [2, с. 94].

Висока роздільна здатність супутникових знімків дає змогу розпізнавати дрібні деталі поверхні Землі, що сприяє точному виявленню проблем, порушень і змін у довкіллі, крім того, фахівці мають технічну змогу відстежувати динаміку розвитку тих або інших природних явищ, таких як вирубка лісів або розширення урбанізованих територій. Завдяки довготривалому спостереженню можна аналізувати зміни протягом років або навіть десятиліть, що є визначальним фактором для розуміння довгострокових екологічних тенденцій [18, с. 51]. Супутники це ключ у дослідженні кліматичних змін, вони вміють фіксувати температурні коливання, зміни в атмосферних процесах, рух льодовиків та рівень океанів, що в подальшому може бути використано для створення кліматичної моделі, отримання прогнозів щодо змін клімату та стати джерелом інформації для розробки ефективні стратегії адаптації (рис. 2) [10].

Супутники та їх технічне оснащення дають можливість визначати рівень забруднення повітря шляхом аналізу концентрації шкідливих речовин, таких як оксиди азоту, діоксид вуглецю та інші забруднювачі. Використання супутників та цифрова зйомка це і виявлення змін в ландшафті, що відбуваються через антропогенні чи природні фактори, також і процеси розширення міст, знищення лісів та зміни у сільськогосподарських угіддях [5, с. 393].

3. Використання штучного інтелекту для аналізу та обробки екологічних даних. Штучний інтелект (ШІ) без перебільшення вже зайняв провідну сходинку в екологічному дослідженні та оцінюванні стану довкілля. Завдяки своїм потужним інструментам обробки великих обсягів інформації, ШІ забезпечує прогнозування та моделювання, що допомагають передбачати зміни клімату та розробляти заходи

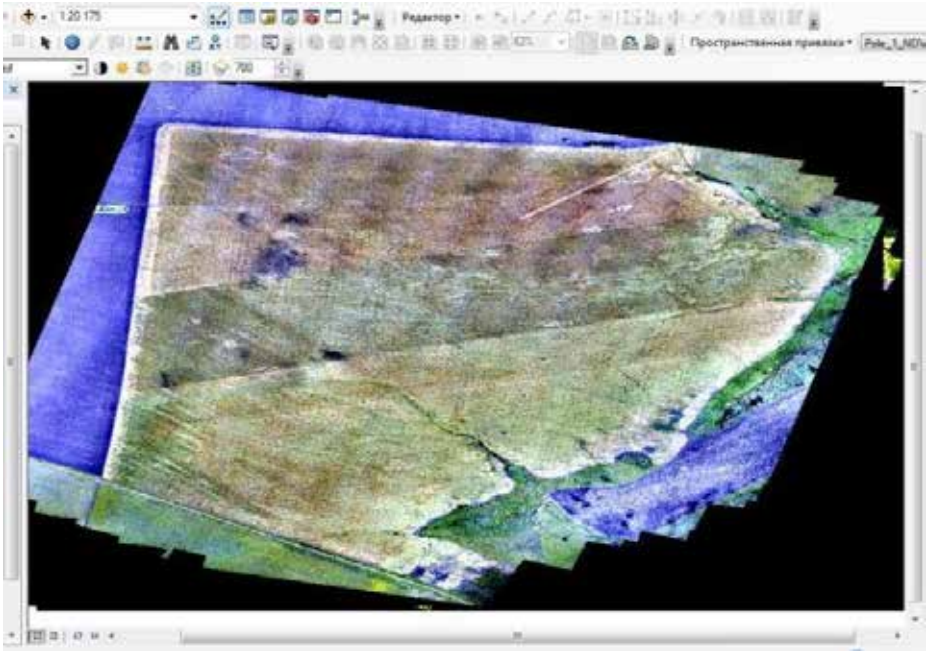


Рис. 2. Супутниковий знімок виділеної території та його шарова обробка [19]

і програми направлені на збереження природних ресурсів.

Технології штучного інтелекту інтегровані в екологічний моніторинг таким чином, що дозволяють створювати високоточні цифрові моделі, що відображають складні кліматичні процеси та допомагають прогнозувати і майбутні кліматичні зміни. Використання алгоритмів машинного навчання надало технічної можливості провадити аналіз розсіяних даних з різних джерел і точок екологічних спостережень, таких як супутники, метеорологічні станції та інші сенсори. Алгоритми ШІ допомагають будувати прогнози на основі історичних геоданих та визначати вплив певних факторів (природнього і антропогенного походження) на сучасні кліматичні трансформації.

Цифрові моделі оцінки, які можуть бути створені за допомогою ШІ, вміють передбачати / прогнозувати температурні коливання і амплітуди, формувати реалістичні карти рівня і щільності опадів для певних територій, прогнозувати траєкторії руху повітряних мас та ряд інших кліматичних параметрів (рис. 3).

Подібні цифрові прогнози є точним і ефективним джерелом геокліматичної інформації для урядів, міжнародних організацій, з метою прийняття обґрунтованих рішень щодо заходів для пом'якшення наслідків зміни клімату, зокрема щодо адаптації інфраструктури та захисту населення від стихійних лих.

Сьогодні ШІ вже досить активно використовується для моніторингу біорізноманіття та виявлення загроз для наявних природних екосистем. Застосування алгоритмів комп'ютерного зору дозволяє автоматично ідентифікувати види рослин і тварин на зображеннях, що надходять від дронів або супутників, що в свою чергу, значно прискорює програмні процеси збору даних та мінімізує погрішності від людського фактора у проведенні екологічних досліджень, стану ландшафтів визначення якості компонентва ландшафту [6, с. 44]. Наприклад, нові алгоритми ШІ допомагають відстежувати міграцію тварин та зміну їх чисельності, що є ключовим для вжиття заходів зі збереження видів, також і аналіз даних із сенсорів та інших джерел допомагає під час досліджень, виявляти потенційні загрози, такі як незаконне полювання або вирубка лісів, і вчасно реагувати або вживати необхідні заходи (рис. 4).

Ще одним фактором на користь використання ШІ, є його залучення для оптимізації процесів відновлення деградованих екосистем, бо саме завдячуючи аналізу великих масивів даних про ґрунти, кліматичні умови та інші фактори, ШІ вже здатний на високому рівні якості, рекомендувати до впровадження ефективні методи відновлення екосистем, зокрема підбір рослин для рекультивації земель або польові заходи щодо зменшення масштабів і розповзання ерозії.

Спільне використання і корпорація дронів, супутників та ШІ інтегрує значні локальні техніко-технологічні рішення від кожного з них з метою переходу на новий рівень проведення моніторингу навколишнього середовища і екологічних станів (табл. 1).

Таким чином, інтеграція дронів, супутників та ШІ створює можливості для підвищення якості моніторингу довкілля та оперативності екологічного управління. Наявні переваги використання цих технологій включають охоплення великих територій, точність аналізу, своєчасне виявлення змін та запобігання негативним екологічним наслідкам, що сприяє сталому розвитку та збереженню всього біорізноманіття.

Головні висновки. В дослідженні ретельно проаналізовано вплив новітніх технологічних інновацій

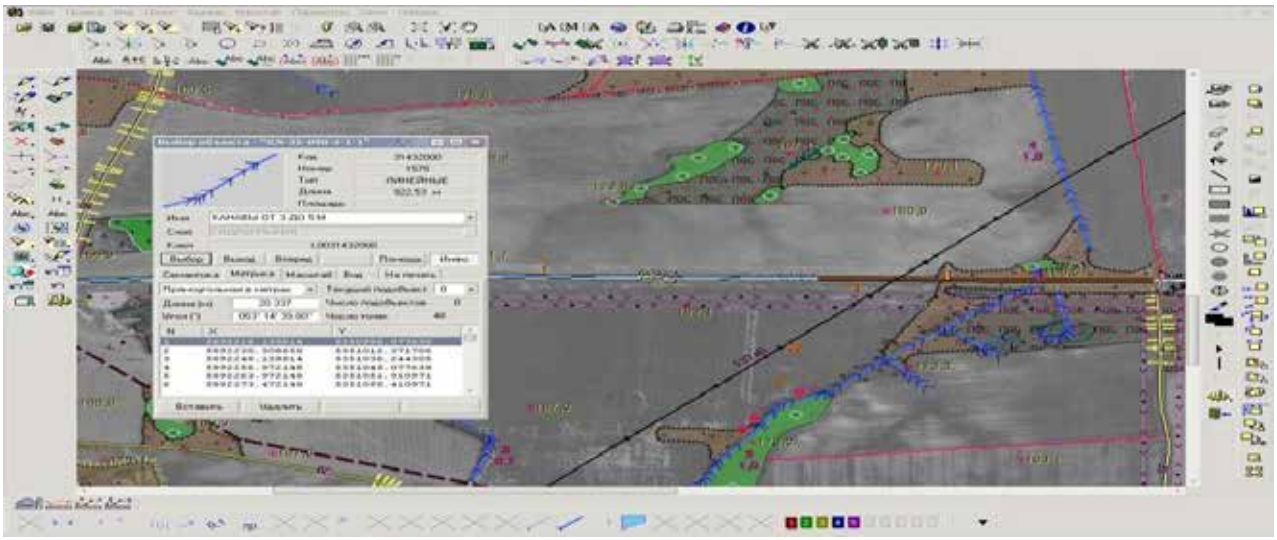


Рис. 3. Побудова моделі програмної моделі оцифрованої території, виділення компонентів ландшафту за допомогою використання ШІ [20]

Рис. 4. Приклад поєднання зйомки лісового масиву за допомогою дрону та подальшої обробки нейромережею для отримання цифрової моделі [14]

Таблиця 1

Організаційні фактори і наслідки проведення інтеграція дронів, супутників та ШІ для моніторингу стану довкілля

Спосіб інтеграції	Отримувані цифрові дані	Якість моніторингу довкілля	Перевага використання	Екологічний ефект
Дрони та супутники	Аерофотозйомки, супутникові знімки	Висока	Охоплення великих територій	Швидке виявлення змін
Дрони та ШІ	Відео, зображення високої точності	Дуже висока	Точність і швидкість аналізу	Попередження катастроф
Супутники та ШІ	Дані про атмосферу та клімат	Висока	Аналіз великих обсягів даних	Довготривалий аналіз
Дрони, супутники та ШІ	Комплексні екологічні карти	Найвища	Комплексний підхід	Максимізація точності
Дрони з датчиками та ШІ	Датчики температури, вологості	Дуже висока	Реальний час збору даних	Оперативна реакція

Джерело: побудовано автором

на моніторинг та охорону довкілля, і приділено особливу увагу можливостям, які відкривають дрони та їх програмне забезпечення, супутникові технології і апаратні системи впровадження штучного інтелекту. Запропоновані техніко-організаційні підходи до застосування дронів в екологічному моніторингу показали свою мобільність та здатність оперативно охоплювати віддалені та важкодоступні райони, водночас здійснюючи збір необхідних геоінформаційних даних у режимі реального часу. Такі аспекти системно забезпечують нарощення потенціалу своєчасного реагування на екологічні загрози та запобігання можливим масштабним екологічним катастрофам.

Дослідження висвітлило унікальні переваги супутникових технологій, які охоплюють масштабні території поверхні землі і паралельно дозволяють здійснювати тривалий моніторинг довкілля та забезпечувати отримання високоточних цифрових знімків ландшафтів або окремих компонентів ландшафту.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження підтвердили, що інтеграція дронових технологій, супутникового супроводження та сервісу в тандемі з ШІ здатні підвищити рівень якості здійснення виділеного і комплексного територіального екологічного моніторингу. Формат інтеграції новітніх технологій моніторингу дозволяє не лише своєчасно виявляти потенційні екологічні загрози, а й забезпечувати швидку організаційну реакцію і формувати попереджувальні заходи щодо захисту довкілля. Отримані результати мають потенціал для застосування у вдосконаленні стратегій екологічного управління та охорони природних ресурсів.

Література

1. Андрєєв С., Жилін В. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2019. № 1. С. 3-16. 10.26906/SUNZ.2019.1.003.
2. Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Сластін С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. Розробка методики створення і оновлення картографічної основи з використанням космічних знімків від супутників «SUPER VIEW-1». Екологічна безпека та природокористування. 2022. № 41(1). с. 89–101. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101
3. Відбудова для розвитку: зарубіжний досвід та українські перспективи: міжнародна колективна монографія / [редколегія, голова – д.е.н. В. В. Небрат]; НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогнозув. НАН України». К., 2023. 571 с.
4. Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту: монографія / Д.В. Бондар, А.В. Гурник, А.О. Литовченко, В.В. Хижняк, В.Л. Шевченко, Д.М. Ядченко. Київ, 2022. 312 с.
5. Згурська О., Корчинська О., Рубель К., Кубів С., Тарасюк А., Головченко О. Цифровізація національного агропромислового комплексу: нові виклики, реалії та перспективи. Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice. 2022. № 6(47). с. 388–399. https://doi.org/10.55643/fcaptp.6.47.2022.3929
6. Кубрак Ю., Дмитро Плечистий Д., Толстой І. формування комплексної системи стеження сучасних БПЛА на базі штучного інтелекту. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2022. Випуск 2. (133). С. 41-47. DOI https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.2.5.
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. Македон В. В., Холод О. Г., Ярмоленко Л. І. Модель оцінки конкурентоспроможності високотехнологічних підприємств на засадах формування ключових компетенцій. Академічний огляд. 2023. № 2 (59). С. 75-89. DOI: 10.32342/2074-5354-2023-2-59-5.
9. Чувпило В., Шевчук С., Гапон С., Нагорна С., Куришко Р. Кадастрові системи та землеустрій у містобудівному проектуванні: оптимізація землекористування та міського планування. Містобудування та територіальне планування. 2023. №(84). С. 407–423. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423.
10. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство : монографія. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с.
11. Bhunia G. S., Shit P. K., Sengupta D. Free-open access geospatial data and tools for forest resources management. In: Spatial modeling in forest resources management: rural livelihood and sustainable development. Springer, Cham, 2021. pp. 651–675. DOI: 10.1007/978-3-030-56542-8_28.
12. Chabaniuk V., Polyvach K. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. Cybernetics and Computer Engineering. 2020. No. 3(201). pp. 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005
13. Digital Outcrop Modelling and Geological Mapping: Shaping the Future of Geology. URL: https://www.vrgeoscience.com/shaping-the-future-of-geology/
14. Fey C., Rechberger C., Voit K. Remote sensing-based deformation monitoring and geological characterisation of an active deep-seated rock slide (Tellakopf/Cima di Tella, South Tyrol, Italy). Bull Eng Geol Environ. 2023. № 82. pp. 85. https://doi.org/10.1007/s10064-023-03101-x.
15. Du X.,Tang Y.,GouY., Huang Z. Data Processing and Encryption in UAV Radar. 2021 IEEE 4th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC). 2021. 1445-1450. DOI: 10.1109/IMCEC51613.2021.9482373
16. Hablovskyi B., Hablovska N., Shtohryn L., Kasiyanchuk D., Kononenko M. The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. Journal of Ecological Engineering. 2023. № 24(7). pp. 254-262. https://doi.org/10.12911/22998993/164753
17. Hematulin W., Kamsing P., Torteeka P., Somjit T, Phisannupawong T., Jarawan T. Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters. Drones. 2023. № 7. P. 142.
18. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunenko 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
19. U.S. Geological Survey (USGS). All Maps. URL: https://www.usgs.gov/products/maps/all-maps
20. Your Guide to Computer Vision in Drone Technology. URL: https://keymakr.com/blog/computer-visionin-drone-technology

УДК 579.262:665.7
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.28

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ БІОАКТИВОВАНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

Хохлов А.В., Хохлова Л.Й.
Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії аграрних наук України
вул. Генерала Наумова, 13, 03164, м. Київ
techsorb@gmail.com, ispe@ispe.kiev.ua, khokhlova.lyudmila@gmail.com

На сучасному етапі історичну перспективу людства визначає екологічний фактор. Серед численних аварійних ситуацій з важкими екологічними наслідками є аварійні розливи нафти та нафтопродуктів. Особливості очищення ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами, пов'язані зі здатністю ґрунту адсорбувати та накопичувати забруднюючі речовини. Мікробіологічні технології є перспективним напрямком в очищенні ґрунтів від забруднення нафтою. Рішенням проблем очищення є створення біосорбційних композитів, в яких мікроорганізми-деструктори нафти закріплюються на носіях, сорбційно-активних по відношенню до забруднювача та мікроорганізмів-деструкторів. Запропонована технологія біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів шляхом використання рослинних композитів, біоактивованих мікроорганізмами деструкторами нафти з високою активністю, що дозволяє довести залишковий вміст нафти до санітарного рівня. Розроблено принципи спільного використання рослинних сорбційних матеріалів і мікроорганізмів-деструкторів для очищення ґрунту, забрудненого нафтою, встановлено параметрів одержання біосорбційного композиту та його застосування в біотехнології. Вивчено закономірності взаємодії сорбційної матриці з іммобілізованими мікроорганізмами деструкторами нафти. Запропоновано композит на основі відходів сої (шрот), біоактивованих природним комплексом нафтоокислюючих мікроорганізмів широкого спектру дії та ріпаковий лецитин як ефективний емульгатор. Для вибору штамів нафтоокислюючих мікроорганізмів (НОМ) проведено відбір проб з нафтозабруднених грунтів, осадів стічних та промислових вод. Виділено чисті культури вуглеводнеокислюючих бактерій, здійснено культивування та адаптація НОМ на щільному живильному середовищі. з нафтою. Проведеними дослідженнями на ґрунтах різного типу з нафтозабрудненням 40% показано зменшення концентрації забруднення до 5% через 120 діб після обробки біоактивованим композитом. Внесення мікроорганізмів деструкторів, які руйнують нафтові забруднення, активізує процеси самоочищення ґрунту. *Ключові слова:* ґрунти, нафта, мікроорганізми-деструктори, соєвий шрот, лецитин, деструкція.

The use of vegetable bioactivated composites for cleaning oil-contaminated soils. Khokhlov A., Khokhlova L.
At the present stage, the historical perspective of mankind is determined by the ecological factor. Accidental spills of oil and oil products are among the numerous emergency situations with serious environmental consequences. Features of cleaning soils contaminated with oil and oil products are related to the soil's ability to adsorb and accumulate pollutants. Microbiological technologies are a promising direction in cleaning soils from oil pollution. The solution to cleaning problems is the creation of biosorption composites, in which oil-destroying microorganisms are fixed on carriers that are sorption-active in relation to the pollutant and destructive microorganisms. The proposed technology of bioremediation of oil-contaminated soils by using plant composites bioactivated by microorganisms with high activity of oil destroyers, which allows to bring the residual oil content to a sanitary level. The principles of the joint use of plant sorption materials and destructive microorganisms for the cleaning of oil-contaminated soil have been developed, the parameters of obtaining a biosorption composite and its use in biotechnology have been established. The regularities of the interaction of the sorption matrix with the microorganisms immobilized by the oil destructors were studied. A composite based on soybean waste (meal), bioactivated by a natural complex of oil-oxidizing microorganisms of a wide range of action and rapeseed lecithin as an effective emulsifier is proposed. For the selection of strains of oil-oxidizing microorganisms (NOM), samples were taken from oil-contaminated soils, sewage sludge, and industrial waters. Pure cultures of hydrocarbon-oxidizing bacteria were isolated, cultivation and adaptation of NOM on a dense nutrient medium was carried out. with oil. Conducted research on soils of various types with 40% oil pollution showed a decrease in the concentration of pollution to 5% 120 days after treatment with a bioactivated composite. The introduction of destructor microorganisms that destroy oil pollution activates the processes of soil self-cleaning. *Key words:* soils, oil, destructive microorganisms, soybean meal, lecithin, destruction.

Постановка проблеми. Особливості очищення ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами, пов'язані зі здатністю ґрунту адсорбувати й накопичувати забруднюючі речовини. Методи очищення залежать від рівня забруднення ґрунтів та для різних регіонів мають специфічні відмінності. Впровадження новітніх технологій очищення та відновлення нафтозабруднених ґрунтів мають першорядне значення для економічного і соціального розвитку країни. Перспективним напрямком очищення ґрунтів від нафтових забруднень є мікробіологічні технології. Актуальною є розробка біоактивних сорбційних матеріалів на основі сировини природного походження, біоактивованих природним комплексом нафтоокислюючих мікроорганізмів широкого спектру дії. Внесення мікроорганізмів деструкторів, які руйнують нафтові забруднення, активізує процеси самоочищення ґрунту, коли активність природного біоценозу низька. Створення біологічно активних, екологічно чистих сорбційних композитів на основі рослинної сировини вимагає вивчення закономірностей взає-

модії сорбційної матриці з іммобілізованими мікроорганізмами деструкторами нафти.

Актуальність досліджень. Актуальним є спільне рішення двох завдань: екологічної – утилізація відходів рослинництва і технологічної – виробництво ефективних біосорбентів для вирішення екологічних завдань. Метою досліджень було дослідити можливість отримання екологічного біоактивного сорбційного композиту для очищення нафтозабруднених ґрунтів, оцінити ефективність дії композиту. Розроблення принципів спільного використання рослинних сорбційних матеріалів і мікроорганізмів-деструкторів для очищення ґрунту, забрудненого нафтою, встановлення параметрів одержання біосорбційного композиту та його застосування в біотехнології сприятиме ефективному та якісному відновленню нафтозабруднених ґрунтів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нафта є складним і стійким забруднювачем. Є різноманітні технології та методи очищення ґрунтів від забруднення нафтою. Очищення забруднених однорідних і різнорідних ґрунтів шляхом промивання їх водою не технологічне та викликає сумніви [1]. Фізичне видалення ґрунту є найдавнішим методом рекультивації забрудненого ґрунту та передбачає повне видалення забруднень і відносно швидке очищення певної забрудненої ділянки ґрунту [2]. До недоліків можна віднести те, що забруднення просто переміщуються в інше місце, де необхідно контролювати стан забрудненого ґрунту. Питання мікробіологічної деструкції нафтозабруднення ґрунтів становлять значну частину зарубіжних і вітчизняних досліджень у галузі ґрунтової мікробіології [3-5]. Вуглеводні нафти доступні для засвоєння тільки спеціалізованим бактеріям. Така вибірковість щодо нафти лягла в основу бактеріальних методів детоксикації нафтового забруднення [6; 7]. Природний біокомплекс (природний біоценоз), що існує в ґрунті, активний там, де більше бактеріальних клітин утримується на ґрунтовій поверхні. Показано [8; 9], що введення в ґрунт адаптованих мікроорганізмів пришвидшує розкладання нафти. Іммобілізовані на різних сорбційних матеріалах мікроорганізми мають більший потенціал руйнівної дії. Іммобілізація підвищує життєздатність клітин мікроорганізму. Тому створення й дослідження біоактивних сорбційних композитів, що сорбують рухливий забруднювач (нафту) та розкладають нафту в локалізованому стані, є важливим для ґрунтів. Вибір оптимальних адсорбентів для іммобілізації мікроорганізмів може значно збільшити ефект їх використання. У значній кількості біосорбентів, відмінною рисою яких є різноманітність використовуваних носіїв (сорбентів) та іммобілізованих на них культур мікроорганізмів. Рослинні відходи – перспективний відновлюваний природний матеріал для створення біоактивних екосорбентів. Якість і деструктивна активність біоактивних композитів залежить не тільки від вибору типу носія, але і в значній мірі від деструктивної здатності мікроорганізмів. Мікробні культури, виділені з природних об'єктів різних кліматичних районів, активно утилізують нафту і нафтопродукти різноманітного складу, в тому числі важкі фракції нафти. Природний консорціум ефективних нафтоокислюючих мікроорганізмів включає аеробні та мікроаерофільні різновиди, які мають подібний тип динамічних відносин. У природних умовах відбувається акумуляція позитивних властивостей об'єднаних мікроорганізмів.

Мета роботи. Метою дослідження є розроблення ефективної технології очищення ґрунтів від застарілих нафтових забруднень за допомогою спеціалізованого рослинного біоактивованого композиту. Для досягнення цієї мети потрібно застосовано відходи сої (шрот), біоактивовані природним комплексом нафтоокислюючих мікроорганізмів широкого спектру дії та ріпаковий лецитин як ефективний емульгатор. Виділити із забруднених нафтою природних об'єктів консорціум мікроорганізмів-деструкторів вуглеводнів широкого спектра дії, який володіє синергізмом і є стійким під час повернення в навколишнє середовище; визначити ефективність біосорбційного композиту на зразках ґрунту, забрудненого нафтопродуктами різного походження. Комплексне дослідження сорбційних, деструктивних (щодо нафтозабруднення) та інших фізико-хімічних властивостей біологічно модифікованих композиту. Використанням природної, екологічно чистої сировини розробити активний екологічний композит – детоксикант.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктами дослідження були: відходи сої (шрот), природний комплекс нафтоокислюючих мікроорганізмів (НОМ) широкого спектру дії та ріпаковий лецитин як ефективний емульгатор. Для вибору штамів НОМ проводився відбір проб з нафтозабруднених ґрунтів, осадів стічних та промислових вод, виділялися чисті культури вуглеводнеокислюючих бактерій, проводили культивування їх на щільному живильному середовищі. Культивування та адаптація НОМ проводилася на поживному середовищі з нафтою складу (г/см^3): Na_2CO_3 – 0,1; $CaCl_2$ – 0,01; $MnSO_4$ _ 0,02; NaCl – 3,0; Na_2HPO_4 – 1,5; KH_2PO_4 – 1,0; K_2HPO_4 – 1,0; поживний агар для культивування МО – 20,0 г; нафту – 1см^3, вода дистильована до 1 дм^3.

НОМ група природного походження дуже різноманітна. Як показали дослідження, найбільш активні бактеріальні види були віднесені до класів: *Pseudomonas, Arthrobacter, Rhodococcus, Acinetobacter, Flavobacterium, Corynebacterium, Xanthomonas, Alcaligenes, Nocardia, Brevibacterium, Candida, Mycobacterium, Beijerinkia, Bacillus, Enterobacteriaceae, Klebsiella, Micrococcus, Sphaerotilus, Streptomyces.* Вони характеризуються здатністю до засвоєння широкого спектру вуглеводнів, включаючи і ароматичні, мають високу швид-

кість зростання. При модифікуванні соєвого шроту використовували мікробну суспензію з НОМ, що з'явилися на п'ятий день (рис. 1), що цілком виправдано, тому що невисокі деструктивні показники компенсуються високою інтенсивністю росту. Колонії мікроорганізмів, що з'явилися на десятий день, в залежності від виду культури, володіють середніми показниками при зростанні. В цій асоціації присутні в основному активні представники нафтодеструкторів, добре утилізують як легкі, так і середні фракції нафти. Групи НОМ, що з'явилися на п'ятнадцятий день, мають повільний темп росту, свої деструктивні властивості проявляють на важких фракціях нафти, які важко піддаються біологічному розкладу. Адаптація мікробної суміші до різних умов (температура, хімічний склад нафти і ін.) генерує біодеструктівную ефективність всієї групи мікроорганізмів в широкому діапазоні температур. З цією метою інкубація найбільш активної групи НОМ велася при різних температурах +5°С, +15°С, +25°С і +35°С.

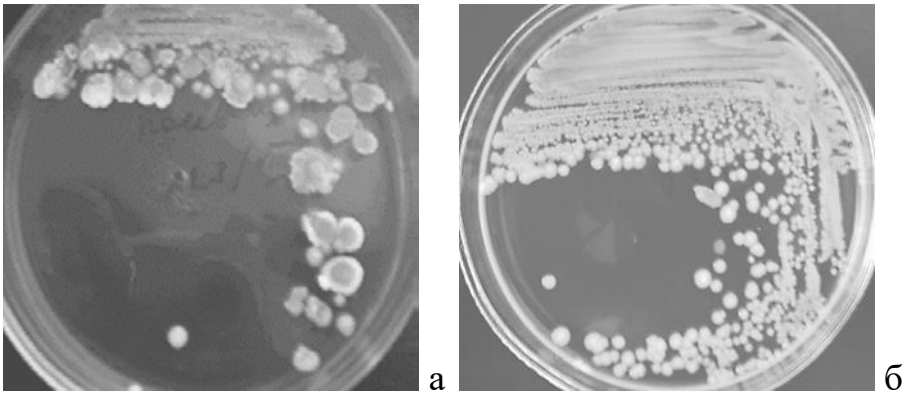
Для одержання біосорбційного композиту поверхня носія обробляється культуральноїю рідиною з мікробними клітинами нафтодеструктора з біотітром 10^9-10^{10} КУО (колоній утворюючих одиниць), що містить мінеральні та органічні (нафта) поживні речовини. Як показали дослідження, потенціал нафтоокислюючих мікроорганізмів значно вищий, якщо вони іммобілізовані на поверхні носія. Такий композит може однаково добре використовуватися як для очищення грунтів, так і для очищення води при ліквідації інтенсивних забруднень і тонких райдужних плівок. У вологих грунтах мікроорганізми розмножуються краще, ніж у сухих, тому мікробна складова в біосорбційному препараті для очищення від нафтового забруднення таких грунтів повинна мати підвищену спрямовану активність. Сорбційна здатність залежить від властивостей ґрунтів, в першу чергу від капілярних сил, які визначаються гранулометричним складом ґрунту та його вологістю. Залежність міграції – накопичення нафти та нафтопродуктів у ґрунтах від рівня їх вологості підтверджена експериментально та показано розрахунковими методами. При збільшенні вологості ґрунту менше можливість внутрішньо грунтового закріплення нафти та вища активність її переміщення. Водонасичені грунти зв'язують тільки залишкову кількість нафти у вигляді рідкої фази.

Виклад основного матеріалу. Для одержання біосорбційного композиту поверхня носія обробляється культуральною рідиною з мікробними клітинами нафтодеструктора. Сорбційна здатність носія відносно мікробної культури дуже важлива при створені біосорбційного комплексу та визначається адсорбційною взаємодією між біоносієм та біокультурою. Тому нами було досліджена здатність до десорбції клітин з поверхні носіїв. В середньому 78% клітин ВОМ знаходяться в іммобілізованому стані на поверхні носія.

В модельовані зразки ґрунту нафту вводили в певних кількостях, а потім наносився біоактивований сорбент. Досліди проводили при температурах 15°С, 20°С, 30°С.

З метою підтримання необхідної вологості для забезпечення розвитку мікроорганізмів модельовані зразки обробляли відстояною (2 доби) водопровідною водою (до вологості 20-30%). В процесі деструкції зростає кількість мікробних клітин впродовж перших 100 днів очистки, коли відбувається найбільша швидкість розкладення нафтопродукту. Динаміку деструкції нафти визначати по зміні вмісту залишкової нафти у ґрунті (табл. 1). Процес розкладення нафти у ґрунті має одну і туж закономірність для модельних і промислових зразків. Внесення лецитину, амонійного азоту, фосфору і калію посилює ефективність деградації нафти.

Проведені дослідженнями процесів біодеструкції нафти у ґрунті (чорнозем, суглинок, пісок) під дією біосорбційних комплексів на основі сорбційних матричних матеріалів різного типу, активованих ідентичною композицією нафтоокислюючих мікроорганізмів. Відбувається зміна концентрації нафти в процесі біодеструкції в зразках ґрунту. Через 120 діб концентрацію нафтового забруднення знижено від 40% до 1-5%.



а б

Рис. 1. Зростання НОМ: а – 2 день культивування, б – 5 день

Таблиця 1

Динаміка очищення ґрунту від нафти при обробці рослинним біоактивованим композитом

Термін від початку очищення, діб	Вміст залишкової нафти,% (суглинок)		Вміст залишкової нафти, % (пісок)	
	Соєвий шрот +НОМ	Соєвий шрот +НОМ +лецитин	Соєвий шрот +НОМ	Соєвий шрот +НОМ +лецитин
0	40	40	40	40
10	29	21	23	13
30	18	15	21	12
40	13	11	18	14
60	10,5	9	14	8
90	8,4	6	9,1	6
120	5,2	1	5	2

Кількісну та якісну оцінку деструкції вуглеводнів нафти визначали методом ІК-спектроскопії та ГРХ. Як показали дослідження, потенціал нафтоокислюючих мікроорганізмів значно вищий, якщо вони іммобілізовані на поверхні сорбенту. При цьому сорбенти не інертні, а активні в сорбційному відношенні до вуглеводів. Такий біосорбційний композит на основі відходів сої (шрот), біоактивованих природним комплексом нафтоокислюючих мікроорганізмів широкого спектру дії та ріпаковий лецитин як ефективний емульгатор дозволяє на 90% відновити нафтозабруднений грунт.

Головні висновки. Вивчено можливість отримання композиту на основі відходів сої (шрот), біоактивованих природним комплексом нафтоокислюючих мікроорганізмів широкого спектру дії, та ріпакового лецитину як ефективного емульгатора. Перевагою композитує його екологічність, оскільки в ньому використовується лігнінцелюлозовмісна сировина – відходи рослинництва і природний комплекс нафтоокислюючих мікроорганізмів.

Дослідження показують, що екосорбенти на основі композиту з відходів сої (шрот), біоактивовані природним комплексом нафтоокислюючих мікроорганізмів можуть бути використані як ефективні, доступні, екологічно чисті і недорогі сорбційні матеріали для детоксикації нафти у ґрунтах.

Література

1. Мандрик В. О. Управління відтворенням порушених земель: вибір інструментів екологічної політики. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 11. С. 117–121.
2. Jurgensen K.S., Puustinen J., Suortti A.M. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by composting in biopiles. *Environmental Pollution*. 2000.Vol. 107. No. 2. P. 245–254. DOI: https://doi.org/10.1016/s0269-7491(99)00144-x.
3. Abdel-Shafy, H. I. and Mansour, M. S. M. (A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. Egypt. *J. Petrol.* 2016. No. 25. P. 107–123. doi: 10.1016/j.ejpe.2015. 03.011
4. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry/Alexander M. Aging bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants. *Environ. Sci.Technol.* 2000. No. 34. P. 4259–4265.
5. Alonso-Gutierrez, J., Figueras, A., Albaiges, J., Jimenez, N., Vinas, M., Solanas, A. M., et al. Bacterial communities from shoreline environments (costa da morte, northwestern Spain) affected by the prestige oil spill. *Appl. Environ.Microbiol*. 2009. No. 75. P. 3407–3418. doi: 10.1128/AEM.01776-08
6. Jurgensen K.S., Puustinen J., Suortti A.-M. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by composting in biopiles. *Environmental Pollution*. 2000. Vol. 107. No. 2. P. 245–254. DOI: https://doi.org/10.1016/s0269-7491(99)00144-x.
7. Andersson, B. E., Lundstedt, S., Tornberg, K., Schnurer, Y., Oberg, L. G., and Mattiasson, B. Incomplete degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil inoculated with wood-rotting fungi and their effect on the indigenous soil bacteria. *Environ. Toxicol. Chem*. 2003. No. 22. P. 1238–1243. doi: 10.1002/etc.5620220608
8. Andreoni, V., Cavalca, L., Rao, M. A., Nocerino, G., Bernasconi, S., Dell'Amico, E. Bacterial communities and enzyme activities of PAHs polluted soils. *Chemosphere.* 2004. No. 57. P. 401–412. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.06.013
9. Ang, J. L., Zhao, H., and Obbard, J. P. Recent advances in the bioremediation of persistent organic pollutants via biomolecular engineering. *Enzyme Microb. Technol*. 2005. No. 37. P. 487–496. doi: 10.1016/j.enzmictec.2004. 07.024

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 551.524-022.2.504.064:504.453.578(477.42)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.29

ГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СЕЗОННИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ КОЛИВАНЬ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЧІВ АТМОСФЕРИ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

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

Стаття присвячена дослідженню залежності концентрацій забруднюючих речовин монооксиду вуглецю, аміаку, діоксиду азоту від температури повітря. Для графічного аналізу були використані дані Української мережі громадського моніторингу якості повітря Eco City. Побудовані ситові діаграми, оскільки вони є корисним інструментом для демонстрації взаємозв'язку кліматичних змін та антропогенної діяльності, розуміння механізмів впливу людської діяльності на клімат та планування заходів з пом'якшення наслідків зміни клімату. Проведено аналіз, який відображає розподіл частот концентрацій CO, NH_3 та NO_2 при різних температурних умовах**.** Результати дослідження показали, що характер зв'язку між температурою повітря та концентраціями забруднюючих речовин має нелінійний характер. Для монооксиду вуглецю встановлено, що найвищі концентрації спостерігаються як при низьких, так і при високих температурах, що пов'язано з активізацією опалення в холодний період та підвищеною активністю транспорту і промисловості в теплий період. Для аміаку виявлено чітку обернену залежність, коли при низьких температурах фіксуються значно підвищені концентрації, а зі зростанням температури вони стрімко знижуються. Це пояснюється погіршенням умов розсіювання забруднювача в холодний період та зростанням викидів від опалювальних систем. Щодо діоксиду азоту, встановлено пряму позитивну кореляцію з температурою, при цьому найвищі концентрації відмічаються в екстремальні температурні періоди. Підвищення температури призводить до інтенсифікації фотохімічних реакцій та збільшення антропогенного навантаження.

Отримані результати демонструють важливість врахування температурного фактора при моделюванні та прогнозуванні забруднення повітря, що має вирішальне значення для розробки ефективних заходів із управління якістю повітря, особливо з урахуванням сезонних температурних коливань. *Ключові слова:* монооксид вуглецю, діоксид азоту, аміак, температурні коливання, температура повітря, забруднювачі атмосфери.

Graphical analysis of patterns of seasonal temperature fluctuations and concentrations of urban air pollutants. Kahukina A., Patseva I.

The article is devoted to the study of the concentrations of carbon monoxide, ammonia, and nitrogen dioxide pollutants dependence on air temperature. Data from the Ukrainian network of public air quality monitoring Eco City were used for graphical analysis. Sieve diagrams were created as they are a useful tool for demonstrating the relationship between climate change and anthropogenic activities, understanding the mechanisms of human activity's impact on the climate, and planning climate change mitigation measures. An analysis was conducted that shows the frequency distribution of CO, NH_3 and NO_2 concentrations at different temperature conditions. The results of the study showed that the relationship between air temperature and pollutant concentrations is non-linear. For carbon monoxide, it was found that the highest concentrations are observed at both low and high temperatures, which is associated with increased heating in the cold season and increased activity of transport and industry in the warm season. For ammonia, a clear inverse relationship was found, with significantly increased concentrations at low temperatures and a rapid decrease with increasing temperature. This is due to the deterioration of pollutant dispersion conditions during the cold season and increased emissions from heating systems. As for nitrogen dioxide, there is a direct positive correlation with temperature, with the highest concentrations occurring during extreme temperature periods. An increase in temperature leads to an intensification of photochemical reactions and an increase in anthropogenic load.

The obtained results demonstrate the importance of taking into account the temperature factor in modelling and forecasting air pollution, which is crucial for the development of effective air quality management measures, especially taking into account seasonal temperature fluctuations. *Key words:* carbon monoxide, nitrogen dioxide, ammonia, temperature fluctuations, air temperature, air pollutants.

Постановка проблеми. Одним з ключових екологічних викликів сучасності є забруднення атмосферного повітря [1]. Основними забруднювачами атмосфери міста є монооксид вуглецю, аміак та діоксид азоту, дані сполуки потрапляють в атмосферу внаслідок антропогенної діяльності [2; 3]. Рівень забруднення повітря не є сталим та зазнає значних коливань залежно від погодних умов. Взаємозв'язок між концентраціями забруднюючих речовин та температурою є складним та неоднозначним. Підвищення

температури повітря може сприяти збільшенню кількості викидів та покращувати умови для розсіювання забруднювачів в атмосферному басейні міста. При низькій температурі повітря можуть формуватися температурні інверсії та погіршувати розсіювання, що в свою чергу призводить до накопичення шкідливих домішок в приземних шарах повітря. Ці явища мають негативний вплив на екосистему міста.

Актуальність дослідження. Вивчення характеру взаємозв'язків між температурою повітря та концентраціями основних забруднюючих речовин має важливе значення для розуміння механізмів формування забруднення та розробки заходів з управління його обсягів та прогнозування змін якості повітря в умовах коливань температурних показників [4]. Оскільки зміна клімату має свої відчутні наслідки для України, необхідно розробляти заходи зі скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу [5; 6]. Таким чином, дане дослідження набуває особливої актуальності.

Матеріали та методи. Діаграми побудовані на основі даних за 5 років, відповідно до баз даних Української мережі громадського моніторингу якості повітря Eco City [7-10]. Для графічної візуалізації частот у двосторонній таблиці і порівняння їх з очікуваними частотами було побудовано ситові діаграми, для візуалізації складних залежностей між забруднювачами повітря та температурними показниками. Таким чином, різниця між спостережуваною та очікуваною частотою, яка є пропорційною стандартному залишку Пірсона, відображає затінення з використанням кольору, для виявлення чи є відхилення позитивним або негативним. За допомогою ситової діаграми можна пояснити аспекти зміни клімату, оскільки встановлюється взаємозв'язок викидів забруднюючих речовин з температурою атмосферного повітря. Підвищені концентрації викидів при різних температурах вказують на характерний антропогенний вплив. Ситова діаграма дає можливість визначити температурні діапазони з найбільшим антропогенним навантаженням, для формування адаптаційного механізму. На основі виявлених закономірностей можна робити прогнозування рівнів забруднення при різних температурах, планувати превентивні заходи та розробляти стратегії зменшення викидів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогоднішній день важливим та пріорітетним завданням є покращення якості повітря та адаптація систем моніторингу [11; 12]. Більша частина викидів до атмосферного повітря міста надходить від стаціонарних джерел, а саме виробництва та розподілу електроенергії, водопостачання та газопостачання [13]. Основними забруднювачами атмосферного повітря міста вважали промисловість. Автомобільному транспорту, як джерелу забруднення не приділяли достатньо уваги, однак саме транспорт створює більшу третину викидів в атмосферне повітря від загальної кількості викидів [14]. Основними речовинами, що забруднюють повітряний басейн міста є оксиди азоту, оксид вуглецю, завислі речовини, діоксид, сполуки сірки та органічні сполуки [15]. В таких умовах, є необхідність вивчення зв'язку між рівнями забруднюючих речовин та температурою повітря.

Викладення основного матеріалу. За допомогою графічного аналізу, були виявленні закономірності температурних коливань та концентрацій CO, NH_3 та NO_2. Аналізовані забруднювачі мають місце у повітряному басейні міста Житомир. Їх хімічні властивості мають негативний вплив на екосистему міста. Для отримання надійних висновків при графічному аналізі було проаналізовано дані за 1567 днів для (Рис. 1), (Рис. 2) та дані за 1566 днів для (Рис. 3).

При аналізі даних (Рис. 1) виявлено нелінійний характер зв'язку між температурою повітря та концентрацією монооксиду вуглецю, оскільки між показниками немає прямої пропорційної залежності. Наявне посилення аномалій при підвищеннях значень показників температури та монооксиду вуглецю. На ситовій діаграмі наявні яскраво забарвлені ділянки, що сигналізують про вплив нестандартних умов, при певних комбінаціях температури та концентрації монооксиду вуглецю. При високих та при низьких температурах повітря, спостерігаються високі концентрації монооксиду вуглецю в повітряному басейні міста. Виявлену закономірність можна пояснити посиленим антропогенним навантаженням в холодний та теплий період року. При середніх температурах повітря кількість викидів монооксиду вуглецю різна. За температури менше 3,74069°C були зафіксовані високі концентрації монооксиду вуглецю. В діапазоні температур 3,74069-10,6824°C зафіксовано середні концентрації монооксиду вуглецю. При температурі більше 19,6133°C, високі концентрації монооксиду вуглецю. Помірні температури повітря є оптимальними умовами для розсіювання даної забрудюючої речовини.

Аналіз (Рис. 2) дав змогу виявити важливі закономірності. На ситові діаграмі є ділянки, які вказують на низькі концентрації аміаку при низьких температурах повітря та при підвищеній температурі повітря. Кольоровий контрас між нижньою частиною та верхньою частиною діаграми вказує на нелінійний тип зв'язку. За температури повітря менше 3,74069°C фіксувалась підвищена забрудненість повітря аміаком. Таку закономірність можна пояснити сповільненням швидкості розсіювання аміаку, та як наслідок формуванням застійних явищ в атмосферному басейні міста. За середніх температур повітря 3,74069-10,6624°C зафіксовано середні концентрації аміаку. Виявлена закономірність вказує на стабільність в розсіюванні забруднюючої речовини. Негативна асоціація з концентраціями аміаку, виявлена при темпаратурах повітря, що коливаються

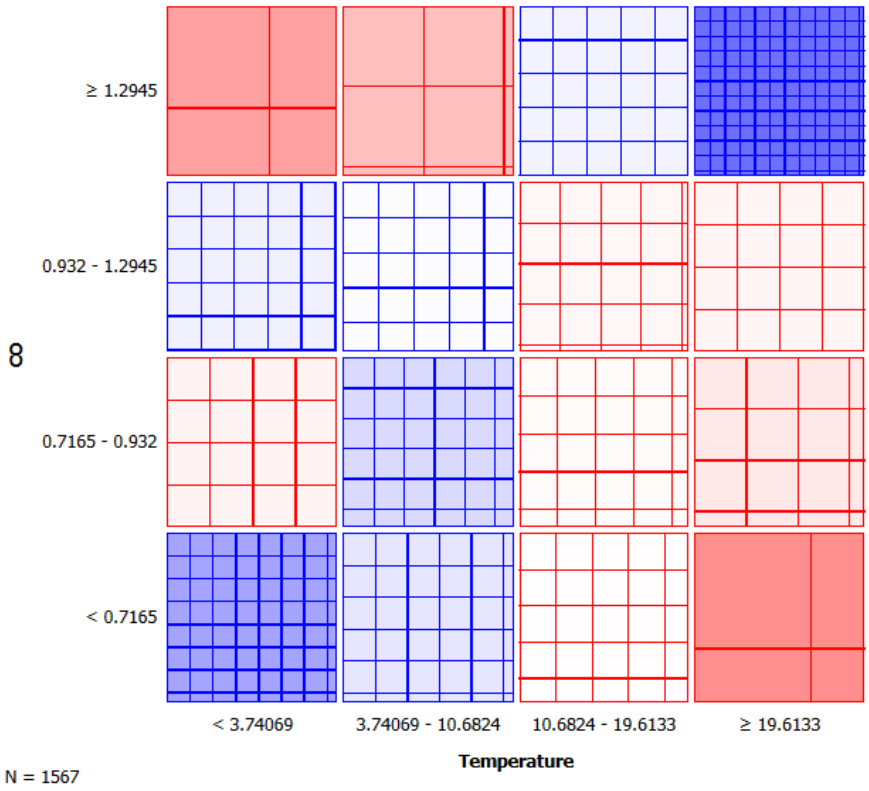


Рис. 1. Ситова діаграма залежності концентрацій CO від температури повітря за даними щоденних спостережень

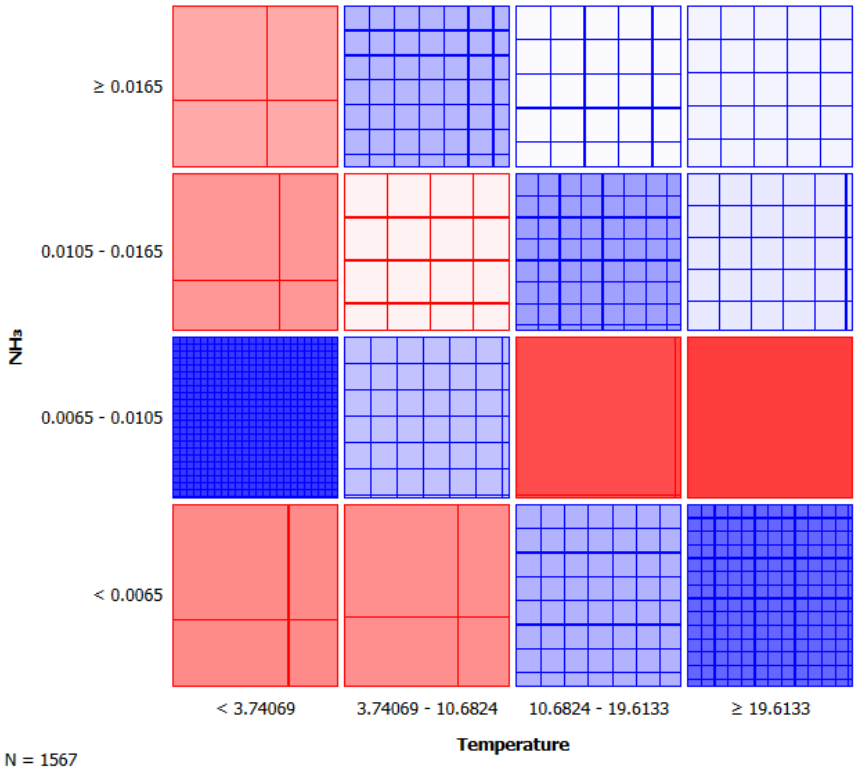


Рис. 2. Ситова діаграма залежності концентрацій NH3 від температури повітря за даними щоденних спостережень

в межах 10,6624-19,6133°С. За таких температурних умов фіксується найменше антропогенне навантаження від даної хімічної речовини. Низькі конценрації аміаку, зафіксовано при температурах більших за 19,6133°С. Є тенденція до оберненої залежності, що підтверджується зниженням викидів аміаку при підвищенні температури повітря. Найбільш виражена ця тенденція при максимальних показниках температури й аміаку. В зв'язку з тим, що при низьких температурах спостерігаються підвищені концентрації аміаку, можна стверджувати, що це пов'язано з зменшенням швидкості розсіювання даної речовини. Щоб зменшити негативний вплив аміаку на екосистему міста, слід вживати заходів з мінімізації кількості викидів. Є потреба у встановленні систем очистки від викидів на критичних місцях забруднення даною речовиною. В періоди температурної інверсії є потреба у впровадженні сучасних технології опалення, що є енергоефективними. Отримані результати графічного аналізу вказали на наявність чіткої оберненої залежності між температурою повітря та концентраціями аміаку в повітряному басейні міста. Виявлені закономірності вказують на важливість посиленого моніторингу за кількістю викидів аміаку взимку.

При аналізі діаграми сита (Рис. 3), було виявлено нелінійний зв'язок температури повітря з діоксидом азоту та зафіксовано пряму позитивну кореляцію. Таким чином, виявлену закономірність можна вважати явищем інтенсифікації фотохімічних реакцій при сталому підвищенні температури повітря в місті. Темно-сині ділянки вказують на наявність позитивної кореляції, які фіксуються в діапазонах температури повітря більше 19,6133°С та при температурі повітря менше 3,74069°С при зазначених концентраціях діоксиду азоту на діаграмі. Ділянки, які мають темно-червоні зони є підтвердженням статистично значного відхилення від випадкового розподілу. У діапазоні середніх температур залежність концентрації діоксиду азоту виражено слабше, однак при підвищених температурах встановлено чітку негативну кореляцію, а саме зростання температури супроводжується зниженням діоксиду азоту.

Висновки. Виявлені закономірності дають можливість прогнозувати забрудненість атмосферного повітря. Найвищі концентрації монооксиду вуглецю спостерігаються при низьких та високих показниках температури повітря, таку закономірність можна пояснити опалювальним періодом в холодний період року та підвищеною активністю транспорту в теплий період. Помірні температури повітря є оптимальними умовами для розсіювання монооксиду вуглецю. За низьких температур повітря спостерігаються підвищені концентрації аміаку, а при

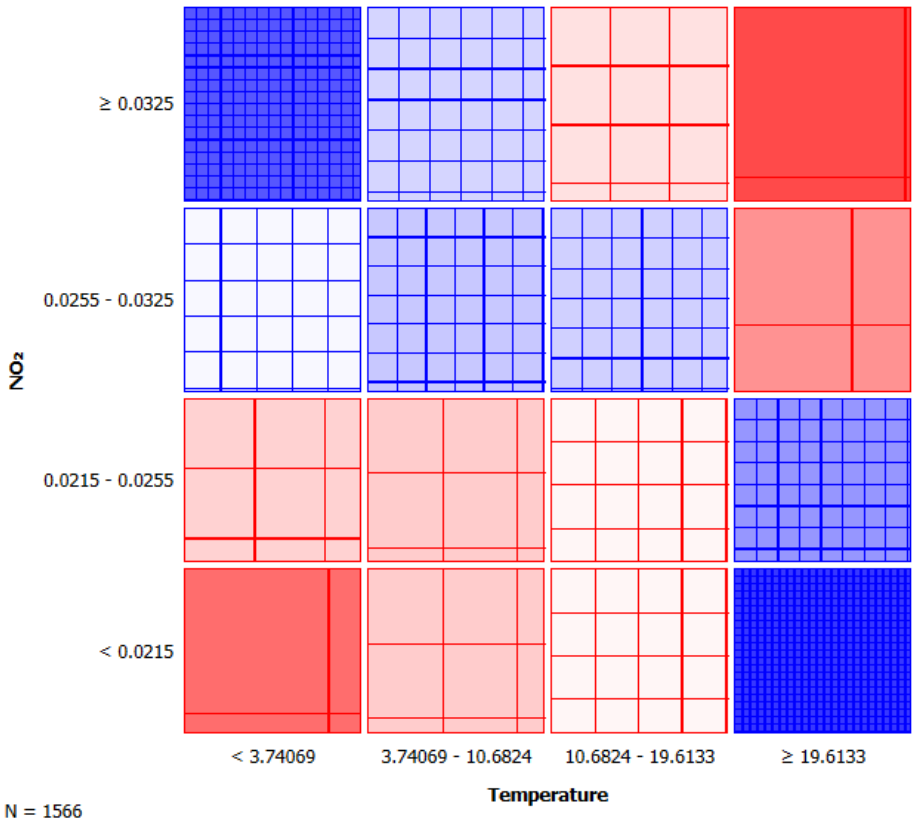


Рис. 3. Ситова діаграма залежності концентрацій NO2 від температури повітря за даними щоденних спостережень

зростанні температури повітря концентрації даного забруднювача знижувалися. Дана тенденція пов'язана з погіршеними умовами розсіювання аміаку в холодний період року, через формуванням температурних інверсій та зростання кількості викидів. При помірних температурах менш виражена залежність температури повітря з концентрацією аміаку. Показники викидів діоксиду азоту вказують на залежність від температурного режиму. Найбільші відхилення спостерігалися при підвищених значеннях показників діоксиду азоту та температури повітря. Середні показники вказують на менш виражену стабільну залежність. При низьких температурах спостерігаються підвищені концентрації діоксиду азоту. Це може бути пов'язано з погіршеними умовами розсіювання забруднювача при низьких температурах повітря, формуванням температурних інверсій та збільшенням кількості викидів в опалювальний сезон. Найбільша швидкість розсіювання діоксиду азоту фіксується в теплий період року.

Результати графічного аналізу вказують про важливість врахування температурного фактору під час моделювання та прогнозування забруднення повітряного басейну міста. Таким чином, це допоможе розробити ефективні заходи із управління якістю повітря з урахуванням температурних коливань. Результати даного аналізу є важливим внеском у розуміння закономірностей формування забруднення атмосфери міста. Отримані результати можуть бути використані при удосконаленні систем екологічного моніторингу та плануванні сталого розвитку міст.

Література

1. Безпальченко В., Семенченко О. Забруднення повітря актуальна проблема сучасності. *Соціальні та гуманітарні технології: філософсько-освітній аспект: Матеріали X міжнародної науково-теоретичної конференції (21–22 берез. 2024 р., м. Черкаси).* URL: http://surl.li/acnpjb (дата звернення: 05.11.2024).
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 ECOCITY. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 3(54). С. 23–31.
3. Луньова О.В., Кагукіна А.М. Аналіз антропогенного забруднення Житомирського регіону. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 3(48). С. 48–52.
4. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Метеорологічні умови формування забруднення повітря та його прогнозування у місті Чернівці. *Фізична географія та геоморфологія. Міжвідомчий науковий збірник.* 2009. Вип. 57. С. 132–141.
5. Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156–159.
6. Пацева І.Г., Кагукіна А.М. Коефіцієнти суттєвості відхилень середньомісячних показників температури повітря та кількості опадів в місті Житомир. Екологічні науки. 2024. Вип. 2(53). С. 238–242.
7. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1005. 513 МБ. У форматі CSV. URL: https://archive.eco-city.org.ua
8. 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
9. 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
10. 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
11. Ткачук О.П., Мазур О.В. Проблеми адаптації системи моніторингу атмосферного повітря в україні до вимог європейського союзу. *Екологічні науки*. 2024. № 1 (52), Том 1. С. 19–23.
12. Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С. Проблема оцінки стану повітря великих міст України на прикладі м. Харкова. *Екологічні науки*. 2019. № 1(24). Т. 1. 178 с.
13. Максименко Н.В., Різник К.Ю., Александрова А.С. Структура і динаміка забруднення атмосферного повітря Харківської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 3−4, 2014. С. 81−94.
14. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., Суха Н.О. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря в місті Миколаєві. *Екологічні науки*. 2018. № 4 (23). С. 19–23.
15. Дячук В.А., Баштанник М. П., Кіптенко Є. М., Козленко Т. В., Надточій Л. М. Вивчення моніторингу стану забруднення атмосферного повітря та напрямів його вдосконалення в м. Києві. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4(55), 111–121. URL: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.9. (дата звернення 6.11.2024).

УДК 574.64:504.064
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.30

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ БІОТЕСТУВАННЯ ЗАДЛЯ ОЦІНКИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДХОДІВ

Крайнюков О.М.[1], **Кривицька І.А.**[1], **Найдьонова О.Є.**[1,2], **Лукаш М.С.**[1], **Лукаш К.М.**[1]
[1]Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, 61022, м. Харків
alkraynukov@gmail.com
[2]Національний науковий центр
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»
вул. Чайковська, 4, 61024, м. Харків
oksana_naydyonova@ukr.net

У роботі розглянуто результати серії експериментів щодо підтвердження можливості впровадження в існуючу систему визначення небезпечних властивостей відходів методик біотестування. Всі експериментальні дослідження було виконано на прикладі бурових шламів, які є одними із найбільш небезпечних відходів. Експериментальні дослідження небезпечних властивостей відходів було проведено влітку 2024 року в лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології. Зразки задля експериментів було відібрано у трьох локаціях, відповідно до теоретично прогнозованого рівня їх забрудненості: 1. які утворилися при бурінні свердловин № 236 та № 241 Єфремівського ГКР і № 193 Меліховського ГКР; 2. бурові шлами з вищеозначених родовищ після обробки реагентами; 3. знешкоджені бурові шлами, які зберігаються на полігоні промислових відходів у с. Смирнівка Лозівського району Харківської області. У процесі проведення дослідження була використана методика визначення хронічної токсичності хімічних речовин та відходів за допомогою ракоподібних Ceriodaphnia affinis Lilljeborg. Отримані результати з визначення токсичних властивостей різних видів бурових шламів та віднесення їх на основі цих результатів Н-кодів, підтверджує можливість та необхідність впровадження методу біотестування у систему класифікації відходів. Необхідною складовою оцінювання небезпечних властивостей відходів повинно бути сумісне використання хімічних і біологічних методів, а у випадках неможливості встановити наявність у відходах усього спектру небезпечних хімічних речовин або стійких органічних забруднювачів проводити виключно біотестування таких відходів. Результати експериментальних досліджень підтверджують необхідність рекомендації щодо доповнення чинних законодавчих документів можливістю проведення біологічного тестування небезпечних властивостей відходів для більш достовірного та об'єктивного їх оцінювання та висновку щодо їх класифікації. *Ключові слова:* відходи, бурові шлами, забруднення, біотестування, клас якості, Н-коди, небезпечні властивості відходів.

Implementation of the biotesting method for assessing hazardous properties of waste. Krainiukov O., Krivitska I., Naidonova O., Lukash M., Lukash K.

The paper examines the results of a series of experiments to confirm the possibility of introducing biotesting methods into the existing system for determining the hazardous properties of waste. All experimental studies were performed on the example of drilling muds, which are one of the most dangerous wastes. Experimental studies of the hazardous properties of waste were conducted in the summer of 2024 in the laboratory of ecological and toxicological research of the Institute of Ecology. Samples for the experiments were selected in three locations, according to the theoretically predicted level of their contamination: 1. which were formed during the drilling of wells No. 236 and No. 241 of the Efremivsky GKR and No. 193 of the Melikhovsky GKR; 2. drilling cuttings from the above deposits after treatment with reagents; 3. neutralized drilling cuttings stored at the industrial waste landfill in the village of Smirnivka, Loziv district, Kharkiv region. In the process of conducting the research, the method of determining the chronic toxicity of chemicals and waste using the crustacean Ceriodaphnia affinis Lilljeborg was used. The obtained results of determining the toxic properties of various types of drilling muds and assigning them to H-codes based on these results confirm the possibility and necessity of introducing the biotesting method into the waste classification system. A necessary component of assessing the hazardous properties of waste should be the combined use of chemical and biological methods, and in cases where it is impossible to establish the presence of the entire range of hazardous chemicals or persistent organic pollutants in the waste, biotesting of such waste should be carried out exclusively. The results of experimental studies confirm the need for a recommendation on supplementing current legislative documents with the possibility of conducting biological testing of hazardous waste properties for a more reliable and objective assessment and conclusion on their classification. *Key words:* waste, drilling cuttings, pollution, biotesting, quality class, H-codes, dangerous properties of waste.

Постановка проблеми. Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 20.10.2023р. № 1102 «Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів», екотоксичність (НВ 14) – небезпечна властивість відходів, яка становить або може становити реальний або віддалений ризик для навколишнього природного середовища. Гостролетальні та хронічні токсичні

властивості відходів, відповідно до вищенаведеної Постанови Кабінету Міністрів України, визначаються як сумарні концентрації небезпечних речовин (відходів) коли вона дорівнює або перевищує ліміт концентрації у 25%. Тобто визначення токсикологічних властивостей відходів запропоновано проводити за допомогою хімічного аналізу і визначення концентрацій хімічних речовин, які входять до складу відходів [1].

Актуальність дослідження. Оцінка небезпечних властивостей відходів НВ 14, пов'язана з потенційним впливом на навколишнє природне середовище та має відігравати основну роль у прийнятті управлінських рішень щодо забезпечення їх безпеки. Наразі це є однією з головних проблем у рамках законодавства про відходи як в Україні так і в країнах ЄС. Перегляд законодавства ЄС щодо відходів у 2014 році мав на меті сприяти єдиній класифікації відходів. У результаті Регламент Комісії 1357/2014 надав методи оцінки небезпечних властивостей відходів. Незважаючи на його актуальність, для НВ 14 не було представлено жодного конкретного методу, враховуючи визнання того, що необхідні подальші експериментальні дослідження, щоб гарантувати об'єктивність та репрезентативність інформації про можливий негативний вплив. Таким чином, ні в ЄС, ні в Україні немає чітких унормованих вимог задля об'єктивної та достовірної оцінки потенційно небезпечної властивості відходів НВ 14.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Відповідно до Постанови КМУ № 1102 «Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів» від 20.10.2023р., небезпечні властивості відходів, за потреби, необхідно «…оцінювати за допомогою досліджень». За результатами проведених експериментальних досліджень, можна рекомендувати суб'єктам відповідного виду діяльності залучати сертифіковані екологічні лабораторії для уточнення небезпечних властивостей відходів та визначення Н-кодів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тверді відходи становлять важливу екологічну проблему, що виникає у різних регіонах світу їх утворення коливається від 0,5 до 4,5 кг на людину на день [2]. Звалища та сміттєспалювальні заводи є найпоширенішими способами управління утилізацією відходів. Полігони вважаються найпоширенішим методом утилізації твердих побутових відходів (ТПВ): фактично до 95% загального обсягу ТПВ, зібраних у всьому світі, утилізується на звалищах.

Розуміння складу відходів та інтегрована стратегія оцінки ризику є вирішальною та необхідною для правильного вирішення проблеми та для прогнозування довгострокового впливу звалищ, приділяючи особливу увагу оцінці можливих несприятливих впливів на здоров'я людини та екосистеми [3].

У дослідженні ми спробуємо провести удосконалення методології визначення небезпечних властивостей відходів. Така удосконалена методологія оцінки небезпеки складних відходів є терміново необхідною, оскільки відсутність валідованого інструменту призводить до довільної класифікації небезпеки таких складних відходів. Помилкова класифікація може призвести до ризиків для здоров'я людини та навколишнього природного середовища, а також матиме серйозні фінансові наслідки для власника відходів. Європейська Директива про небезпечні відходи (HWD) та українські аналоги такого підходу описує методологію класифікації відходів за небезпекою. Для дзеркальних записів класифікація HWD базується на небезпечних властивостях (H1–15) відходів, які можна оцінити за небезпечними властивостями окремих ідентифікованих сполук відходів або – якщо ідентифіковано не всі сполуки – за результатами тестів на оцінку небезпеки, проведених на самі відходи. Для останнього HWD рекомендує тести на токсичність, які спочатку були розроблені для оцінки ризику хімічних речовин у споживчих продуктах (фармацевтичних препаратах, косметиці, біоцидах, харчових продуктах тощо). Ці тести (часто з використанням ссавців) не призначені та не підходять для визначення небезпеки відходів. За допомогою цього дослідження ми хочемо зробити внесок у розробку удосконаленої стратегії тестування для оцінки небезпеки складних відходів, яка відповідає принципам HWD для класифікації відходів. Необхідно усунути цей важливий недолік у класифікації небезпечних відходів і продемонструвати наявність альтернативних методів, які можна використовувати для оцінки небезпечних властивостей відходів. Рекомендованими методами для прямого тестування токсикологічних властивостей відходів (HWD) є гострі та хронічні тести на тваринах, які використовуються для оцінки небезпеки хімічних речовин (CD 67/548/EC (небезпечні речовини), 726/2004/EC (фармацевтичні препарати), EC/1907/2006 (REACH), CD 98/8/EG (біоциди)). Ці методи та стратегії тестування спеціально розроблені для глибокої оцінки ризику для людини щодо хімічних речовин у застосуваннях, де релевантними шляхами впливу є оральне поглинання, вдихання, контакт зі шкірою. Мало того, що вплив відходів на людину відрізняється, стратегія перевірки відходів призначена для цілей класифікації небезпеки (що є рішенням «так/ні»), а не для оцінки ризику. Крім того, неетично використовувати тести на тваринах для класифікації відходів. З цих причин на даний момент не застосовуються прямі випробування, і на практиці складні відходи часто класифікуються довільно: хімічного скринінгу недостатньо для ідентифікації всіх можливих небезпечних сполук у складних сумішах, тому обґрунтована оцінка небезпеки неможлива [4].

Все це повинно слугувати подальшому розвитку методів тестування, щоб точно визначити прогалини

та стимулювати дослідницькі зусилля та розробку тестів у цьому напрямку.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Оцінка небезпеки на основі загального вмісту та складу твердої фази відходів з використанням методів підсумовування для сумішей, підтримується законодавством України як про хімічні речовини, так і про відходи. Такий підхід вимагає, щоб усі токсичні види наявних речовин та сумішей у відходах могли бути проаналізовані, кількісно визначені та класифіковані. Для відходів, які в основному складаються зі складних і багатокомпонентних сумішей, внутрішні властивості складних сумішей можуть суттєво відрізнятися від властивостей кожного окремого компонента відходів. Отже, підхід, заснований на підсумовуванні, у багатьох випадках може призвести до неправильної класифікації та не об'єктивного оцінювання властивостей відходів.

Методика дослідження. У процесі проведення дослідження була використана методика визначення хронічної токсичності хімічних речовин та відходів за допомогою ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg.

Критерієм хронічної токсичності відібраних зразків є статистично значиме зменшення виживаності і(або) плодючості *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg у досліді порівняно з контролем впродовж усього терміну біотестування. Тривалість біотестування становила приблизно 7 діб, або до появи у 80% вихідних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg трьох пометів [5].

Виклад основного матеріалу. У даній роботі удосконалення методичних прийомів для оцінки небезпечних властивостей відходів і всі експериментальні дослідження було виконано на прикладі бурових шламів, які є, як було визначено у попередніх розділах, одними із найбільш небезпечних відходів.

Метою роботи було створення методичного прийому, за допомогою якого можливо проводити класифікацію відходів за екотоксичністю.

За екотоксичністю класифікують відходи як небезпечні, якщо вони відповідають наступним умовам: відходи, що містять одну або кілька речовин, класифікованих як хронічно токсичні для водних біоресурсів та віднесені до кодів H410, H411 або H412.

- H410: Дуже отруйно для водяних організмів, із тривалими наслідками;
- H411: Отруйно для водяних організмів, із тривалими наслідками;
- H412: Шкідливо для водяних організмів, із тривалими наслідками [6].

Експериментальні дослідження небезпечних властивостей відходів було проведено влітку 2024 року в лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології.

Зразки задля експериментів було відібрано у трьох локаціях, відповідно до теоретично прогнозованого рівня їх забрудненості: 1. які утворилися при бурінні газових свердловин № 236 та № 241 Єфремівського ГКР і № 193 Меліховського ГКР; 2. бурові шлами з вищеозначених родовищ після обробки реагентами; 3. знешкоджені бурові шлами, які зберігаються на полігоні промислових відходів у с. Смирнівка Лозівського району Харківської області.

Бурові шлами на першому етапі було взято для експерименту з різних газоконденсатних родовищ з огляду на можливий різний компонентний вміст і різну токсичну дію на тестові організми при проведенні біотестування.

На другому етапі експеримент проводився із залученням бурових шламів, які пройшли локальне очищення та знешкодження.

Локальне очищення шламів від специфічних хімічних речовин та сумішей, оксидів кальцію, гумінових речовин, включало наступні процеси: реагентну флотацію із використанням наступного коагулянту – ($Fe_2(SO_4)_3$).

На третьому етапі роботи нами було використано для біотестування знешкоджені бурові шлами, які зберігаються на полігоні промислових відходів у с. Смирнівка Лозівського району Харківської області. На даному полігоні ці бурові шлами були підвернуті фіторемедіації. Відібрані зразки проходили процес фіторемедіації впродовж приблизно одного року.

В результаті проведених еколого-токсикологічних досліджень водних витяжок зі зразків бурових шламів, які було відібрано на трьох газоконденсатних родовищах влітку 2024 року було встановлено, що у зразках з № 236 та № 241 Єфремівського газоконденсатного родовища визначено 4 клас якості (ступінь забрудненості водної витяжки – брудна), а у зразку з Меліховського родовища – 5 клас якості (ступінь забрудненості водної витяжки – дуже брудна).

Такі результати дають змогу підтвердити небезпечні властивості відходів та віднесення їх до H410: Дуже отруйно для водяних організмів, із тривалими наслідками.

Другий етап дослідження полягав у експериментальних дослідженнях водних витяжок з зразків бурових шламів, які пройшли реагентну флотацію. Алгоритм очищення відходів технічного походження призначено для їх локального очищення від специфічних забруднюючих речовин (важкі метали, нафтопродукти), мінеральних солей, гумінових речовин і включає процес – реагентну флотацію з використанням коагулянту, сульфату заліза III.

Видалення забруднень можливе після укрупнення частинок за допомогою коагуляції та флотації. Аналіз отриманих результатів після біотестування водних витяжок показав, що після застосованого локального очищення всі три зразка (ступінь забрудненості – помірно забруднена, 3 клас якості) можно

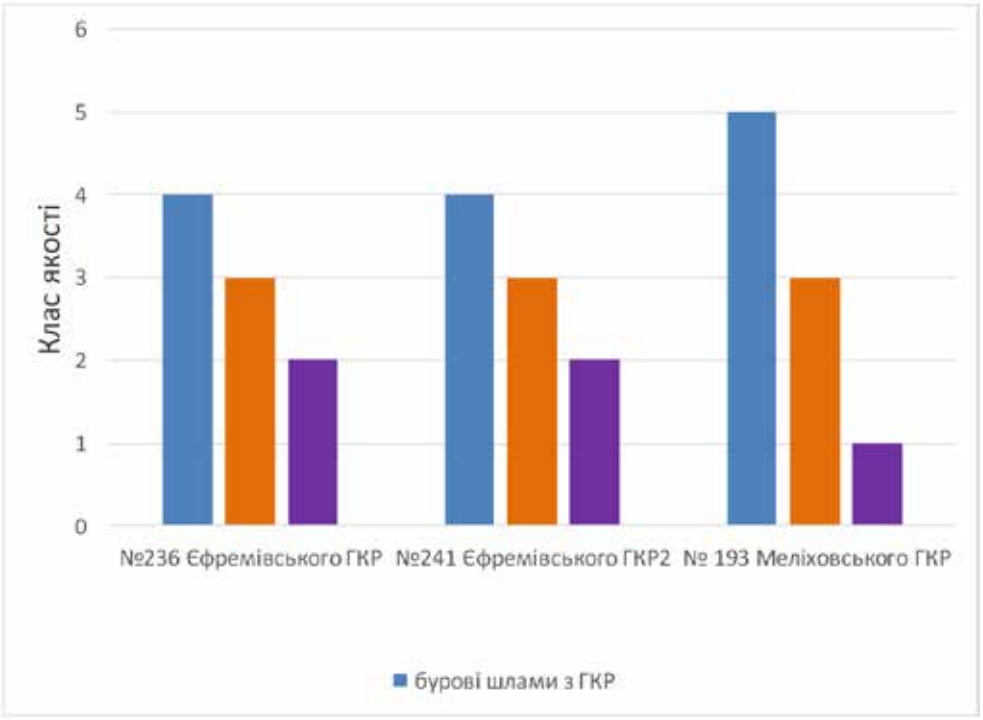


Рис. 1. Результати експериментального токсичних властивостей визначення класу якості водних витяжок різних видів бурових шламів

віднести до коду – Н411: Отруйно для водяних організмів, із тривалими наслідками. Такі результати свідчать про зменшення токсичного впливу відходів на тест-об'єкти у відповідь на застосовані заходи з їх очищення

Третій етап експерименту полягав у дослідженні токсичних властивостей водних витяжок з бурових шламів, які пройшли повний цикл знешкодження (флотація, коагуляція та фіторемедіація) і знаходяться на зберіганні на полігоні.

Отримані результати дають змогу віднести два зразка відходів з 236 та 241 Єфремівського газоконденсатного родовища до коду – «Н412: Шкідливо для водяних організмів, із тривалими наслідками», зважаючи на те, що ці зразки відповідали 2 класу якості (ступінь забрудненості – слабкозабруднена).

Зразок бурового шламу з 193 Меліховського ГКР не виявив токсичних властивостей – 1 клас якості (ступінь забрудненості – чиста). Тому його можна віднести до безпечних відходів (рис. 1).

Головні висновки. Отримані результати з визначення токсичних властивостей різних видів бурових шламів та віднесення їх на основі цих результатів Н-кодів, підтверджує можливість та необхідність впровадження методу біотестування у систему класифікації відходів.

Необхідною складовою оцінювання небезпечних властивостей відходів повинно бути сумісне використання хімічних і біологічних методів, а у випадках неможливості встановити наявність у відходах усього спектру небезпечних хімічних речовин або стійких органічних забруднювачів проводити виключно біотестування таких відходів.

Перспективи використання результатів дослідження. В результаті проведених експериментальних досліджень нами було сформовано перелік рекомендацій, які доцільно було б впровадити у діяльність природоохоронних установ.

1. Відповідно до Постанови КМУ № 1102 «Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів» від 20.10.2023р., небезпечні властивості відходів, за потреби, необхідно «…оцінювати за допомогою досліджень». За результатами проведених експериментальних досліджень, можна рекомендувати суб'єктам відповідного виду діяльності залучати сертифіковані екологічні лабораторії для уточнення небезпечних властивостей відходів та визначення Н-кодів.

2. Необхідною складовою оцінювання небезпечних властивостей відходів повинно бути сумісне використання хімічних і біологічних методів, а у випадках неможливості встановити наявність у відходах усього спектру небезпечних хімічних речовин або стійких органічних забруднювачів проводити виключно біотестування таких відходів.

3. Доповнити пункт 22 Постанови КМУ № 1102 «Про затвердження Порядку…….» словом «токсикологічних». Оновлене речення буде виглядати наступним чином: «……проводяться лабораторні дослідження визначення складу та **токсикологічних** властивостей відходів для висновку щодо їх класифікації».

Література

1. Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів : Постанова Кабінету Міністрів України від 20.10.2023р. № 1102. *Офіційний вісник України.* 2023. № 4. С. 530–543.
2. Bakare A., Mosuro A., Osibanjo O. An in vivo evaluation of induction of abnormal sperm morphology in mice by landfill leachates, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis,* Vol. 582, Is. 1–2. 2005. pp. 28-34. https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2004.12.007.
3. Benfenati E, Pierucci P., Fanelli R., Preiss A., Godejohann M., Astratov M., Levsen K., Barceló D. Comparative studies of the leachate of an industrial landfill by gas chromatography–mass spectrometry, liquid chromatography–nuclear magnetic resonance and liquid chromatography–mass spectrometry, *Journal of Chromatography A,* Vol. 831, Is. 2. 1999. pp. 9673. https://doi.org/10.1016/S0021-9673(98)00949-2.
4. Allan J., Vrana B., Greenwood R., Mills G. A., Roig B., Gonzalez C. A "toolbox" for biological and chemical monitoring requirements for the European Union's Water Framework Directive, *Talanta,* Vol. 69, Is. 2. 2006. pp. 302-322. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.09.043.
5. ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus і *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (ISO 10706:2000, MOD)
6. Про управління відходами: Закон України від 29.06. 2023 р. № 2320-IX / Відомості Верховної Ради України. Київ: Парлаи. вид-во, 2023. 25 с. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#n987 (дата звернення: 15.11.2024).

УДК 614.777.7:677.061.2
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.31

СТАЛИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ТЕКСТИЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ: ДОСВІД ЧЕХІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ В УКРАЇНІ[1]

Крючкова В.В., Тихомирова Т.С., Чікірякін К.В.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, 61000, м. Харків
valeriia.kriuchkova@mit.khpi.edu.ua, tetiana.tykhomyrova@khpi.edu.ua, kyrylo.chikiriakin@mit.khpi.edu.ua

Проблема ефективного управління текстильними відходами набуває все більшої актуальності у зв'язку зі стрімким зростанням виробництва та споживання текстильної продукції. Світова індустрія моди стимулює швидку моду та одноразове використання одягу, що призводить до значного збільшення обсягів текстильних відходів.

Дане дослідження порівнює практику управління текстильними відходами в Україні та країнах Європейського Союзу, зокрема Чехії. В роботі проведено аналіз законодавчої бази, інфраструктури збору та переробки, а також поведінку споживачів у цих країнах. Особлива увага у роботі приділяється впливу військових дій в Україні, які стали каталізатором серйозних проблем у сфері управління текстильними відходами.

Результати дослідження вказують на значний розрив між Україною та країнами ЄС у сфері управління текстильними відходами. В Україні відсутня чітко визначена національна стратегія, а рівень переробки текстильних відходів є одним з найнижчих в Європі. Натомість, країни ЄС, зокрема Чехія, мають добре розвинену систему збору та сортування текстильних відходів, що підтримується відповідним законодавством.

Аналіз проведених досліджень вказує на зростання екологічної свідомості серед молоді, що проявляється у прагненні до сортування та переробки текстильних відходів, в тому числі текстильних відходів споживання. Проте, значні соціально-економічні зміни останніх років, пов'язані з масштабними руйнуваннями та вимушеною міграцією населення, суттєво вплинули на систему управління відходами. Це призвело до збільшення обсягів текстильних відходів споживання та вимагає розробки нових підходів до його утилізації.

На основі проведеного аналізу сформульовано пропозиції щодо покращення ситуації в Україні. Серед них: розробка та впровадження національної стратегії управління текстильними відходами, створення ефективної системи збору та сортування, стимулювання розвитку інфраструктури для переробки текстилю, проведення масштабних інформаційних кампаній серед населення та залучання бізнесу до вирішення цієї проблеми.

Результати дослідження можуть бути використані для розробки ефективних політик у сфері управління відходами в Україні, а також для підтримки переходу до циркулярної економіки. *Ключові слова:* текстильні відходи споживання, управління відходами, циркулярна економіка, Європейський зелений курс, порівняльний аналіз, сталий розвиток, військові дії. Європейський Союз, Чехія.

Sustainable approach to textile waste management: the experience of the Czech Republic`s experience and prospects of its use in Ukraine. Kriuchkova V., Tykhomyrova T., Chikiriakin K.

Effective textile waste management problem is becoming increasingly relevant due to the textile production and consumption rapid growth. The global fashion industry stimulates fast fashion and disposable clothing, which leads to a significant increase in the textile waste volume.

This study compares the textile waste management practice in Ukraine and European Union, in particular the Czech Republic. The legislative framework, collection and recycling infrastructure, as well as consumer behavior in these countries were analyzed. Particular attention was paid to full scale invasion impact in Ukraine, which have become a catalyst for serious problems in textile waste management area.

The study results indicate a gap between Ukraine and the EU countries in the textile waste management area. Ukraine lacks a clearly defined national strategy, and textile waste recycling level is one of the lowest in Europe. In contrast, EU countries, in particular the Czech Republic, have a well-developed textile waste collection and sorting system, supported by relevant legislation.

It was indicated a growing environmental awareness among young people, which is manifested in the desire to sort and recycle textile waste, including consumer textile waste. However, significant socio-economic changes in recent years, associated with large-scale destruction and forced population migration, have significantly affected the waste management system. This has led to an increase in consumer textile waste volume and requires the new approaches development to its disposal.

Based on the conducted analysis, proposals have been formulated to improve the situation in Ukraine. Among them: national textile waste management strategy development and implementation, effective collection and sorting system creation, stimulation of the infrastructure development for textile recycling, large-scale information campaigns among the population and business involvement in solving this problem.

The study results can be used to develop effective policies in waste management area in Ukraine, as well as to support the transition to a circular economy. *Key words:* consumer textile waste, waste management, circular economy, European Green Deal, comparative analysis, sustainable development, full scale invasion, European Union, Czech Republic.

[1] Дослідження виконується в межах реалізації ініціативної тематики кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ ХПІ К5306 «Розробка наукових основ управління та утилізації твердих відходів»

Постановка проблеми. Світове виробництво текстилю стрімко зростає, головним чином через вплив індустрії моди, яка стимулює постійне оновлення товарів, особливо одягу, взуття та домашнього текстилю. Очікується, що споживання текстильних виробів зросте на 63% до 2030 року, досягнувши 102 мільйонів тон [1, с. 2]. Цей тренд супроводжується нестійким споживанням, при якому одяг використовується коротший період часу і викидається, що призводить до перевиробництва і швидкого утворення відходів.

У країнах ЄС текстильна промисловість відіграє важливу економічну роль і має значний потенціал для переходу до циркулярної економіки. Цей сектор налічує велику кількість компаній та забезпечує робочі місця для мільйонів людей. У межах Європейського зеленого курсу (ЄЗК) текстильна промисловість визначається як ключовий ресурсоємний сектор економіки, що може стати взірцевою демонстрацією переходу до сталих моделей виробництва та споживання. Траєкторія ЄЗК передбачає зменшення вуглецевого сліду та використання природних ресурсів, у той час як текстильний сектор є одним із найбільших споживачів води та енергії. Тому оптимізація використання матеріалів, запровадження практик повторного використання та ремонтів, а також розробка нових технологій для переробки текстильних відходів можуть значно скоротити екологічний вплив та ресурсозалежність [2].

13 серпня 2020 року Україна передала Єврокомісії позиційний документ щодо участі у Зеленому Курсі. За ним пропонується встановлення регулярного діалогу з ЄС щодо залучення України до розробки та реалізації політик у рамках ЄЗК, а також розробки спільної дорожньої карти [3, с. 1]. У січні 2020 року представлено проєкт Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року, так званий «Український Зелений Курс». Однак через початок активних бойових дій, реалізація проєкту відбувається вкрай повільно [4, с. 1].

Наразі Україна лише починає свій шлях до впровадження сталих моделей поводження з текстильними відходами. Незважаючи на те, що законодавство вже почало враховувати європейські стандарти, таких як розширена відповідальність виробників (РВВ), рівень переробки текстилю залишається вкрай низьким. Відсутність ефективної інфраструктури для збору й переробки текстильних відходів ускладнює ситуацію, зокрема на деокупованих територіях.

Актуальність дослідження. Необхідність розробки концепції поводження з текстильними відходами з урахуванням національних та регіональних особливостей зафіксовано у низці затверджених нормативно-правових документів: Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [5, с. 2]; Цілей сталого розвитку на період до 2030 року [6, с. 1]; Національної економічної стратегії на період до 2030 року [7, с. 1]; Плану проєкту відновлення України [8, с. 11] тощо. Рівень уваги до даного питання є значним, як серед науковців та органів державної влади, так і в бізнес середовищі. Розуміння регіональних особливостей утворення, утилізації, нагромадження вживаних текстильних матеріалів мають важливе значення для формування політики у галузі поводження з відходами.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження тісно пов'язано з досягненням Україною завдань цілі сталого розвитку № 12 «Забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва», тому числі прогресу у завданні 12.4 «Зменшити обсяг утворення відходів і збільшити обсяг їх переробки та повторного використання на основі інноваційних технологій та виробництв» [9, с. 92].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема поводження з текстильними відходами широко висвітлюється в науковій літературі. Автори [1, с. 3; 10, с. 7] вважають, незадовільна якість готових виробів впливає на їх довговічність та придатність до вторинної переробки. Такі тенденції ще більше посилюють вплив даного сектору на довкілля.

У роботах [2, с. 11, с. 12] автори розглядають кругові бізнес-моделі, які можуть зробити ланцюжок створення вартості для європейського ринку текстилю більш циклічним. Аналіз наявних та встановлення нових практик ремонту, повторного використання та переробки текстильних виробів, які можуть сприяти збільшенню кругової економіки в ЄС представлені в роботах [12, с. 21; 13, с. 20].

Вітчизняна практика поводження з текстильними відходами досліджена у [14, с. 17]. Автори вважають, що в порівнянні з регулюванням ЄС, українській нормативній базі наразі бракує чітких визначень понять, які відносяться до циркулярної економіки, а також закріплених принципів ієрархії відходів, виокремлених схем розширеної відповідальності виробників і детальних регулювань та процедур поводження з ними. Однак, врахування успішного досвіду та темпи розвитку циркулярної економіки ЄС, а також прийнятий Україною європейський вектор розвитку дасть змогу суттєво пришвидшити процес впровадження циркулярної економіки на теренах держави.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наявні на сьогодні дослідження недостатньо висвітлюють проблему управління текстильними відходами в Україні, особливо в її промислових регіонах та на деокупованих територіях. Відновлення країни після війни потребує орієнтації на сталий розвиток та циркулярну економіку, що і визначає актуальність подальших досліджень у цій сфері.

Новизна. Через військові дії реалізація європейських угод щодо поводження з відходами в українському законодавстві відбувається повільно. Крім того, в чинній вітчизняній практиці управління від-

ходами недостатньо уваги приділяється текстильній складовій. У зв'язку з цим, новизна даного дослідження полягає в аналізі досвіду Чехії щодо поводження з текстильними відходами, з можливістю його подальшого впровадження в Україні з урахуванням національних культурно-ціннісних та економічних особливостей. Це дослідження спрямоване на адаптацію кращих європейських практик до українських реалій, що є важливим етапом у напрямі сталого розвитку і гармонізації з європейськими стандартами.

Методологічне або загальнонаукове значення. Порівняльний аналіз факторів накопичення та процесів поводження з текстильними відходами споживання (ТВС) в Україні та Чехії дозволить сформулювати основні положення концепції сталого управління таким типом відходів, в тому числі на деокупованих територіях.

Виклад основного матеріалу. Шлях до сталого розвитку накладає нові зобов'язання на окремі держави-члени, спрямовані на досягнення вищезазначених цілей. Наприклад, згідно зі статтею 11 (1) переглянутої Директиви (ЄС) 2018/851 Європейського парламенту та Ради від 30 травня 2018 року про внесення змін до Директиви 2008/98/ЕС про відходи, опублікованої в Офіційному журналі ЄС 14 червня 2018 року, держави-члени зобов'язані запровадити сортоване збирання текстилю з 1 січня 2025 року [15, с. 3]. В ЄС визнають, що трансформація текстильної промисловості є одним із пріоритетних напрямків в контексті впровадження циркулярної економіки та наголошує, що виробники текстильних матеріалів повинні застосовувати методи еко-дизайну та інших інструментів, які забезпечать їх залученість до систем виробництва та використання товарів замкнутого циклу [12, с. 22]. Такі системи вимагають стимулювання виробників та споживачів до повторного використання ресурсів та текстильних продуктів.

До ТВС відноситься вживаний або невикористаний, але не модний одяг будь-якого розміру та типу, м'які іграшки, взуття, домашній текстиль – наприклад, постільна білизна.

На чеському рівні положення поводження з ТВС ґрунтується на законодавчій базі направленій на поводження з відходами, ухваленій в грудні 2020 року. Основна мета – збільшити сортування і переробку відходів, скоротити скидання відходів, а також транспонувати і виконати діюче законодавство ЄС і цільові показники щодо відходів. Воно вже містить конкретні пропозиції щодо інструментів, наприклад: обов'язкові пункти роздільного збору текстильних виробів з 2025 року. Затвердженими цілями також є запровадження системи роздільного збору текстильних відходів на муніципальному рівні. Однак вже зараз за підтримки адміністрації, бізнесу та благодійних організацій на вулицях міст встановлено контейнери для збору вживаного одягу, взуття та м'яких іграшок. Наразі в країні зареєстровано близько 10 компаній, котрі займаються контейнерним збором текстильних відходів, переважно одягу, та близько 10 тисяч контейнерів для такого збору [16].

Контейнери для збору текстилю (рис. 1) відрізняються кольорами залежно від організацій, які їх встановлюють, але правила прийому однакові. Чистий одяг потрібно запаковувати в мішки для зручного транспортування. Окрім текстилю, деякі контейнери приймають взуття та плюшеві іграшки. Важливо, що контейнери не призначені для домашнього текстилю (штори, ковдри, килими, подушки). Такий текстиль

а) б) в) г)

Рис. 1. Контейнери для збору текстильних відходів м. Пльзень (Чехія)

а) Kloktex; б, в) Textileco; г) Potex

можна здати у пункти збору вторинної сировини або магазини секонд-хенду. Зібраний текстиль розподіляється на три категорії: для повторного використання (благодійність, секонд-хенд), переробки на волокна, або для термічної утилізації [16].

На відміну від розвиненої системи контейнерного збору ТВС у Чехії, в Україні ситуація є менш систематизованою та майже не керованою. Наявність контейнерів для збору ТВС в основному залежить від місцевих ініціатив, зусиль громадських та релігійних організацій та бізнесу.

Серед ключових відмінностей між системами збору текстильних відходів в Чехії та Україні можна виділити:

– Рівень організації: в Чехії система збору текстильних відходів є більш централізованою та інтегрованою в загальну систему управління відходами. В Україні ж вона носить розрізнений характер, з великою кількістю локальних ініціатив.

– Законодавча база: законодавча база Чехії чітко регулює збір, переробку та утилізацію текстильних відходів. В Україні відповідне законодавство перебуває на стадії формування.

– Масштаби збору: в Чехії навіть у невеликих містах з населенням менше 50 тис осіб встановлені контейнери для збору текстильних відходів споживання. В Україні контейнери для збору ТВС зустрічаються переважно у великих містах та біля торгових центрів, в магазинах одягу з іноземним капіталом, де такі контейнери є частиною корпоративної культури та політики, рідше – біля релігійних закладів.

– Види текстильних відходів. Класифікація текстильних відходів в європейських країнах обумовлена чіткими правилами, відповідно до яких здійснюється її сортування. В Україні така класифікація є менш розвиненою.

З метою визначення рівня ставлення споживачів до використання контейнерів для збору текстильних відходів споживання, було проведено соціологічне опитування. У дослідженні взяли участь по 100 респондентів з Чехії та України віком від 18 до 65 років (табл. 1).

Отримані дані підтверджують, що молоді люди в обох країнах більш схильні до сортування текстильних відходів та вибору екологічно чистих методів їх утилізації. У той час як **споживачі старшого віку**

Таблиця 1

Порівняльний аналіз методів утилізації зношених предметів одягу та домашнього текстилю за віковими категоріями жителів Чехії та України

Метод утилізації зношених предметів одягу та домашнього текстилю	Вікова категорія респондентів	Результати опитування у %	
		Чехія	Україна
Здача до спеціальних контейнерів	18 – 30 років	41	30
	30 – 40 років	35	18
	40 – 50 років	18	15
	50 – 65 років	6	37
Несистематичне прилаштування за допомогою безкоштовних дошок об'яв в мережі Internet	18 – 30 років	30	35
	30 – 40 років	22	30
	40 – 50 років	7	15
	50 – 65 років	2	5
Здача до пункту прийому (домашній текстиль)	18 – 30 років	21	15[1]
	30 – 40 років	30	22
	40 – 50 років	45	30
	50 – 65 років	4	-
Здача до контейнерів змішаних відходів	18 – 30 років	12	20
	30 – 40 років	20	30
	40 – 50 років	22	17
	50 – 65 років	48	27
Віддаю родичам в спадок	18 – 30 років	20	25
	30 – 40 років	8	15
	40 – 50 років	3	10
	50 – 65 років	1	1
Використовую при проживанні у позаміськогму будинку	18 – 30 років	6	10
	30 – 40 років	7	15
	40 – 50 років	12	28
	50 – 65 років	41	45

Примітка: 1 – в Україні під пунктами прийому мались на увазі в тому числі благодійні організації, які на постійній або періодичній основі приймають текстильні відходи споживання.

здебільшого продовжують утилізувати текстильні вироби шляхом викидання у контейнери для змішаних відходів. Зі збільшенням віку, люди все менше залежать від придбання нових речей, віддають перевагу довшому використанню одягу або навіть зберігають морально застарілий текстиль для подальшого використання. Така ситуація вказує на те, що саме молодь має більш екологічне мислення та розуміння необхідності сортування та переробки текстильних відходів.

Однак, наявність розвиненої інфраструктури для збору текстильних відходів, як у Чехії, має значний вплив на загальну екологічну свідомість населення. Відсутність зручних та доступних способів утилізації текстильних відходів в Україні призводить до того, що значна частина населення, особливо старшого покоління, продовжує використовувати традиційні методи, такі як віддавання речей родичам або вивезення на дачі та у село. Після тривалого використання не за призначенням або зберігання «на горищах» одяг стає на 100% не придатним для будь-яких операцій, окрім потрапляння на смітник, часто не санкціонований, або, у кращому випадку, на полігон твердих побутових відходів.

На другому етапі дослідження було проаналізовано морфологічного складу ТВС серед чеських та українських споживачів [17, с. 27] (рис. 2).

Для обох країн характерним є понад 35% дитячого одягу у складі текстильних відходів споживання, що зумовлено швидким ростом дітей; більша кількість жіночого одягу, ніж чоловічого у складі текстильних відходів споживання, що може бути пов'язано з ефектом «швидкої моди», яка більше впливає саме на жінок.

Перерахунок між даними за 2018 рік щодо виробництва відходів за кількістю жителів за даними CZSO показує, що Чехія була сьомим за величиною виробником ТВС у ЄС із середньою кількістю 12,36 кг на людину [17, с. 30]. З них 40% завдяки роздільному збору реалізується через мережу місцевих магазинів типу секонд-хенд, 30% потрапляє у розпорядження благодійної організації Червоний Хрест, від 10 до 15% у подрібненому стані використовується в якості наповнювачів у крафтові меблі та ліжанки для тварин, до 15% використовується підприємствами та станціями технічного обслуговування автомобілей в якості ганчір'я, решта утилізується термічним способом з отриманням енергії. В Україні станом на 2020 рік в Україні утворилося приблизно 180 тисяч тон текстильних відходів, або 4 кг на душу населення [18, с. 2]. З яких близько 80% ТВС закінчують свій життєвий цикл на полігонах, 10% скидаються на несанкціоновані звалища, а лише 10% залучаються до вторинної переробки.

Зазначимо, що офіційної статистики щодо зміни морфологічного складу текстильних відходів споживання, кількості їх утворення в окремих регіонах з початку повномасштабного вторгнення нема. Далі автори наводять дані власних досліджень. Активна фаза бойових дій по різному вплинула на кількість утворених ТВС у різних регіонах країни, а саме:

– У регіонах, де постійно руйнуються оселі громадян, кількість ТВС зросла, адже в залежності від ступеню руйнування помешкань від 25 до 100% текстильних виробів стають повністю не придатними для використання. Згідно проведених авторами досліджень у м. Харків з квартири площею 30 м^2, де мешкало двоє осіб, на смітник після руйнування

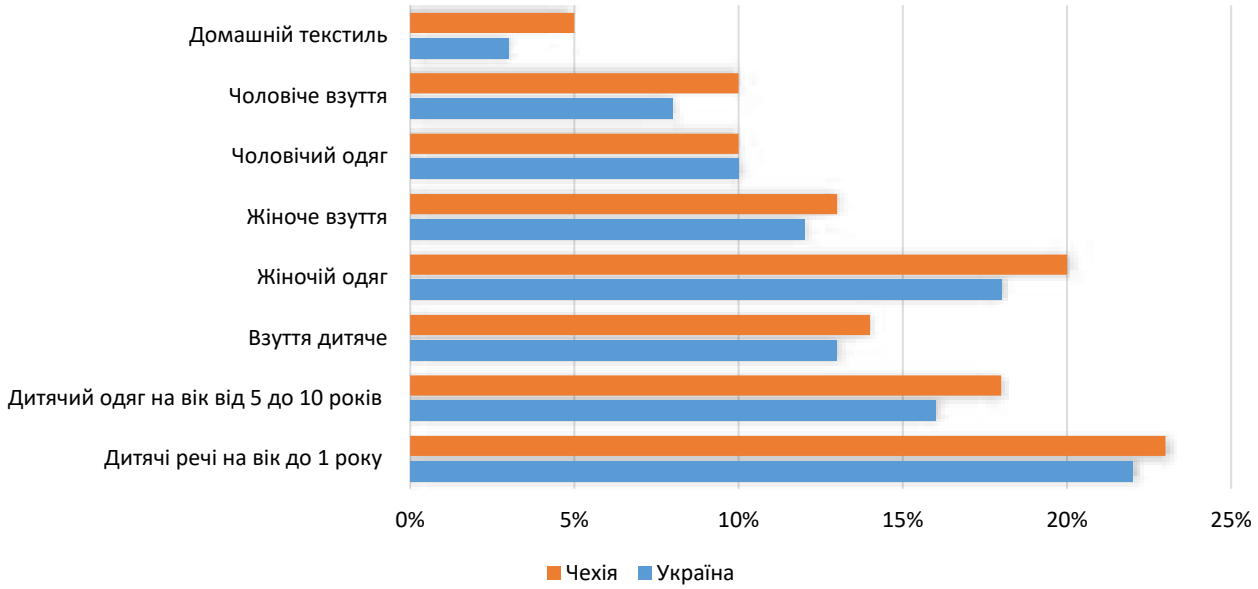


Рис. 2. Морфологічний склад ТВС у Чехії та в Україні

потрапляє від 5 до 15 кг текстилю, забрудненого сумішшю пилу та води (рис. 3а).

– У регіонах, куди переїхали люди з прифронтових територій, місцеві мешканці щиро ділились накопиченими предметам одягу та домашнього текстилю. Загальною тенденціє було передача постільної білизни та рушників, які були виготовлені ще за радянських часів. Відбувався процес «розконсервування запасів», що за три роки повномасштабного вторгнення призвело до переходу частини таких запасів у категорію текстильні відходи споживання, оскільки старі текстильні вироби швидко втрачали свої функціональні можливості, а застарілий та не модний одяг взагалі з сортувальних центрів потрапляв на полігони відразу (за оцінками волонтерів у м. Львів, до 50% переданих їм текстильних виробів для внутрішньо переміщених осіб не були придатними о будь-якого використання). Свій вклад у збільшення загальної кількості ТВС внесла й гуманітарна допомога, частина з якої не була розподілена, не користувалась попитом та була переміщена на полігони та сміттєзвалища (рис. 3б).

Погіршення фінансового стану родин у всіх регіонах країни спонукало населення о активного використання магазинів секонд-хенд для оновлення гардеробу. Загальною тенденцією у цьому випадку є придбання більшої, ніж необхідно, кількості відносно дешевого одягу, які за рік – два стає текстильним відходом споживання, часто навіть без тривалого використання у нових господарів. За даними [19, с. 71] встановлено, що до 22% родин, які мають дітей й до 24.02.2022 лютого користувалися магазинами вживаного одягу. З початком бойових дій кількість людей, які купують дитячий одяг в секонд-хендах зросла на 14%, а кількість людей, які купують одяг для всієї родини в секонд –хендах збільшилась на 7%.

– Використання ТВС для виготовлення маскувальних засобів у перший рік повномасштабного вторгнення призвело до суттєвого зменшення обсягу таких відходів в окремих регіонах та переміщення їх у вигляді сіток у прифронтові регіони та на фронт. Проте, така тенденція в наступні роки значно зменшилась. Це пов'язано з необхідністю виділяти людей та час на сортування по кольорах та типах тканини, вилучення фурнітури та прорізку одягу на стрічки, що є неефективним у процесі виготовлення маскувальних засобів. На сьогодні, згідно з власних досліджень, 5 з 7 осередків виготовлення маскувальних засобів у м. Київ та 4 з 5 у м. Львів, які у 2022 році активно приймали одяг саме для виготовлення сіток, перейшли на текстильні відходи від швацьких виробництв, які найчастіше вже відсортовані за кольорами та потребують менших витрат на прорізку, або закуповують нову тканину.

– Не можливо оцінити кількість одягу, особливо дитячого, який було передано за допомогою об'яв в мережі інтернет у групах взаємодопомоги, не можливо відстежити кількість переміщеного в середині області та поза її межами такого одягу, а головне – відсоток його цільового використання.

Головні висновки. Відсутність єдиної концепції поводження з текстильними відходами споживання, які в тому числі є частиною відходів руйнування,

а) б)

Рис. 3. Приклад заповненого контейнеру для твердого побутового сміття ТВС: а) м. Харків, жовтень 2024 [20]; б) м. Львів, листопад 2024 [21]

призводить до збільшення їх кількості на полігонах та стихійних сміттєзвалищах. На регіональному рівні окремі ініціатив по збору текстильних відходів споживання, їх вторинного використання за прямим або іншим призначенням не здатні суттєво зменшити кількість таких відходів на полігонах, оскільки носять не системний характер, місця збору розташовані не зручно відносно основних шляхів переміщення населення, графік роботи не зручний для працюючої частки населення.

Економічний потенціал від продажу відсортованих текстильних відходів споживання, їх ремонту або вторинного використання в інших виробах, в тому числі hand made, може стати одним з лементів післявоєнної відбудови України. Підтримка локальних ініціатив на деокупованих територіях в сфері управляння ТВС може стати запорукою їх економічного відновлення та зростання.

При запровадженні досвіду Чехії та улаштуванню контейнерів для збору ТВС необхідно зробити наступні кроки:

1) провести ґрунтовне дослідження морфологічного складу ТВС з метою розуміння регіональних особливостей;

2) створити муніципального оператора управління такими відходами або підтримати приватного за рахунок надання пільг на оренду приміщення, безвідсоткових кредитів, можливості без перешкод передавати частину речей у соціальні дитячі та геронтологічні заклади, відкривати соціальні крамниці тощо;

3) провести широку інформаційну кампанію серед населення з метою стимулювання вторинного використання ТВС та їх передачі у спеціально відведені місця; розповсюдити інформацію про концепцію капсульного гардеробу; інформувати про небезпеку стихійних сміттєзвалищ текстилю для довкілля та про негативні наслідки явища «швидкої моди»;

4) стимулювати населення ремонтувати одяг, в тому числі через інформаційні кампанії про легкі та зручні способи ремонту одягу, особливо дитячого; у великих містах необхідно створити майстерні ремонту одягу для пільгових категорій, де послуг будуть безкоштовними.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати порівняння досвіду Чехії та існуючої ситуації в Україні в сфері поводження з ТВС можуть бути використані при розробці регіональних програм підтримки та розвитку, стати елементом відновлення економічної стабільності у післявоєнний час. Для повноцінного використання економічного потенціалу від сталого поводження з ТВС необхідно використовувати наукові засади такого поводження.

Література

1. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. EU strategy for sustainable and circular textiles. Brussels, 30.3.2022. COM(2022) 141 final. P.14. URL: https://ur0.jp/E8Duq (дата звернення:02.11.2024).
2. European Green Deal. European Council. Council of the European Union. URL: https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/ (дата звернення: 02.11.2023).
3. Європейський зелений курс (European Green Deal). Представництво України при Європейському Союзі. 15.04.2021 С. 4 URL: https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda (дата звернення: 03.11.2023).
4. Проект Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. Міністерство енергетики та захисту довкілля України. 21.01.2020 р. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/prezentovano-proekt-koncepciyi-zelenogo-energetichnogo-perehodu-ukrayini-do-2050-roku (дата звернення: 03.11.2023).
5. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 08.11.2017 № 820-р / Кабінету Міністрів України URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text (дата звернення: 03.11.2024).
6. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019 / Президент України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019 (дата звернення: 03.11.2024).
7. Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року : Постанова Кабінету Міністрів України; Стратегія від 03.03.2021 № 179 / Кабінету Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-п (дата звернення: 04.11.2024).
8. Проєкт Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Екологічна безпека» Липень 2022 /Національна рада з відновлення України від наслідків війни. URL: https://ur0.jp/bynx (дата звернення: 04.11.2024).
9. Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf (дата звернення: 04.11.2024)
10. EEA (2022) Textiles and the environment: the role of design in Europe's circular economy. *European Topic Centre Circular Economy and Resource Use.* Eionet Report – ETC/CE 2022/2. P. 86. URL: https://www.cscp.org/wp-content/uploads/2022/03/ETC_Design-of-Textiles.pdf (дата звернення: 04.11.2024).
11. Donatello, S., Dunnek, J., Löw, C., Watson, D., et al. Prospects for a Closed-loop Economy in the EU Textile Sector – Final Report. *European Commission: Joint Research Centre*. Publications Office, 2021. P. 143. URL: https://data.europa.eu/doi/10.2760/858144 (дата звернення: 04.11.2024).
12. How Ecodesign can make our textiles circular. ECOS. Mundo-b, the Brussels Sustainable House. Brussels, Belgium. 2021. P. 32. URL: https://ecostandard.org/wp-content/uploads/2021/04/ECOS-REPORT-HOW-ECODESIGN-CAN-MAKE-OUR-TEXTILES-CIRCULAR.pdf (дата звернення: 05.11.2024).

13. Åsa Östlund, Sandra Roos, Susanne Sweet, Emma Sjöström. Sustainability in Textiles and Fashion. *Mistra dialogues, Investor Brief.* Stockholm, Sweden. 2020. P.56 URL: https://ur0.jp/foDUX (дата звернення: 05.11.2024).
14. Кращі європейські практики управління відходами: навчально – методичний посібник. / уклад. : А. Войціховська, О. Кравченко, О. Мелень-Забрамна, М. Панькевич. Львів: 2019. 66 с. ISBN 978-966-2400-74-8
15. Directive (EU) 2018/851 of the the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste. 2018. P. 41. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018L0851 (дата звернення: 05.11.2024).
16. Textil. Tříděné odpady. Jaktridit.cz URL:https://www.jaktridit.cz/cz/trideni/tridene-odpady/textil/ (дата звернення: 05.11.2024).
17. Jonasova S., Zoumpalova T., Moldan B. Analysis of the amount of textile waste in mixed municipal waste in the Czech Republic between 2016 and 2021. *Waste Forum*, Prague.Czech Centre for Environmental Management2022. № 4 P. 271–283.
18. Крючкова В.В., Тихомирова Т.С. Європейський досвід управління текстильними відходами: можливості для України в умовах екологічних викликів та повоєнного відновлення. XVIII Міжнародна науково-практична конференція магістрів та аспірантів *«Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених* (Харків 19 – 22 листопада 2024 року) Харків: НТУ «ХПІ». 2024. С.
19. Крючкова В.В., Тихомирова Т.С. Дослідження екологічних наслідків споживання текстильних виробів з магазинів типу "Секонд-хенд". *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського».* Кременчук: КрНУ, 2023. № 6 (143). С 68-74 DOI
20. Реюз. Пропозиції та пошук. Ясортую. URL: https://www.facebook.com/groups/reuse.station (дата звернення: 04.11.2024).
21. Reuse Львів. Обмін речами. Зелена коробка. URL: https://www.facebook.com/groups/reuselviv (дата звернення: 04.11.2024).

УДК 502.17
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.32

ЗАКАЗНИЙ РЕЖИМ В ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОМУ ФОНДІ УКРАЇНИ: СТАНОВЛЕННЯ ТА ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Лукіша В.В., Ковальова Н.І.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35 (2 корп.), 03035, м. Київ

Вивчені результати досліджень становлення та розвитку заказного режиму в системі природно-заповідного фонду України. Категорія заказників бере початок з часів зародження феодальних відносин та власності на землю, знайшовши своє відображення в сучасному природоохоронному законодавстві України та деяких інших країн.

Окреслено проблеми, що потребують розв'язання: нормативно-правового затвердження критеріїв для визначення категорій ПЗФ; дотримання законодавства у сфері земельних відносин; відсутність моніторингу та належного контролю за дотриманням режиму охорони і використання територій заказників; наявність корупційних тенденцій в суспільстві з намаганнями використати землю і природні ресурси для потреб, не сумісних із заповіданням. Встановлено, що еволюція українського природоохоронного законодавства щодо регламентування охоронного режиму в заказниках характеризується сповільненою реакцією на актуальні потреби природоохоронної сфери. Як наслідок, траплялися випадки втручання в природні комплекси заказників, зокрема рубками лісу, втрати їх цінностей, раритетних видів флори і фауни та розвиток антропогенних сукцесій.

На прикладі природно-заповідного фонду м. Києва та Київської області, обраного як модельний для Середнього Придніпров'я, показано динаміку створення заказників у розрізі їх підкатегорій до і після набуття незалежності України. За 33 роки незалежності на території Києва та області було створено 161 заказник загальною площею 89,78 тис. га – темпи створення виявилися в 3,61 раза вищими, ніж за радянський період 1972–1990 рр. При цьому за період 2001–2023 рр. спостерігається тренд до зменшення загальної площі створених заказників та до збільшення їх кількості. За останні 3 роки (2021–2023 рр.) було створено 48 заказників загальною площею 2,21 тис. га, а середня площа 1 заказника (46,04 га) виявилася в 16,8 разів меншою, ніж в період 1991–2020 рр. Серед створених в межах території Києва та Київської області заказників в розрізі підкатегорій за кількістю лідирують ландшафтні, ботанічні та лісові, а за загальною площею – загально зоологічні, ландшафтні та гідрологічні.
Ключові слова: природоохоронні території, заказники, динаміка створення, режим охорони, проблеми.

The reservation regime in the nature reserve fund of Ukraine: formation and problems of functioning. Lukisha V., Kovaleva N.

The article presents the results of research into the formation and development of the reservation regime in the system of the nature reserve fund of Ukraine. The category of reserves dates back to the emergence of feudal relations and land ownership, having found its reflection in the modern environmental legislation of Ukraine and some other countries.

The problems that need to be solved are outlined: regulatory and legal approval of the criteria for determining the categories of reserves; compliance with legislation in the field of land relations; lack of monitoring and proper control over compliance with the protection regime and use of reserve territories; the presence of corruption tendencies in society with attempts to use land and natural resources for needs incompatible with the reservation. It is established that the evolution of Ukrainian environmental legislation regarding the regulation of the protection regime in reserves is characterized by a slow response to the current needs of nature conservation. This resulted in cases of interference in the natural complexes of reserves, including logging, loss of their values, rare species of flora and fauna, and the development of anthropogenic successions.

Using the example of the nature reserve fund of Kyiv and Kyiv region, chosen as a model for the Middle Dnieper, the dynamics of the creation of reserves in terms of their subcategories before and after the independence of Ukraine is shown. Over the 33 years of independence, 161 reserves with a total area of 89.78 thousand hectares were created on the territory of Kyiv and the region – the rate of creation was 3.61 times higher than during the Soviet period 1972–1990. At the same time, for the period 2001–2023. there is a trend towards a decrease in the total area of created reserves and an increase in their number. Over the past 3 years (2021–2023), 48 reserves with a total area of 2.21 thousand hectares have been created, and the average area of 1 reserve (46.04 hectares) was 16.8 times smaller than in the period 1991–2020. Among the reserves created within the territory of Kyiv and Kyiv region, landscape, botanical and forest reserves are the leading ones in terms of subcategories in terms of number, and general zoological, landscape and hydrological reserves in terms of total area. *Key words:* nature conservation areas, reserves, dynamics of creation, protection regime, problems.

Постановка проблеми. Одними із пріоритетних завдань державної екологічної політики України є збереження біотичного та ландшафтного розмаїття, розвиток мережі природно-заповідного фонду та забезпечення сталого (збалансованого) розвитку держави.

В Україні (станом на 01.01.24 р.) нараховувалося понад 9,0 тис об'єктів ПЗФ загальною площею 4,18 млн. га, показник заповідності склав 6,93% [1]. За часи незалежності цей показник збільшився у 3 рази, однак він не достатній для забезпечення екологічної безпеки країни. Законом України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2030 року» (2019 р.) передбачено збільшення показника заповідності у 2025 році до 12,5%, а в 2030 році – 15%.

Вітчизняна класифікація територій та об'єктів природно-заповідного фонду має 11 категорій, серед них до природних територій та об'єктів належать біосферні та природні заповідники, національні природні та регіональні ландшафтні парки, заказники, пам'ятки природи, заповідні урочища, а до штучно створених об'єктів – зоологічні, ботанічні та дендрологічні парки, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва [2].

На сьогодні заказники – найбільша за кількістю (39,4%) категорія ПЗФ України, яка займає 34,6% її площі. Серед видів режимів за ступенем забезпечення заповідання (абсолютного, відносного, змішаного) заказники відносять до режиму відносного або часткового заповідання, який полягає у поєднанні абсолютних заборон з можливістю обмеженого використання природних ресурсів [3].

У більшості країн, за винятком США, Канади та деяких інших, категорія заказників відсутня. Вона не зафіксована і в міжнародній класифікації системи МСОП (IUCN). Вітчизняні науковці та громадські природоохоронні організації [3] відносять близькі за функціональністю заказники, пам'ятки природи та заповідні урочища за відповідністю системі класифікації IUCN до групи IV – Середовище проживання / зона регулювання виду – Habitat Species Ma nagement Area. Така категорія спрямована на захист певних видів або місць зростань і управління цією територією та віддзеркалює цей пріоритет. Вона передбачає здійснення конкретних заходів для охорони певного виду чи збереження середовища.

Актуальність дослідження. В структурі природоохоронних територій України заказникам належить вагома частка, що пов'язано з історією її державотворення. У цьому полягає індивідуальність класифікації природоохоронних територій України. Актуальність дослідження полягає в необхідності з'ясування особливостей становлення та проблем функціонування режиму охорони в заказниках як невід'ємної складової заходів у мережі природно-заповідного фонду.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проведені в рамках виконання Пріоритетних напрямків наукових досліджень Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління на 2021–2025 рр., п. 8. «Розробляння методологічних та методичних засад збереження та відтворення біотичного та ландшафтного різноманіття в природно-заповідному фонді та екологічної мережі України» [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження різних аспектів формування та функціонування мережі природоохоронних територій та режимів заповідання представлені в наукових та науково-методичних роботах Т. Андрієнко, О. Байрак, В. Борейка, О. Василюка, Я. Дідуха, А. Драпалюк, А. Плиги, Є. Іваненка, І. Іваненка, Я. Мовчана, В. Онищенка, Г. Парчука, П. Плюти, С. Поповича, Б. Проця, О. Прядко, М. Стеценка С. Стойка, П. Устименка, В. Шевчука, Ю. Шеляг-Сосонка та ін., в яких розроблені основні принципи та методологічні основи обґрунтування, створення та функціонування об'єктів і територій природно-заповідного фонду, в тому числі заказників.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Хоча заказники за їх кількістю та загальною площею займають провідні позиції серед об'єктів ПЗФ України, предметом спеціальних комплексних досліджень вони за деякими винятками практично не були. Серед недостатньо вивчених питань – динаміка створення заказників, проблеми становлення та функціонування заказного режиму в ПЗФ України на основі системного підходу.

Новизна. Вперше на прикладі модельного регіоуі здійснено комплексний аналіз особливостей становлення та проблем, пов'язаних з функціонуванням заказного режиму в природно-заповідному фонді України, а також динаміки створення заказників в розрізі їх підкатегорій за період від уведення заказників до складу природно-заповідного фонду України і до наших днів.

Викладення основного матеріалу. Етимологія слова «заказник» ґрунтується на старослов'янському «указувати, наказувати» казати, карати «заказати, те, що і заборонити, не дозволяти…» [5]. Заказний режим в природних комплексах на терені сучасної України почав формуватися з часів утвердження феодалізму та зародження власності на землю в Київській Русі шляхом заборони чи обмеження лісових користувань в князівських, монастирських та приватних володіннях. Це стосувалося полювання на диких тварин, вирубування чи пошкодження дерев, бортництва тощо.

Перші законодавчі акти щодо охорони природних багатств на нинішній території України були видані у XI ст. у збірнику законів Ярослава Мудрого «Руська Правда», в якому визначена відповідальність за незаконний відстріл бобрів, деяких рідкісних видів птахів. В часи свого зародження заказний режим хоча і існував фактично, проте вживався як синонім заповідного. На території великих заповідників створених за наказом князя Данила Галицького (1220–1264 рр.) в межах сучасних Біловезької та Цуманської пущ заборонялося полювання, вирубування та пошкодження дерев тощо [6]. У XVIII ст.

за указами Петра І заповідними були оголошені т. з. «корабельні» ліси в 20–50-верстових смугах вздовж річок із забороною вирубування дерев різних порід, придатних для будівництва кораблів. Покарання за порушення заборон відзначалося виключною суворістю, аж до смертної кари.

На формування природоохоронного законодавства в Європі, царській Росії, з кінця XIX ст. – початку XX ст. а згодом – в Радянському Союзі значний вплив мала природоохоронна діяльність відомого німецького вченого – ботаніка, палеонтолога Гуго Конвенца (1855–1922), визнаного родоначальника концепції заповідності. На відміну від США і Канади, де створювалися великі за площею національні парки, Конвенц порушив питання про заповідання невеликих об'єктів природи, реалізувавши свої ідеї створенням т. з. повних резерватів («Плагефен», 177 га; «Пташине святилище», 182 га), які є аналогами сучасних українських заповідних урочищ [7]. Г. Конвенц реанімував термін «пам'ятник природи», запропонований ще в 1819 році О. Гумбольдтом, розвинув вчення про пам'ятники природи, наголошуючи на природному походженні таких об'єктів.

У «Положенні про пам'ятники культури і природи», затвердженому урядом Української РСР 16 червня 1926 р. (було чинним до 1945 року), поняття «пам'ятки природи» об'єднувало всі природоохоронні території [3].

Заказники в Українській РСР досить тривалий час функціонували як категорії господарського спрямування, пов'язані з мисливством. Цьому передувало заснування в царській Росії з 1916 року перших заповідників (заказників) як суто мисливських. Після Другої світової війни в Українській РСР існувала специфічна категорія природоохоронних територій – державні заповідно-мисливські господарства, які функціонально дублювали довоєнні мисливські заказники і були призначені для полювання партійних керівників. Державні мисливські заказники спеціального призначення як господарські утворення проіснували в Українській РСР до 1966 року. До складу природно-заповідного фонду вони були включені в 1972 році [8, 9]. Постановою Ради Міністрів УРСР № 311 (1983 р.) «Про класифікацію і мережу територій та об'єктів природно-заповідного фонду Української РСР» державні заказники набули статусу республіканського та місцевого значення [10]. Сучасну класифікацію територій та об'єктів природно-заповідного фонду, питання власності, основні вимоги щодо режиму охорони, використання та управління охоронними територіями визначено у прийнятому в 1992 році законі України «Про природно-заповідний фонд».

Залежно від характеру об'єктів охорони (природні комплекси в цілому або окремі їх компоненти) та їх режиму заказники поділяються на ландшафтні, лісові, ботанічні, загально зоологічні, орнітологічні, ентомологічні, іхтіологічні, гідрологічні, загально геологічні, палеонтологічні та карстово-спелеологічні. Заказники можуть мати статус загальнодержавного або місцевого значення. Оголошення заказників здійснюється без вилучення земельних ділянок, водних та інших природних об'єктів у їх власників або користувачів [2].

Створення, сучасний стан. З метою означення динаміки створення заказників за їх категоріями обрано природно-заповідний фонд м. Києва та Київської області як модельний для Середнього Придніпров'я. Станом на 01.01.2024 р. за даними кадастру природно-заповідний фонд м. Києва та області нараховує 559 об'єктів, що займають 318,12 тис. га, показник заповідності склав 10,99%.

Зазначено, що по набуттю заказниками статусу об'єктів природно-заповідного фонду з 1972 по 2023 рр. в межах території м. Києва та Київської області було створено 187 заказників загальнодержавного та місцевого значення загальною площею 102 818,21 га [1]. За радянський період (1972–1990 рр.) було створено 27 заказників загальною площею 13,04 тис. га, темпи їх створення – 1,35 шт. за рік, а середня площа 1 заказника склала 482,96 га (Рис. 1).

За 33 роки Незалежності України на територіях Києва та області було створено 161 заказник загальною площею 89,78 тис. га – темпи створення (4,88 шт./рік) виявилися в 3,61 рази вищими, ніж за радянський період. При цьому починаючи з 2001–2010 рр. до 2023 р. спостерігається тренд до зменшення загальної площі створених заказників та до збільшення. їх кількості. Примітно, що за останні три роки (2021–2023 рр.) було створено 48 заказників загальною площею 2,21 тис. га, а середня площа одного заказника (46,04 га) виявилася в 16,8 разів меншою, ніж середня за попередні 1991–2020 рр.

Серед створених у межах територій Києва та Київської області заказників у форматі підкатегорій за кількістю лідирують ландшафтні, ботанічні та лісові, а за загальною площею – загально зоологічні, ландшафтні та гідрологічні (Рис. 2) Ентомологічні, загально геологічні, палеонтологічні та карстово-спелеологічні заказники за цей період не створювались

Режим охорони. Наразі майже половина територій ПЗФ України знаходяться на землях лісового фонду. Лісові ценози займають вагому частку в заказниках таких підкатегорій як лісові, ботанічні, ландшафтні та ін. Положення про заказники розроблялися здебільшого без урахування специфіки природних комплексів і не містили прямих заборон щодо проведення лісогосподарських заходів (рубки догляду, лісовідновні, суцільні санітарні тощо). Так, за 12 років до зміни закону «Про ПЗФ» (2017) рубки в пралісових ділянках заказників Прикарпаття були проведені на площі 3 тис. га [11], а суцільні санітарні рубки в лісах Київщини були проведені в кожному

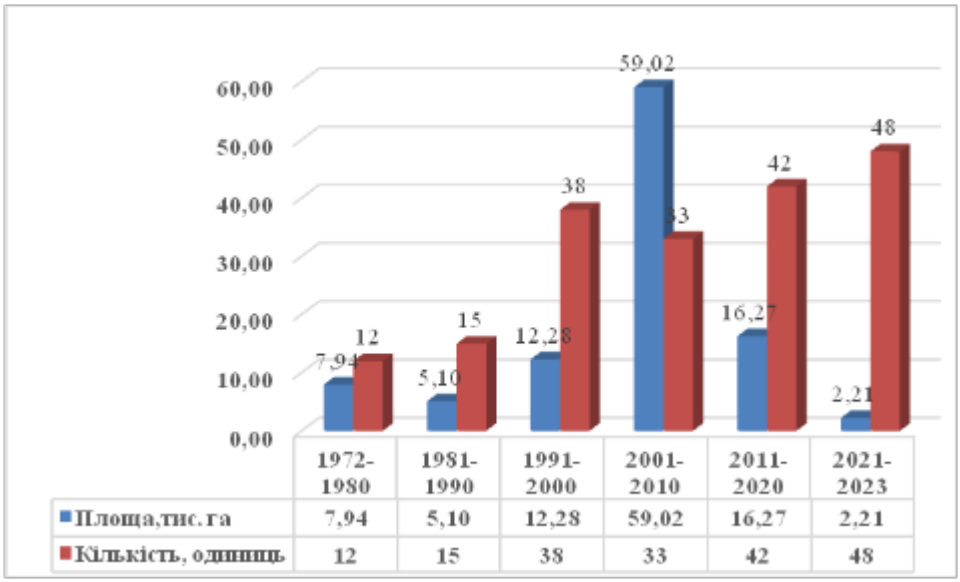


Рис. 1. Динаміка створення заказників в Києві та області за період з 1972 по 2023 рр.

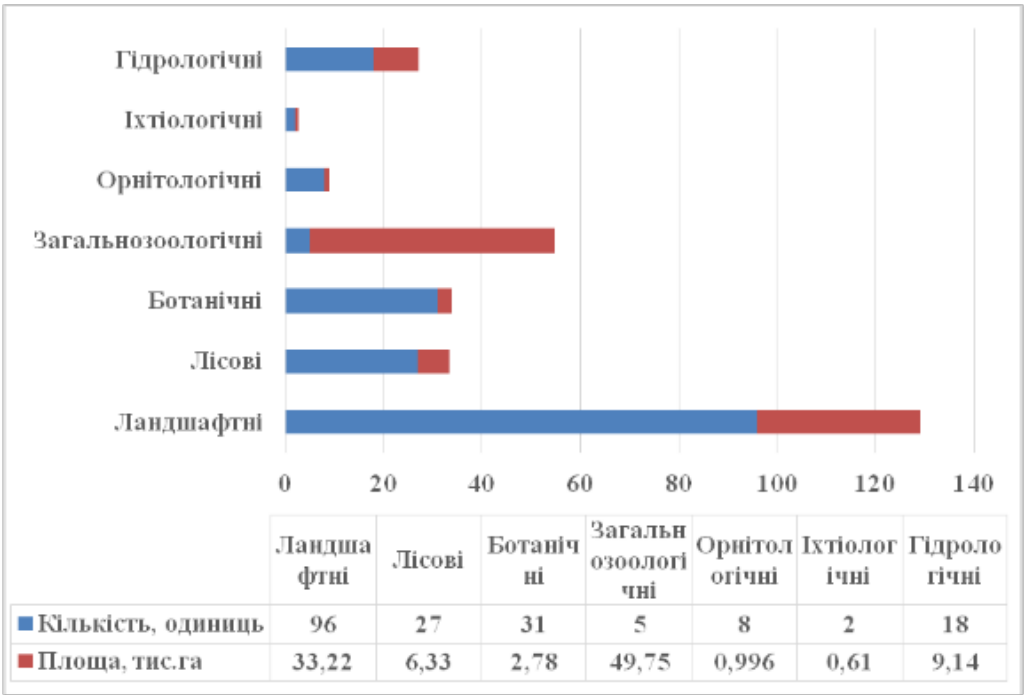


Рис. 2. Актуальні показники розподілу заказників Києва та області за підкатегоріями

третьому заказнику [12]. Досвід свідчить, що проведення санітарних рубок в старовікових лісах заказників часто призводило до їх знищення [13]. Тому розробленню та оновленню положень про заказники щодо регламентування господарських заходів в них важливо приділяти увагу з урахуванням природної зони, видового складу лісостанів, їх та походження, віку та інших чинників. В цьому аспекті варті уваги запропоновані П. Устименком [14] підходи до менеджменту заказного режиму залежно від стану лісових екосистем:

1. Клімаксовий з корінними лісостанами і режимом, близьким до заповідного.

2. Динамічний, в якому основними в системі заходів мають бути регулювання внутрішньо видових та міжвидових відношень в деревостанах рубками догляду.

3. Дегратогенний, представлений переважно штучно створеними насадженнями в зоні Степу, що потребують прижиттєвого догляду та відтворення.

Еволюція українського законодавства розвивалася переважно в напрямку регламентування

режиму заказників з лісовими ценозами. Перші регламенти охоронного режиму в заказниках були запроваджені відповідно до Закону України № 1826-VI (1826-17) від 21.01.2010 р., якими було обмежено або заборонено мисливство та діяльність, що суперечить цілям і завданням, передбаченим Положенням про заказник» [15]. Отже, законодавець акцентував увагу на розробленні та дотриманню Положення про заказники, що мають прописувати індивідуальний регуляційний режим. Проте на практиці в Положеннях про заказники, зокрема місцевого значення, прописані вимоги здебільшого лише загального, не деталізованого характеру, що не убезпечило території заказників від намагань до нецільового їх використання.

Лише у 2017 році на територіях заказників були заборонені суцільні, прохідні, лісовідновні та поступові рубки, видалення захаращеності, а також полювання [16].

Через 2,5 роки законодавець [17] додав до попереднього переліку регламентів заборону проведення рубок головного користування. Отже, охоронний режим заказників лише через 27 років після прийняття закону України «Про природно-заповідний фонд» почав адекватно відповідати ключовому функціональному завданню-збереженню біорізноманіття.

В українській системі природо заповідання існує низка проблем стосовно створення та подальшого функціонування заказників. Так, створення об'єктів ПЗФ, в тому числі заказників, часто – густо супроводжується значним виміром часу між обґрунтуванням, резервуванням, рішенням органів влади щодо оголошенням та винесенням меж в натуру. Це відкриває вікно можливостей для охочих використовувати земельні ділянки для потреб, несумісних з природо заповіданням. Під час створення деяких об'єктів за відсутності законодавчо затверджених критеріїв вибору категорій ПЗФ в окремих випадках об'єктам присвоювалася невідповідна категорія [3]. Тому при обґрунтуванні заповідання доцільно користуватися відповідними науковими і методичними розробками [18, 19, 6].

Часто трапляються випадки, коли ділянки, визначені органами влади під заповідання, надаються для потреб, несумісних із їх подальшим заповіданням, або рішення про резервування територій скасовуються (заказник «Ковалівський яр»). Описано курйозний випадок відмови мешканців с. Біївці Обухівського району погодити створення заказника «Біївецький», «доки екологи не проведуть в село газ» [20]. Законодавство не передбачає відповідальності за відмову землекористувача щодо погодження ним створення ПЗФ [21].

Досить поширеними явищами є зміна меж заказників з метою отримання певних вигід, переважно для забудови (заказник «Обухівський» (2002 р.), заказник «Заплавний» (2003 р.), заказник «Пірнівський» (2012–2013 рр.), намагання забудовників скасувати через суд рішення органів влади про створення об'єктів ПЗФ (заказник «Троєщинські луки», 2023 р.).

Відсутність моніторингу істотно впливає на визначення стану природних комплексів та належного контролю за дотриманням відповідного режиму охорони і використання територій заказників, зокрема, створених у минулі роки. Особливої уваги та наукового обґрунтування потребують заказники з лісовими ценозами, деревостани яких втрачають цінність як наслідокв результаті природних сукцесій.

Головні висновки.

1. Сучасна категорія заказників у природно-заповідному фонді України бере початок з часів зародження феодальних відносин та власності на землю, знайшовши своє відображення в природоохоронному законодавстві України та деяких інших країн.

2. Еволюція українського законодавства щодо регламентування охоронного режиму в заказниках характеризується досить сповільненою реакцією на актуальні потреби природо охорони. Наслідком цього стали втручання в природні комплекси, зокрема рубки лісу з втратами раритетних видів флори і фауни, інших цінностей, а також розвиток антропогенних сукцесій.

3. Динаміка створення нових заказників у Києві та області окреслена високими темпами, незважаючи на корупційні тенденції в суспільстві, інертність чи навіть спротив місцевих громад, З огляду на це актуалізується дієвість еколого-просвітницької роботи для формування позитивного ставлення до заповідних об'єктів та всілякої їх підтримки.

4. В Положення про заказники та охоронні зобов'язання варто передбачити індивідуальний регуляційний режим у форматі підкатегорій для окремо взятих різновидів ландшафтів, а також менеджмент-плани збереження біорізноманіття. В заказниках з лісовими ценозами Положення мають включати заходи щодо можливої втрати цінностей природних комплексів як наслідок природних сукцесій домінантів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть використовуватися під час розроблення менеджмент-планів збереження біорізноманіття в природно-заповідному фонді та екологічній освітньо-виховній роботі.

Література

1. Державний кадастр територій та об'єктів природно-заповідного фонду України. *https://data.gov.ua/dataset/mepr_05*
1. 2.Закон України «Про природно-заповідний фонд України». ВВР, 1992, № 34, ст.502) *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text*
2. Функціональна класифікація територій природно-заповідного фонду: історія формування та міжнародний аспект. Василюк О. GEOBIO. 2019. vol. 18, pp 3–20. *https://www.researchgate.net/publication/343798145*

3. Пріоритетні напрямки роботи Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міндовкілля на 2021–2025 рр. Схвалено на засіданні Вченої ради № 3–31 від 17.09.2021 р. URL: *http://dea.edu.ua/prioritetni_napryami_ndr/*
4. Заказник. Вікіпедія. *https://uk.wikipedia.org/wiki*
5. Методологія та практика оцінювання території України для заповідання. Монографія. За ред. Л.Г. Руденка. К.: Наукова думка, 2020. 248 с.
6. Гуго Конвенц – піонер охорони природи Європи/ І. Парнікоза. *https://expedicia.org/gugo-konvenc-pioner-okhoroni-prirodi/*
7. Василюк, О. В. 2015. Як українські заказники стали «заповідними». Вісник Національного науково-природничого музею, 13: с. 33–41.
8. Ющенко О. К. Нова класифікація заповідних територій України. Рідна природа, № 3, 1972, с. 35-36.
9. Про класифікацію і мережу територій та об'єктів природно-заповідного фонду Української РСР. Постанова Ради Міністрів Української РСР від 22 липня 1983 р. № 311. *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/311-83-%D0%BF#Text*
10. Борейко В.Е., Головин А.С., Мелещенко О.Н. и др. Заказники и другие объекты ПЗФ Украины без гламура. 2018. *http://ecoethics.ru/wp-content/uploads/2018/01/Boreyka82.pdf*
11. Плига А. 2015. Чверть заказників Київської області підпала під суцільні вирубки. *https://texty.org.ua/articles/59871/Chvert_zakaznykiv_Kyjivskoji_oblasti_pidpala_pid_sucilni-59871/*
12. Попков М. Рубки лісу в Україні: практика, теорія, проблеми – *http://www.lesovod. org.ua/node/8402*
13. Менеджмент охоронних лісів України. За заг. ред. Ю.Р. Шеляг-Сосонка. К.: Фітосоціоцентр, 2003. 299 с.
14. Про внесення змін до Закону України «Про природно-заповідний фонд України». ВВР, 2010, № 11, ст.112) *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1826-17#Text*
15. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо охорони пралісів згідно з Рамковою конвенцією про охорону та сталий розвиток Карпат. ВВР, 2017, № 37, ст. 379. *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2063-19#Text…*
16. Про внесення змін до деяких законів України щодо заборони суцільних рубок на гірських схилах в ялицево-букових лісах Карпатського регіону, ВВР, 2019, № 51, ст. 383. *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/249-20#n6*
17. Виявлення територій, придатних для оголошення об'єктами природно-заповідного фонду. Василюк О., Драпалюк А., Парчук Г., Ширяєва Д. За заг. ред. О. Кравченко. Львів: Манускрипт, 2015. 80 с. *https://epl.org.ua/images/pdf/people/1767_EPL_Posibnyk_Fond_Zapovidnuk.pdf*
18. Дідух Я.П. Основні наукові принципи та критерії формування та оцінки заповідних об'єктів. Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. 2015. С. 29-34.
19. Природно-заповідний фонд Київської області. Василюк О., Костюшин В., Норенко К., Плига А., Прекрасна Є., Коломицев Г., Фатікова М. К.: НЕЦУ, 2012. 338 с. *https://pzf.land.kiev.ua/pzf-obl-10.html*
20. Правовий режим природно-заповідного фонду України: історія формування, юридичні аспекти та закордонний досвід (посібник). За заг. ред. О. Кравченко. Львів: Манускрипт, 2017. 92с. *https://www.researchgate.net/publication/322581993*

УДК 630*1:551.583(477.42:477.82)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.33

ЗМІНИ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СТІЙКІСТЬ ЛІСІВ ВОЛИНСЬКОГО І ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

Андреєва О.Ю., Мартинчук І.В., Корма О.М., Марчук Д.О., Докійчук Ю.В.
Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
andreieva.olena11@gmail.com

У статті проаналізовано виявлені зміни кліматичних показників, що впливають на стан лісових екосистем. Мета роботи – оцінити зміни кліматичних показників, що впливають на стійкість лісів Волинського і Житомирського Полісся. Санітарний стан лісів погіршується останніми десятиліттями. Це значною мірою пов'язано зі зміною клімату. За прогнозами дослідників, якщо в подальшому температура повітря буде підвищуватися, а кількість опадів зменшуватися, умови для більшості головних лісоутворювальних порід стануть несприятливими на значній частині ареалу [1]. Так у регіоні досліджень показники середньої річної температури повітря за останні 30 років перевищують багаторічні дані на 1,1–1,3ºС, або на 14,7–18%. Максимальні показники перевищення температури визначено у 2000, 2002, 2007, 2015 і 2019 рр., а найменшу кількість опадів – у 2011, 2015 і 2019 рр. Дати початку вегетаційного періоду відмічені раніше на 7–8 днів. Зростання температури повітря спонукає до зміни зони лісокліматичного районування Д. В. Воробйовим (регіон входив до області помірного клімату, а у 1989–2019 рр. – до області порівняно теплого клімату). Середнє значення гідротермічного коефіцієнта Г. Т. Селянінова у 2005–2018 рр. відповідає «нормі» для Лісостепу (1,0–1,3), а мінімальне – «нормі» для Степу (0,7–1,0). Зменшення кількості опадів і ГТК є несприятливими для росту та стану дерев і сприятливими для розвитку шкідливих організмів. Встановлено, що аномальне збільшення температури повітря та зменшення гідротермічного коефіцієнта до рівня, характерного для степової зони, є чинниками нетривалої дії, що спонукає до підвищення сприйнятливості лісових дерев до заселення шкідливими організмами. Одержані результати досліджень мають теоретичне й практичне значення для забезпечення вирощування стійких насаджень і підвищення ефективності лісового господарства. *Ключові слова:* кліматичні показники, лісокліматичне районування, гідротермічий коефіцієнт, стійкість лісів, вегетаційний період.

Changes in climatic indicators affecting the stability of the forests of Volyn and Zhytomyr Polissia. Andreieva O., Martynchuk I., Korma O., Marchuk D., Dokiichuk Yu.

The article analyzes the detected changes in climatic indicators affecting the state of forest ecosystems. The purpose of the work is to assess the changes in climatic indicators affecting the stability of the forests of Volyn and Zhytomyr Polissia. The sanitary condition of forests has been deteriorating in recent decades. This is largely due to climate change. According to the researchers' forecasts, if in the future the air temperature will rise and the amount of precipitation will decrease, the conditions for most of the main forest-forming species will become unfavorable in a significant part of the range [1]. Thus, in the region of research, the indicators of the average annual air temperature for the last 30 years exceed the long-term data by 1.1–1.3ºC, or by 14.7–18%. The maximum indicators of temperature excess were determined in 2000, 2002, 2007, 2015 and 2019, and the lowest amount of precipitation was determined in 2011, 2015 and 2019. The dates of the beginning of the growing season were marked earlier by 7–8 days. The increase in air temperature prompts D.V. Vorobyov to change the zone of forest-climate zoning (the region was part of the temperate climate region, and in 1989–2019 – into the relatively warm climate region). The average value of the hydrothermal coefficient of G.T. Selyaninov in 2005–2018 corresponds to the "norm" for the Forest Steppe (1.0–1.3), and the minimum value corresponds to the "norm" for the Steppe (0.7–1.0). A decrease in precipitation and GTC is unfavorable for the growth and condition of trees and favorable for the development of harmful organisms. It has been established that an abnormal increase in air temperature and a decrease in the hydrothermal coefficient to the level characteristic of the steppe zone are short-term factors that lead to an increase in the susceptibility of forest trees to colonization by harmful organisms. The obtained research results have theoretical and practical significance for ensuring the cultivation of sustainable plantations and increasing the efficiency of forestry. *Key words:* climatic indicators, forest-climatic zoning, hydrothermal coefficient, forest stability, growing season.

Постановка проблеми. Розвиток і успішність розмноження шкідливих організмів, накопичення горючих матеріалів та інтенсивність їхнього загорання й горіння насамперед залежать від погодних умов [1, 2]. Останнім часом в різних регіонах помітні тенденції до підвищення температури повітря, зменшення кількості опадів, зниження рівня грунтових вод [3]. У зв'язку із швидкими темпами таких змін дерева не встигають до них пристосуватись на відміну від шкідливих організ-

мів, які характеризуються коротшими життєвими циклами.

Актуальність дослідження. Погіршення стану лісів відбувається під впливом комплексу екологічних чинників, які включають абіотичні, біотичні та антропогенні. Чинники кожної групи можуть створювати умови для ослаблення лісів, ініціювати ослаблення лісів чи супроводжувати цей процес. Особлива роль у згаданих процесах належить кліматичним показникам. У зв'язку із цим актуальним є виявлення особливостей змін клімату для розроблення алгоритмів прогнозування ризику погіршення стану насаджень і заходів підвищення їхньої стійкості до несприятливої дії інших екологічних чинників [1, 4, 5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Кліматичні чинники обумовлені інтенсивністю потоків сонячної радіації та розташуванням місцевості (широтою, довготою, висотою над рівнем моря, особливостями рельєфу тощо) [6]. Кліматичні умови Полісся загалом сприятливі для росту лісів. Водночас всихання лісів у другому десятилітті цього століття часто пов'язують зі зміною клімату [7, 8]. Сукупність кліматичних чинників як чинників тривалої дії обумовлює формування лісорослинних умов [9]. Особливості динаміки основних складових клімату – температури та опадів – відбиваються на темпах і інтенсивності росту лісових насаджень [10], а також на їхній стійкості до дії тих чи інших природних та антропогенних чинників, зокрема шкідливих комах, збудників хвороб і пожеж [11–13].

Новизна. Визначено зміни кліматичних показників, що впливають на біотичну стійкість лісів: підвищення температури повітря має наслідками зміни зони лісокліматичного районування Д. В. Воробйовим, зміни термінів і тривалості вегетаційного періоду, збільшення кількості поколінь мультивольтинних шкідників, а зменшення кількості опадів і ГТК є несприятливим для насаджень і сприятливим для шкідливих організмів [1].

Методологія досліджень. Для оцінювання зміни клімату з 1901 р. на рівні областей регіону взято дані трьох метеорологічних станцій: Рівне (Рівненська обл., 50.502ºпн.ш., 26.165ºсх.д., 232 м н.р.м.), Ковель (Волинська обл., 51.206ºпн.ш., 24.764ºсх.д., 172 м н.р.м.) та Житомир (Житомирська обл., 50.254ºпн.ш., 28.68ºсх.д., 227 м н.р.м.) [1, 14].

Динаміку метеорологічних показників 2005–2018 рр. аналізували за даними метеостанцій міст Житомир, Коростень, Новоград-Волинський, Овруч, Олевськ і Тетерів, які знаходяться поблизу насаджень лісового фонду лісогосподарських підприємств, де було проведено польові дослідження [1].

Гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянінова розраховували як співвідношення суми опадів за період, коли середньодобова температура повітря перевищувала + 10°С, та суми активних температур за той самий період [1].

$$ГТК = 10 \times \frac{\sum P}{\sum t}, \quad (1)$$

де ΣP – опади за період із середньою місячною температурою повітря понад 10°С, мм;

Σt – сума добових температур повітря за такий самий період, °С.

Показники лісокліматичного районування розраховували за Д. В. Воробйовим [1]. Показник суми тепла (Т) визначали як суму середніх місячних температур повітря за місяці з температурою понад 0°С, а коефіцієнт зволоження – за формулою (2.2):

$$W=(R/T) – 0,0286 \times T, \quad (2)$$

де R – сума опадів за місяці з додатною температурою повітря.

Викладення основного матеріалу. Аналіз метеорологічних даних свідчить, що за трьома метеостанціями, які характеризують регіон досліджень, середня річна температура повітря за 1989–2019 рр. перевищує цей показник за 1901–1988 рр. на 1,1–1,3ºС, або на 14,7–18% (табл. 1).

При цьому у Ковелі абсолютне значення температури є найбільшим, а перевищення – найменшим. У Житомирі, навпаки, абсолютне значення температури є найменшим, а перевищення – найбільшим.

Температура вегетаційного періоду збільшилася за даними всіх метеостанцій дещо меншою мірою (на 0,9–1ºС, або на 5,8–6,5%).

Зазначені зміни мають наслідком більш ранній початок вегетаційного періоду та інтенсивніше накопичення суми температур, що може вплинути на ризик поширення шкідливих організмів.

Сума температур, які накопичуються за вегетаційний період, є важливим показником потенційної можливості завершення розвитку бажаних для

Таблиця 1

Зміна середньої температури повітря за рік і за вегетаційний період у регіоні досліджень [1]

Метео-станція міста	T°		Різниця		T°		Різниця	
	1901–1988 рр.	1989–2019 рр.	абс., °	відносні, %	1901–1988 рр.	1989–2019 рр.	абс., °	відносні, %
Рівне	7,3	8,4	1,2	16,2	14,9	15,8	0,9	6,1
Ковель	7,5	8,6	1,1	14,7	14,8	15,7	0,9	5,8
Житомир	7,0	8,3	1,3	18,0	14,8	15,8	1,0	6,5

людини рослин-інтродуцентів і небажаних шкідників рослин. Зокрема цей показник дає змогу визначити максимально можливу кількість поколінь мультивольтинних видів комах [15–18].

Як і середнє значення, сума температур за вегетаційний період у 1989–2019 рр. є більшою, ніж у 1901–1988 рр. (табл. 2).

Найбільшою є різниця показника за зазначені два періоди у Житомирі (123,8ºС, або 4,6%), а найменша – в Ковелі (105,6ºС, або 3,9%).

Як було встановлено (рис. 1–3), найбільшою мірою підвищилася останнім часом температура повітря у перші місяці року. Це мало відбитися на датах зміни сезонів року та фенологічних явищах лісових дерев та інших видів, що з ними пов'язані. Так із датами стійкого переходу температури повітря через 5ºС пов'язані терміни розмерзання ґрунту, початку розвитку коріння рослин та комах, які в ньому зимували. З датами стійкого переходу температури повітря через 10ºС пов'язані терміни активної вегетації рослин і фенологічних стадій комах-фітофагів та їхніх природних ворогів [1].

Аналіз даних свідчить, що в районі всіх розглянутих метеостанцій дати стійкого переходу температури повітря через 5ºС у другому періоді стали більш ранніми на 7–8 днів, а переходу через 10ºС – на сім днів (табл. 3).

Слід узяти до уваги, що зазначені дати є середніми за період, тоді як в окремі роки вони можуть відхилятися в обидва боки, що буде розглянуто нижче.

Річна кількість атмосферних опадів за даними всіх розглянутих метеостанцій за останній період збільшилася, найменшою мірою – в Житомирі (на 4,4 мм) (табл. 4). Водночас сума опадів за вегетаційний період у районах дії метеостанцій Рівне та Житомир зменшилася (на 0,7–1,0 мм), а в районі дії метеостанції Ковель – дещо збільшилася (на 0,7 мм). У районі дії метеостанції Рівне річна кількість опадів збільшилася найсильніше у березні (на 4,5 мм, або на 17,3%) та вересні (на 7,3 мм, або на 15%), але зменшилася у серпні (на 12 мм, або на 18,4%), квітні (на 2,2 мм, або 5,3%) та листопаді (на 1,5 мм, або 4%) у порівнянні з першим аналізованим періодом.

У районі дії метеостанції Ковель річна кількість опадів збільшилася найсильніше у березні (на 5,4 мм, або на 20,1%), травні (на 7,6 мм, або на 13,3%) та вересні (на 6,5 мм, або на 13,1%), а зменшилася найсильніше у серпні (на 12 мм, або 17,9%), меншою мірою – у квітні (на 0,4 мм, або 1%), червні (на 3,4 мм, або 4,8%) та листопаді (на 1,7 мм, або на 4,2%).

У районі дії метеостанції Житомир річна кількість опадів збільшилася найсильніше у березні (на 4,6 мм, або на 15,8%) та вересні (на 11,6 мм, або на 23,4%), а зменшилася найсильніше у серпні (на 12,3 мм, або 16,8%), меншою мірою – у квітні (на 2,8 мм, або 6,7%), липні (на 3,8 мм, або 4,6%) та листопаді (на 2,0 мм, або на 4,6%).

Зміни температури та опадів вплинули на значення показників, що покладені в основу лісокліматичного районування Д. В. Воробйова (табл. 5).

За показником суми тепла всі розглянуті метеостанції входили у 1901–1988 рр. до області помірного клімату, Рівне та Ковель – свіжого, в Житомир – вологого. Останнє пов'язане з тим, що на початку минулого століття у Житомирській області була

Таблиця 2

Зміни суми температур за вегетаційний період у регіоні дослідження (°С)

Метеостанції міст	Роки		Різниця	
	1901–1988	1989–2019	абсолютна, мм	відносна, %
Рівне	2726,6	2838,0	111,4	4,1
Ковель	2720,4	2826,0	105,6	3,9
Житомир	2717,2	2841,0	123,8	4,6

Таблиця 3

Зміни дат стійкого переходу температури повітря через 5 і 10°С навесні у регіоні дослідження [1]

Метео-станції міст	Дата переходу температури через 5 °		Різниця		Дата переходу температури через 10 °		Різниця	
	1901–1988 рр.	1989–2019 рр.	абс., мм	відносна, %	1901–1988 рр.	1989–2019 рр.	абс., мм	відносна, %
Рівне	94 (4.04)	87 (28.03)	-7,0	-7,4	116 (26.04)	109 (19.04)	-7,0	-6,0
Ковель	93 (3.04)	86 (27.03)	-7,0	-7,5	117 (27.04)	110 (20.04)	-7,0	-6,0
Житомир	95 (5.04)	87 (28.03)	-8,0	-8,4	117 (27.04)	110 (20.04)	-7,0	-6,0

Примітка: * – кількість днів з 1 січня, у дужках календарна дата.

Таблиця 4

Зміни середньої суми атмосферних опадів за рік і за вегетаційний період у регіоні дослідження [1]

Метео-станції міст	Опади річні, мм		Різниця		Опади вегетаційного періоду, мм		Різниця	
	1901–1988 рр.	1989–2019 рр.	абс., мм	відносна, %	1901–1988 рр.	1989–2019 рр.	абс., мм	відносна, %
Рівне	570,9	579,3	8,4	1,5	367,1	366,4	-0,7	-0,2
Ковель	572,9	582,8	9,9	1,7	482,8	483,5	0,7	0,1
Житомир	583,9	588,3	4,4	0,8	495,0	494,0	-1,0	-0,2

Таблиця 5

Кліматичні показники, на яких базується лісотипологічне районування України, за періоди 1951–1980 і 1981–2010 рр. [1]

Метео-станції міст	1901–1988 рр.			1989–2019 рр.			Лісотипологічна область*	
	T, °C	W	A, °C	T, °C	W	A, °C	1901–1988 рр.	1989–2019 рр.
Рівне	99,5	1,93	24,0	108,2	1,31	22,9	2d	2e
Ковель	100,6	1,84	23,4	108,9	1,30	22,5	2d	2e
Житомир	98,2	2,16	24,4	107,7	1,48	23,2	3d	2e

Примітка. * 2d – область свіжого помірного клімату (свіжого груду); 3d – область вологого помірного клімату (вологого груду); 2e – область свіжого порівняно теплого клімату.

Таблиця 6

Зміни гідротермічного коефіцієнта Г. Т. Селянінова (ГТК) у регіоні дослідження за два періоди [1]

Метеостанції міст	Роки		Різниця	
	1901–1988	1989–2019	абсолютна, мм	відносна, %
Рівне	1,35	1,29	-0,06	-4,4
Ковель	1,35	1,30	-0,05	-3,7
Житомир	1,38	1,32	-0,06	-4,3

поширена мережа боліт, порівняно теплого клімату, які в подальші роки осушували [18]. Розрахунки за 1989–2019 рр. свідчать, що всі ці метеостанції належать нині до області свіжого порівняно теплого клімату. Континентальність клімату у другий період зменшилася, але контрастотоп не змінився.

Середнє багаторічне значення гідротермічного коефіцієнта Г.Т. Селянінова зменшилося в районі всіх розглянутих метеостанцій, найменшою мірою – у Ковелі (табл. 6).

У перший аналізований період у районі всіх розглянутих метеостанцій значення ГТК (>1,3) відповідало зоні забезпеченого зволоження. У другий аналізований період значення ГТК метеостанцій Рівне та Ковель наближуються до верхньої межі посушливої зони (0,1–1), а в Житомирі – залишаються характерними для зони забезпеченого зволоження.

Головні висновки. У регіоні досліджень середня річна температура повітря 1989–2019 рр. більша, ніж за 1901–1988 рр., на 1,1–1,3ºС, або на 14,7–18%, а температура вегетаційного періоду – на 0,9–1ºС, або на 5,8–6,5%. Найбільші перевищення середніх значень річної температури визначені у 2000, 2002, 2007, 2015 і 2019 рр.

Річна кількість атмосферних опадів за 1989–2019 рр. перевищила цей показник за 1901–1988 рр. Водночас сума опадів за вегетаційний період у районах дії метеостанцій Рівне та Житомир зменшилася (на 0,7–1,0 мм), а в районі дії метеостанції Ковель – дещо збільшилася (на 0,7 мм). На відміну від тренду збільшення річної кількості опадів у 1989–2019 р., в інтервалі 1998–2019 рр. слабко виражений тренд до зменшення цього показника.

Зміни температури та кількості опадів вплинули на значення показників, що покладені в основу лісокліматичного районування Д. В. Воробйова. За показником суми тепла всі розглянуті метеостанції входили у 1901–1988 рр. до області помірного клімату, а у 1989–2019 рр. – до області свіжого порівняно теплого клімату.

Середнє багаторічне значення гідротермічного коефіцієнта Г. Т. Селянінова у 1901–1988 рр.

та 1998–2019 рр. відповідають зоні забезпеченого зволоження, а мінімальні 1998–2019 рр. – посушливій зоні. Значення ГТК за 2014–2019 рр. щороку поступалися середньому багаторічному. За 2005–2018 рр. середні значення ГТК потрапляють в інтервал «норми» для Лісостепу (1,0–1,3). Всі мінімальні значення ГТК потрапляють у «норму» для Степу (0,7–1,0).

Література

1. Андреєва О. Ю. Біотична стійкість соснових насаджень Волинського і Житомирського Полісся. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук зі спеціальності 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво». НУБІП України. Київ, 2023.
2. Борисенко О. І. Тенденції зміни рівня пожежної небезпеки насаджень ДП «Кремінське ЛМГ». Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. Вип. 130. С. 139–145.
3. Швиденко А. З., Букша І. Ф., Краковська С. В. Уразливість лісів України до зміни клімату: [монографія]. Київ: Ніка-Центр, 2018. 184 с.
4. Biedermann, P. H., Müller, J., Grégoire, J. C., Gruppe, A. Bark Beetle Population Dynamics in the Anthropocene: Challenges and Solutions. Trends in ecology & evolution. 2019. Vol. 34. Iss. 10. Pp. 914–924.
5. Björkman C., Bylund H., Nilsson U., Nordlander G., Schroeder M. Effects of new forest management on insect damage risk in a changing climate. Climate change and insect pests. 2015. Pp. 248–266.
6. Агрокліматичний довідник по території України /за редакцією: Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіди, А. Л. Прокопенка. Кам'янець-Подільський: ПП Галагодза Р. С., 2011. 108 с.
7. Andreieva O. Y. Climatic factors influencing the vulnerability of Scots pine to bark beetles attacks in the Central Polissya. Forestry and Forest Melioration. 2018. Iss. 133. P. 119–127.
8. Andreieva O., Skydan O., Wójcik R., Kędziora W., Alpatova O. Influence of Weather Conditions on the Spread of Fires in the Forest Fund of Zhytomyr Polesia. Scientific Horizons. 2022. Vol. 25 (3). P. 68–75.
9. Андреєва О. Ю., Іванюк І. Д., Іванюк Т. М., Буднік І. П. Типологічна структура соснових насаджень Центрального Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2020. Вип. 136. С. 165–171.
10. Остапенко Б. Ф., Федець І. П., Пастернак В. П. Типологічна різноманітність лісів України: зона широколистяних лісів. Х.: ХДАУ, 1998. 127 с.
11. Meshkova V. Predicted seasonal development of phytophagous forest insects in the temperate zone. Advances in Agriculture, Horticulture and Entomology. 2021, Issue 06. 10 p.
12. Andreieva O. Y., Zhytova O. P., Martynchuk I. V. Health condition and colonization of stem insects in Scots pine after ground fire in Central Polissya. Folia Forestalia Polonica. 2018. Vol. 60 (3). P. 143–153.
13. Ткач О. М. Тенденції виникнення пожеж у лісах Рівненщини. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2014. Вип. 24 (9). С. 84–89.
14. Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями. Метеопост URL: https://meteopost.com/weather/climate/#google_vignette (дата звернення: 1.04.2024).
15. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С. П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. К.: НІСД, 2020. 110 с.
16. Ткач В. П., Мєшкова В. Л. Сучасні проблеми формування та відтворення біологічно стійких соснових лісів України в умовах зміни клімату. Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. м. Київ, 12–13 червня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 70–78.
17. Krakovska S., Buksha I., Shvidenko A. Climate change scenarios for an assessment of vulnerability of forests in Ukraine in the 21st century. Aerul si Apa. Componente ale Mediului. 2017. P. 87–394.
18. Українські ліси та зміни клімату URL: http://epl.org.ua/about-us-posts/lisy-ukrayiny-v-konteksti-zminy-klimatu-znachni-problemy-i-velyki-mozhlyvosti/

УДК 911.6:711.5:551.50:551.58(477)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.34

ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ПРИРОДНО-СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Шевченко О.В.[1], **Балабух В.О.**[2]
[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ
[2]Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій
та Національної академії наук України
пр. Науки, 37, 03028, м. Київ
shevchenko_ov90@ukr.net, balabukh@uhmi.org.ua

Дослідження присвячено аналізу впливу кліматичних змін на природно-сільськогосподарське районування території України. З огляду на підвищення середньорічної температури та зміни в кількості опадів, адаптація агрокліматичних зон є важливим кроком для збереження продуктивності сільськогосподарських угідь. У роботі використовуються метеорологічні дані за період 1961-2020 рр. для аналізу зміни кліматичних норм, що дозволяє виявити трансформації агрокліматичних умов та природно-сільськогосподарських зон. Досліджено вплив змін середніх багаторічних температур і кількості опадів на зони агрокліматичного районування, використовуючи гідротермічний коефіцієнт Селянинова, який демонструє зональні особливості теплового та вологозабезпечення території України. Побудовані клімадіаграми та створені карто-схеми дозволяють виявити, як змінилися межі природних зон за останні десятиліття, що є важливим для оптимізації сільськогосподарського виробництва. Окрім кліматичних факторів, дослідження враховує наслідки військових дій, що спричинили забруднення ґрунтів важкими металами та хімічними речовинами, а також порушення сільськогосподарських практик. Розглядається необхідність удосконалення методик природно-сільськогосподарського районування для збереження екологічної рівноваги та забезпечення сталого розвитку сільських територій. Результати роботи мають практичне значення для розробки рекомендацій з адаптації сільськогосподарських стратегій, спрямованих на підвищення продуктивності та стійкості аграрного сектору в умовах зміни клімату. Дослідження показує, що зміни кліматичних умов уже вплинули на теплові ресурси, збільшення періоду вегетації та необхідність коригування меж природно-сільськогосподарських зон. Запропоновані в роботі методики та результати можуть бути використані для планування ефективного землекористування, визначення зон екологічно чистого вирощування продукції та створення системи моніторингу агрокліматичних умов для прогнозування можливих ризиків. *Ключові слова:* зміна клімату, агрокліматичне районування, природно-сільськогосподарські зони, метеорологічні дані, аграрний сектор, земельні ресурси, адаптація, продовольча безпека.

The impact of climate change on the natural and agricultural zoning of Ukraine. Shevchenko O., Balabukh V.
The study is devoted to analyzing the impact of climate change on the natural-agricultural zoning of Ukraine's territory. Given the increase in average annual temperature and changes in precipitation levels, adapting agro-climatic zones is a crucial step for maintaining the productivity of agricultural lands. The study utilizes meteorological data from the period 1961–2020 to analyze changes in climatic norms, enabling the identification of transformations in agro-climatic conditions and natural-agricultural zones. The influence of changes in long-term average temperatures and precipitation on the zones of agro-climatic zoning is studied using the Selyaninov Hydrothermal Coefficient, which illustrates the zonal characteristics of thermal and moisture supply across Ukraine. Climadiagrams and cartographic schemes reveal how the boundaries of natural zones have shifted over recent decades, which is vital for optimizing agricultural production. In addition to climatic factors, the study takes into account the consequences of military actions that have led to soil contamination with heavy metals and chemicals, as well as disruptions in agricultural practices. The need to improve methods of natural-agricultural zoning for maintaining ecological balance and ensuring sustainable rural development is discussed. The results of the work have practical significance for developing recommendations to adapt agricultural strategies aimed at enhancing the productivity and resilience of the agricultural sector under changing climate conditions. The research demonstrates that climate changes have already impacted thermal resources, the lengthening of the vegetation period, and the need to adjust the boundaries of natural-agricultural zones. The proposed methods and results can be used for effective land use planning, identifying zones for environmentally safe crop production, and creating a monitoring system for agro-climatic conditions to predict potential risks. *Key words:* climate change, agro-climatic zoning, natural-agricultural zones, thermal resources, meteorological data, agricultural sector, land resources, adaptation, food security.

Постановка проблеми. Упродовж останніх десятиріч сільське господарство та природні ресурси території України зазнають суттєвих змін, які спричинені впливом кліматичних, геополітичних та соціально-економічних чинників. Одним із ключових інструментів в аналізі та оцінюванні цих трансформацій є природно-сільськогосподарське районування (зонування). Розуміння розміщення та характеристик природних зон, а також їхні зміни в часі, стає важливим завданням для сталого розвитку сільських територій та досягнення продовольчої безпеки.

Актуальність дослідження. Сучасні виклики, що стоять перед природою та українським суспільством, вимагають удосконалення науково-мето-

дичних підходів щодо проведення природно-сільськогосподарського районування території країни. Головною метою якого є забезпечення соціально орієнтованого, економічно ефективного та екологічно збалансованого використання сільськогосподарських земель. Ці виклики, передусім, обумовлені: 1) глобальним потеплінням, що значно впливає на формування таксономічних одиниць районування та визначення або уточнення їх меж на державному та регіональному рівні; 2) військовою агресією росії, яка призвела до ведення бойових дій на великих площах лісових та сільськогосподарських угідь в різних регіонах України (Донецька, Запорізька, Київська, Луганська, Миколаївська, Сумська, Харківська, Херсонська, Чернігівська області). В результаті цих подій ґрунтовий покрив забруднюється токсичними речовинами, включаючи важкі метали, а також відбувається зміна мікрорельєфу та значне його ущільнення внаслідок пересуванням важкої техніки; 3) хімічне забруднення сільськогосподарських рослин та ґрунтів, що виникає внаслідок неконтрольованого застосування пестицидів та мінеральних добрив, а також через порушення сівозмін, як важливого фітосанітарного засобу захисту рослин та ґрунтів від вірусних інфекцій [14].

Таким чином, дослідження змін у природно-сільськогосподарському зонуванні (районуванні) має стратегічне значення для розробки ефективних сільськогосподарських стратегій та створення науково обґрунтованих рекомендацій щодо вдосконалення ландшафтного планування та сільськогосподарського землекористування в Україні.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконана відповідно до науково-технічної теми «Соціально-економічні виклики децентралізаційних процесів і землевпорядної реформи для українського села» (номер державної реєстрації 0121U113571), що реалізується в межах досліджень в галузі робототехніки Національного університет біоресурсів і природокористування України, зокрема на базі навчально-наукової лабораторії картографічного моделювання проблем природокористування кафедри геодезії та картографії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сучасному етапі питаннями розроблення теоретико-методологічних основ різнорідних видів природного районування земель займалася значна кількість науковців, серед них С. Булигін, Я. Дідух, Р. Дерев'янко, Д. Добряк, О. Канаш, О. Маринич, А. Мартин, Б. Носко, С. Осипчук, С. Погурельський, І. Розумний, К. Холупяк, М. Шикула тощо. Питанню визначення впливу глобальних кліматичних змін на сільськогосподарське виробництво присвячено багато праць відомих вітчизняних і зарубіжних учених-науковців, серед яких Т. Адаменко, В. Волощук, В. Балабух, А. Польовий, С. Степаненко, Ю. Туниця, В. Шевчук, Є. Школьний, Р. Адамс, Г. Дейлі та інші [1-21]. Водночас варто зазначити, що питанню визначення впливу кліматичних змін на природно-сільськогосподарське районування (зонування) території України досі приділяється недостатня увага.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри значну кількість наукових робіт, присвячених впливу кліматичних змін на сільськогосподарське виробництво, залишається недостатньо дослідженим питання впливу цих змін на природно-сільськогосподарське районування території України. Існує потреба в актуалізації науково-методичних підходів для врахування змін кліматичних умов, які можуть суттєво впливати на межі природних зон та їх характеристики.

Новизна. Новизна статті полягає у комплексному дослідженні впливу кліматичних змін на агрокліматичні умови України з використанням новітніх кліматичних даних. Запропоновано оновлені методологічні підходи до природно-сільськогосподарського районування, що враховують зміни в гідротермічному режимі за останні десятиліття. Це дослідження включає аналіз двох кліматичних періодів (1961-1990 та 1991-2020 рр.) з оцінкою змін агрокліматичних умов за допомогою сучасних інструментів картографування.

Мета статті полягає у дослідженні впливу кліматичних змін на природно-сільськогосподарське районування (зонування) території України.

Методологічне або загальнонаукове значення. Інформаційну основу досліджень становлять дані щоденних спостережень метеорологічної мережі ДСНС України за температурою повітря та кількістю опадів, що охоплює період з 1961 по 2020 рр. Варто зазначити, що метеорологічні дані території АР Крим та частини територій Донецької та Луганської області були використані до 2014 року, через що дані для цих територій потребують уточнення.

Для оцінки зміни тепло- та вологозабезпеченості території України, яка є основним критерієм природно-сільськогосподарського районування, визначали середні багаторічні дані кліматичних показників за два періоди 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр., які, відповідно до рекомендацій Всесвітньої метеорологічної організації, є кліматичними нормами [15]. Виявлення зміни кліматичних норм показників тепло- та вологозабезпеченості, за два періоди що не перетинаються, дозволила визначити зміни в агрокліматичних умовах України та, відповідно, у природно-сільськогосподарських зонах країни. Районування агрокліматичних умов України за два кліматичні періоди проводили за гідротермічним коефіцієнтом зволоження Селянинова (ГТК), який відображає зональні особливості гідротермічного режиму території [20]. Побудовані клімадіаграма Ґоссена-Вальтера для метеорологічних станцій, розташованих у різних природно-сільськогосподарських

зонах, показали як змінився тип клімату на даній території протягом останніх десятиліть.

Для створення карто-схем кліматичні дані метеорологічних станцій були інтерпольовані у вузли регулярної сітки. Карто-схеми побудовані за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення ArcGIS 10.8 на основі методу інтерполяції Inverse Distance Weighting – IDW (обернено зважених відстаней) [10, 20].

Для вирішення поставлених завдань застосовували як загальнонаукові, так і спеціалізовані методи досліджень: аналітико-синтетичний (аналіз сучасного стану досліджень), аналізу та синтезу (обґрунтування методології системного дослідження), кліматичний (дослідження зміни середніх багаторічних значень кількості опадів та приземної температури повітря), графічний та порівняльний аналіз (виявлення особливостей агрокліматичних умов у природно-сільськогосподарських зонах України), абстрактно-логічний (узагальнення та формування висновків) тощо.

Викладення основного матеріалу. Як відомо, природно-сільськогосподарське районування території – це наукова система поділу території з урахуванням ґрунтово-рельєфних, природно-кліматичних умов, а також агробіологічних вимог для вирощування сільськогосподарських культур. Природно-сільськогосподарське районування використовуються для встановлення вимог щодо раціонального використання земель, ідентифікації територій, що потребують особливого захисту від антропогенного впливу, регламентації необхідних обмежень для використання деградованих та малопродуктивних земель, а також розроблення ґрунтоохоронних заходів щодо відновлення їх продуктивності. Крім того, дані такого зонування території застосовуються для визначення екологічно чистих зон вирощування сировини для виробництва екологічно безпечних харчових продуктів [19].

Перші дослідження природно-сільськогосподарського районування території України, як частини колишнього СРСР, були проведені у 1971-1973 роках. У той період була розроблена загальносоюзна карта «Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР» на рівні провінцій, а також вперше описана їх коротка виробнича характеристика. Результати цих досліджень були узагальнені в монографії «Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР». Науковці Республіканського проектного інституту із землекористування «Укрземпроект», зокрема Канаш О.П., разом із представниками Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського південного відділення ВАСГНІЛ, такими як Носко Б.С. і Дерев'янко Р.Г., провели безпосереднє природно-сільськогосподарське районування території України у 1985 році.

Методологічна основа природно-сільськогосподарського районування України базується на визначенні його об'єктивного характеру. Це забезпечується на основі врахування даних агроґрунтового, агрокліматичного, геоботанічного, геоморфологічного, гідромеліоративного, протиерозійного та інших видів районування, а також інтегрального фізико-географічного районування. У результаті цього була впроваджена уніфікована система для виділення таксономічних одиниць – природно-сільськогосподарських зон (включаючи гірські області), провінцій, округів і районів [16].

Природно-сільськогосподарське районування здійснюється з метою ефективного використання природно-кліматичних умов, оптимального розташування основних сільськогосподарських культур та підвищення продуктивності сільського господарства.

Основними критеріями при здійсненні такого районування виступають волого- та теплозабезпеченість території, сума активних температур понад +10 °С, характер ґрунтів (включаючи питому вагу засолених, еродованих, гідроморфних, підтоплених ґрунтів тощо), зональність типів рослинності, а також ступінь дренованості території. Ці показники визначаються кліматичними умовами країни і мають регіональні особливості. Відповідно їхня зміна зумовлює зміни в усій кліматичній системі й приводить до зміни природно-сільськогосподарських зон, провінцій, областей та регіонів.

Сільське господарство належить до найбільш кліматозалежних галузей економіки. На його функціонування впливають хвилі холоду і тепла, зміна температури повітря та грунту, збільшення тривалості вегетаційного періоду та періоду активної вегетації, теплозабезпечення рослин, зменшення числа днів з морозом та сильним морозом, зростання дефіциту опадів у вегетаційний період та ін.

З другої половини XX століття на нашій планеті спостерігаються суттєві зміни кліматичної системи, зумовлені підвищенням глобальної температури повітря. За висновками Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату, багато з зареєстрованих змін кліматичної системи є нетиповими або безпрецедентними за останні десятиліття або навіть тисячоліття [5, 6]. З середини 70-х років минулого століття аномалія середньої річної глобальної температури повітря перевищила 0 °С як у порівнянні з базовим кліматичним періодом 1961-1990 рр., так і відносно середньої температури за XX століття (1901-2000 рр.). Відтоді вона залишається додатною, а швидкість її зміни неухильно зростає [6].

Протягом останніх десяти років у світі зафіксовані найвищі температури повітря за всю історію інструментальних метеорологічних спостережень. За даними Всесвітньої метеорологічної організації [8], 2023 рік виявився найтеплішим роком за всю історію спостережень за погодою: глобальна середня за рік температура повітря перевищила на 1,45 °С температуру доіндустріального періоду. При цьому, середня

за добу глобальна температура повітря кожного дня протягом усього року перевищувала 1,0 °С, 50% днів – перевищувала 1,5 °С, а два дні -2,0 °С. Згідно з оцінкою експертів Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) та даних Служби зміни клімату (Climate Change Service – C3S), якщо 30-річна тенденція потепління, яка передувала цьому, продовжиться, глобальне потепління досягне ліміту в 1,5 °С (встановленого Паризькою угодою) до лютого 2034 року [4].

Протягом останніх десятиріч температурний режим в Україні також інтенсивно змінювався. Період від кінця ХХ°ст. і до сьогодні вважається найтеплішим періодом за всю історію наземних інструментальних спостережень за погодою в Україні. Починаючи з 1991 р. середня річна температура вже зросла на 1,2 °С порівняно з 1961-1990 рр. Загалом, починаючи з 1961 р. швидкість потепління становить плюс 0,2-0,3 °С на кожні 10 років і значно перевищує темпи глобального потепління [1, 12].

Проте, повномасштабне вторгненням росії, вплинуло на моніторинг стану кліматичної системи в Україні. Згідно з аналізом збитків, проведеним Українським гідрометеорологічним центром, постраждали 68 гідрометеорологічних станцій і постів, 5 регіональних центрів, 10 авіаційних метеорологічних станцій, 2 метеорологічні радари, 7 аерологічних станцій і 15 станцій моніторингу забруднення [11]. Спостереження за станом атмосфери та гідросфери у зоні бойових дій та на окупованих і деокупованих територіях Київської, Чернігівської, Сумської, Харківської, Донецької, Запорізької, Луганської, Миколаївської, Херсонської областей та АР Крим не проводились або проводяться періодично, що значно ускладнює моніторинг зміни клімату. Залучення супутникових даних спостережень дозволяє отримати значення метеорологічних показників і, зокрема, температури повітря з цієї території та оцінити їхні ймовірні зміни. За даними супутникових спостережень, представленими інтерактивною системою Giovanni [3] та глобальної моделі MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications) [7], проведено ретроспективний аналіз зміни середньої за рік температури повітря на всій території України. За результатами формування моделі MERRA-2 встановлено, що протягом 2014-2023 рр. відбулося підвищення приземної температури повітря в усіх регіонах України, відносно 1981-1990 рр. У південній та центральній частині країни протягом останнього десятиліття спостерігається ріст середньої за рік температури повітря на 2-2,5°С порівняно з 1981-1990 рр., у той час як для східних, західних і північних регіонів ці зміни становлять 1-1,5 °С (рис. 1).

Зростає кількість екстремальних явищ погоди пов'язаних з температурою повітря, кількість спекотних днів, максимальна тривалість спекотного періоду, кількість хвиль тепла та їхня інтенсивність, особливо у літній період [18, 21]. В зимовий період збільшення повторюваності та інтенсивності хвиль тепла і зменшення повторюваності та інтенсивності хвиль холоду зумовили суттєве підвищення як максимальної, так і мінімальної температури повітря. Зменшується кількість днів з морозом та різкими змінами температури протягом доби, особливо на сході країни [13].

Зміни у температурному режимі протягом теплого періоду року вплинули на теплові ресурси України, які оцінюються за допомогою показника суми активних температур повітря вище +10 ºС, накопичених протягом теплого сезону. Порівняння цих накопичень за різні періоди у розрізі природо-кліматичних зон свідчить про їхнє зростання в середньому на 200-400 °С у 1991-2019 рр., відносно 1961-1990 рр. (табл. 1).

Протягом останніх півтора десятиліття на півдні України (південна частина Запорізької, Миколаївської, Одеської та Херсонської областей) практично сформувалася нова термічна зона сума активних температур у якій перевищує 3400-3700 ºС [9]. З кліматологічної точки зору, ця зона визначає північну межу для субтропічного землеробства, яка є сприятливою для вирощування рису, бавовни та інших культур, які вимагають достатньої кількість тепла.

а *б*

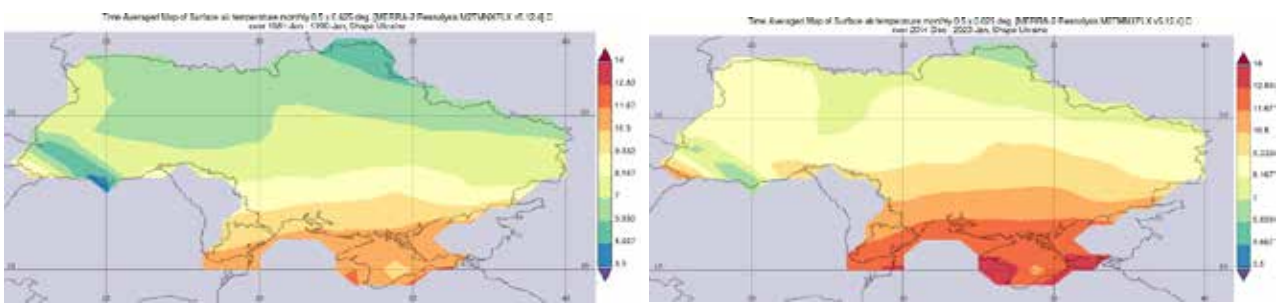


Рис. 1. Розподіл середньої за рік приземної температури території України (а – 1981-1990 рр.; б – 2014-2023 рр.)

Таблиця 1

Суми активних температур повітря вище +10 °С в природо-кліматичних зонах України за різні періоди [9]

Природо-кліматична зона	Періоди		
	1961-1990 рр.	1991-2019 рр.	2010-2019 рр.
Степ	3145	3400	3550
Лісостеп	2705	2950	3150
Полісся	2500	2770	2950

Протягом 2011-2023 рр. в Україні відмічались найвищі температури повітря за період інструментальних спостережень. У багатьох регіонах країни вони супроводжувались дефіцитом опадів протягом тривалого періоду, що негативно впливало на урожайність сільськогосподарських культур. Хоча кількість опадів за рік в Україні суттєво не змінюється протягом останніх десятиліть, порівняно з температурою повітря. Проте відбувається їхній перерозподіл протягом року: зменшення їхньої кількості зимою та влітку, а також збільшення в перехідні сезони, особливо восени [9]. В усіх природно-сільськогосподарських зонах зростає амплітуда річного ходу кількості опадів, що свідчить про посилення континентальності клімату. Зменшення кількості днів з опадами і збільшення тривалості бездощового періоду, що відбуваються на фоні підвищення температури повітря, свідчать про зростання посушливості. Фермери найбільше страждають від характеру та нерівномірного розподілу опадів як з точки зору географічного розташування, так і за календарем. Адже, дуже важливо, коли саме та як проходять опади. До прикладу, у 2021 році на Запоріжжі спостерігалося майже 90 днів без опадів, а потім за 1,5 доби випала третина їхньої річної норми. Зростає й інтенсивність опадів. Так, у червні 2021 року на Ай-Петрі випало 295 мм опадів на добу. Це тримісячна норма опадів, майже 295 літрів води на 1 м^2 [9, 10]. Такі опади не дають ніякої користі для рослин, проте значно підвищують ризик розвитку ерозії ґрунту, а також викликають повені та підтоплення.

Зміна клімату в Україні, зокрема, зміна температурного режиму і режиму зволоження, зміна тепло- і вологозабезпечення, збільшення екстремальних погодних умов, пов'язаних з температурою повітря та опадами підвищують ризики для сталого функціонування агропромислового комплексу. Виявлені тенденції зміни кліматичних показників зумовлюють зміну балансу тепла і вологи на всій території країни і як наслідок – зміну структури сільськогосподарського виробництва, площі посівів польових культур і рівнів їхньої врожайності, технологій, продуктивності сільського господарства. Вони приводять до зміни меж таксономічних одиниць природно-сільськогосподарського районування – зон (Полісся, Лісостеп, Степ, в т.ч. посушливий і сухий Степ) [2] та потребують внесення відповідних поправок до природно-сільськогосподарського районування території [1, 12].

Проведене агрокліматичне районування території України за гідротермічним коефіцієнтом Селянинова в період активної вегетації, дозволили виявити особливості зволоженості території України та межі агрокліматичних зон в сучасний кліматичний період (1991-2020 рр.) та оцінити їхні зміни відносно другої половини XX століття (1961-1990 рр.) (рис. 2, 3).

Встановлено, що в сучасний кліматичний період вологою протягом вегетаційного періоду (з ГТК більше 1,8) є практично вся Івано-Франківська область, південна частина Львівської, майже вся територія Закарпатської та західна частина Чернівецької областей (див. рис. 3). До зони із достатнім зволоженням (з ГТК від 1,21 до 1,80) належить північно-західна частина Вінницької області, північно-західні райони Київської області, північні райони Львівської та Івано-Франківської області, східна частина Чернівецької області, а також вся територія Волинської, Житомирської, Рівненської, Тернопільської, Хмельницької областей.

Зона із слабким зволоженням (з ГТК у межах 1,01-1,20) включає практично всю територію Київської та Чернігівської областей, крайні північні райони Харківської, Кіровоградської та Одеської областей, східну частину Вінницької області, а також вся територія Черкаської та Сумської областей.

Решта території України, за винятком південних районів Херсонської, Миколаївської та Одеської областей, крайніх західних районів Запорізької області, північно-західних та північно-східних районів Криму, відноситься до середньо посушливої зони (ГТК 0,71-1,00).

Порівняльний аналіз зон зволоження території України у 1961-1990 та 1991-2020 рр. (див. рис. 2, 3), показав, що у сучасний кліматичний період (1991-2020 рр.) сильно посушлива зона, яка належить до Південного степу, поступово поширилася на північні, східні та центральні території України, порівняно з 1961-1990 рр. Зона достатнього зволоження суттєво скоротилася, змістившись на північний захід. Тобто, відмічається тенденція до розширення області посушливості в зону слабкого та достатнього зволоження, охоплюючи все більше території країни.

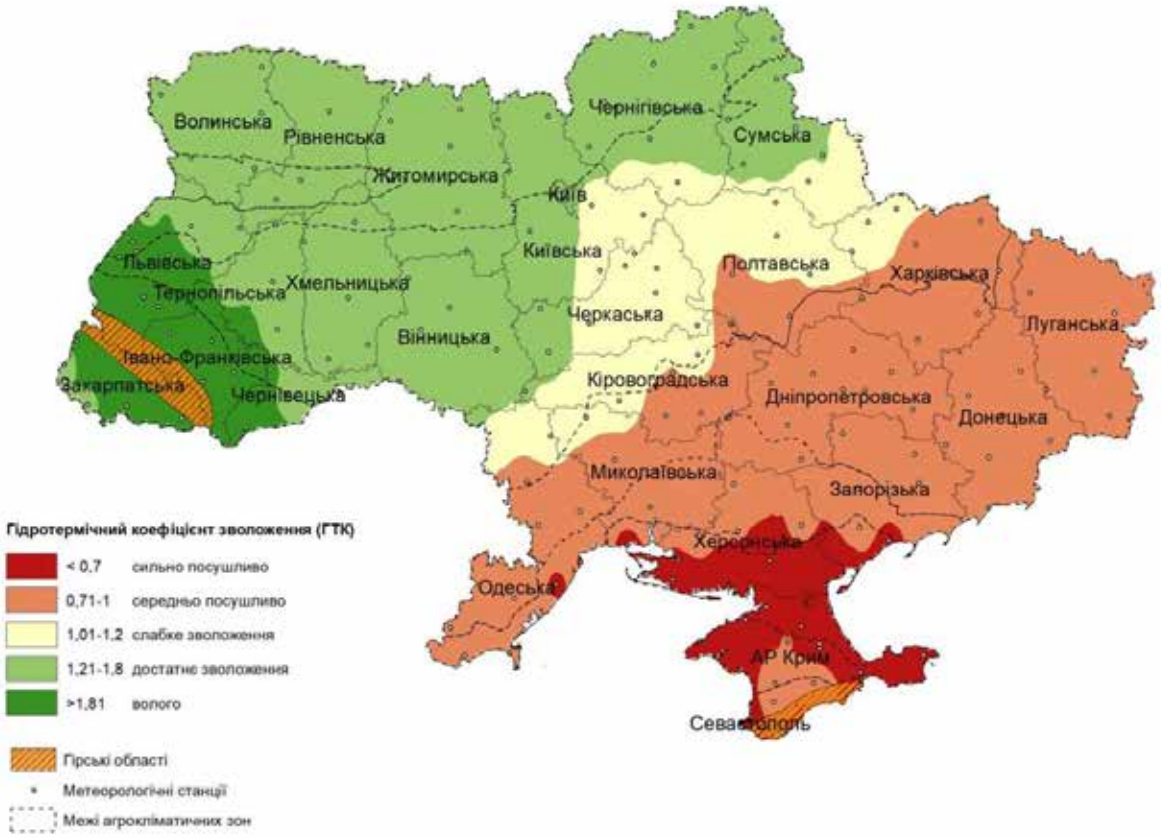


Рис. 2. Арокліматичні зони та рівень зволоженості території України у травні-вересні 1961-1990 рр.

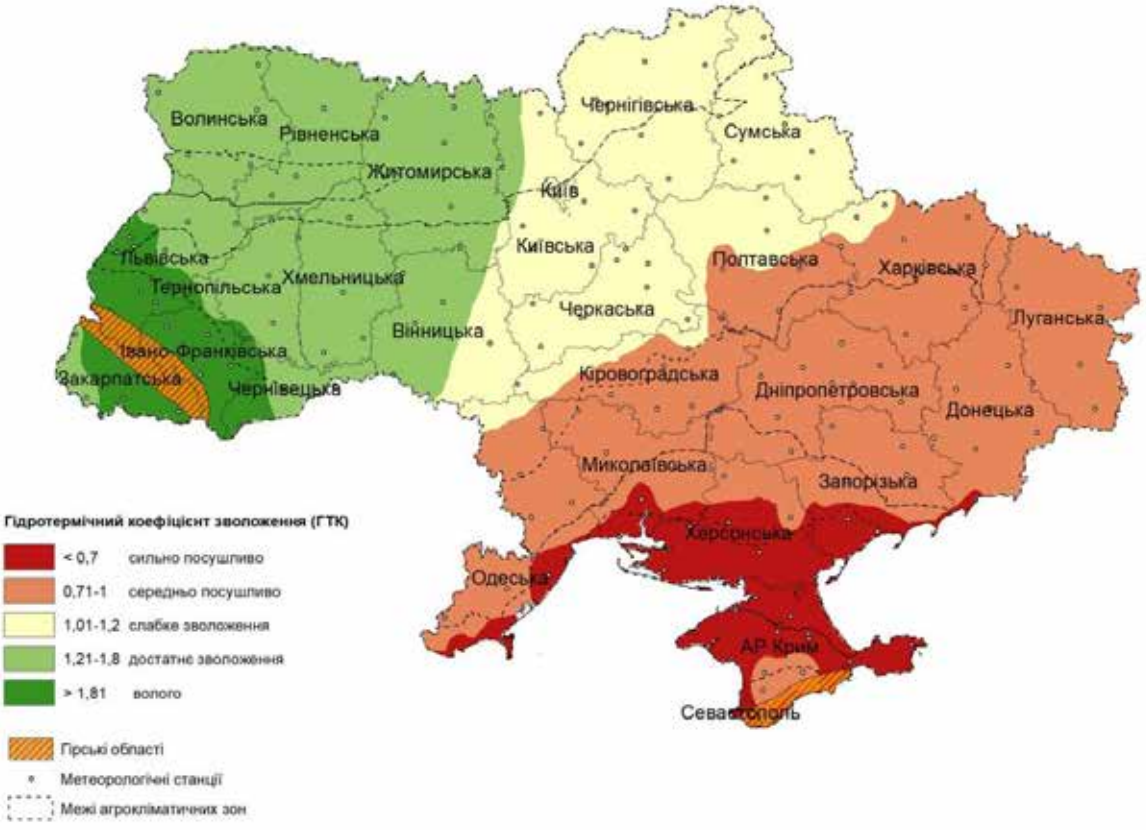


Рис. 3. Арокліматичні зони та рівень зволоженості території України у травні-вересні 1991-2020 рр.

Отримані дані щодо агрокліматичних зон чітко демонструють зміщення їх меж на північ та північний захід у сучасний кліматичний період. Найбільш суттєвих змін зазнає зона Полісся, яка повністю змістилась із Сумської та Чернігівської області, а також практично зникає із Київської області. Внаслідок змін клімату також значно зміщується зона Південного степу (посушливий і сухий Степ), яка поширилась узбережжями південних регіонів, а також майже охопила територію АР Крим. На півночі зона Степу більшою мірою зміщується у центрально-східній частині країни (Полтавська та Харківська області). За рахунок природно-кліматичного впливу Карпат на прилеглі території у західній частині України зміни меж зон відбуваються меншою мірою.

Оскільки на територіях Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся, а також Південного степу спостерігається найсуттєвіші зміни агрокліматичних зон, доцільно встановити як змінились кліматичні умови в цих регіонах.

Дослідження, проведені за даними спостережень метеорологічних станцій Семенівка (Чернігівська область) та Асканія Нова (Херсонська область), показали, що за період активної вегетації сільськогосподарських культур (травень-вересень) в цих регіонах протягом 1991-2020 рр. відмічається збільшення суми активних температур, швидкість якого становить 55 °С за 10 років та 59 °С за 10 років, відповідно (рис. 4). Змінюється і кількість опадів за рік. При цьому на території Новгород Сіверського Полісся зменшення кількості опадів відбувається значно інтенсивніше, ніж у Південному степу (8 мм за 10 років та 1 мм за 10 років, відповідно).

Інтегральним відображенням кліматичних умов певної території за показниками температури та кількості опадів є клімадіаграма Ґоссена-Вальтера [17] яка дозволяє визначити тип клімату цієї території. Отримані клімадіаграми Ґоссена-Вальтера для метеостанцій Семенівка та Асканії Нової за періоди 1961-1990 та 1991-2020 рр. підтверджують зростання посушливості клімату в даних регіонах (рис. 5, 6).

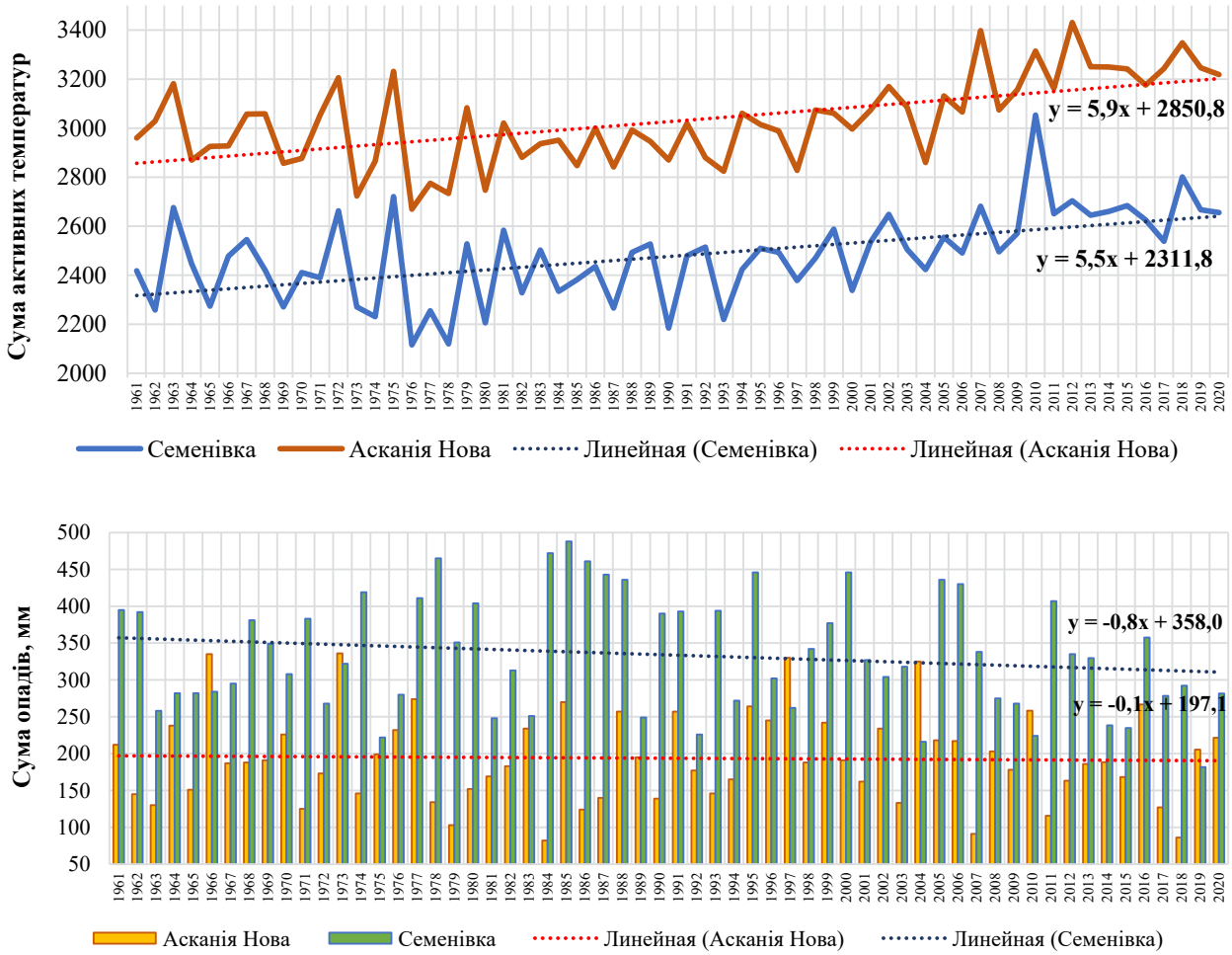


Рис. 4. Часові ряди (1991-2020 рр.) суми активних температур та опадів Асканії Нової (Херсонська область) та Семенівки (Чернігівська область) за період травень-вересень

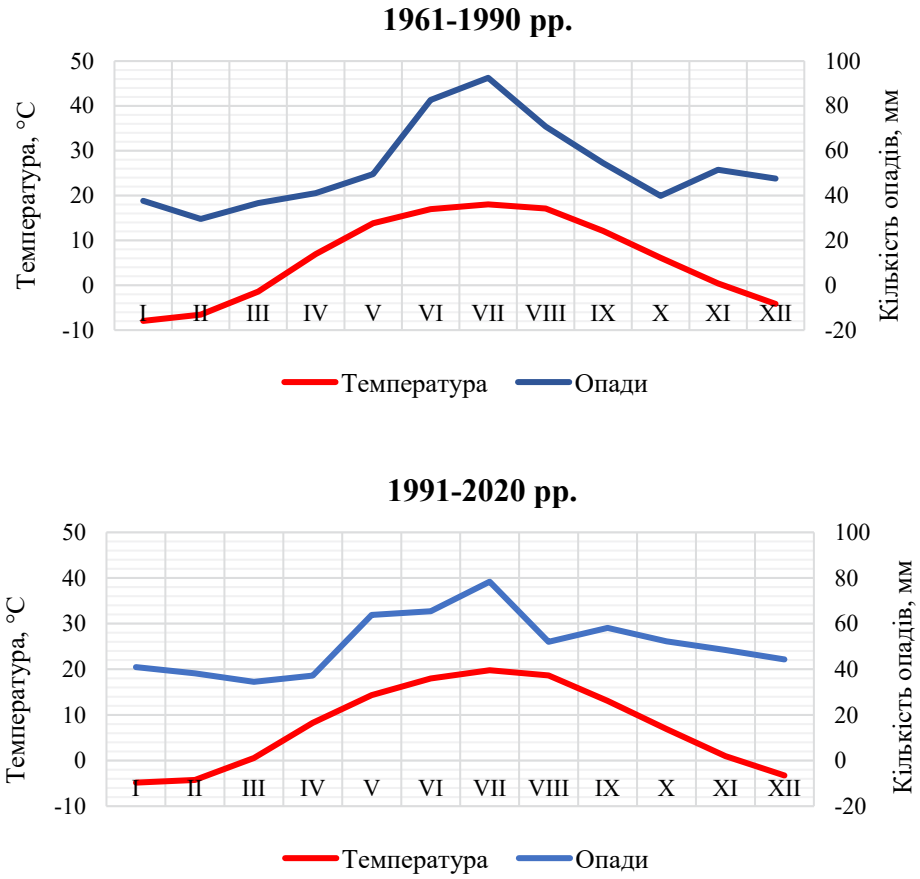


Рис. 5. Клімадіаграма Ґоссена-Вальтера Семенівки (Чернігівська область): середня за місяць температура повітря та кількість опадів

Величина співвідношення (1:2) середньомісячної температура повітря та кількість опадів визначає посушливі та вологі умови Семенівки та Асканії Нової. За рахунок зменшення кількості опадів у Семенівці більше простежується зменшення рівня вологості, особливо це відбувається у квітні та серпні. Посушливість суттєво зросла у Асканії Новій, особливо у липні, серпні та вересні.

Отже, отримані дані підтвердили, що протягом сучасного кліматичного періоду (1991-2020 рр.) підвищення приземної температура повітря, збільшення теплозабезпеченості та посушливості вегетаційного періоду зумовлюють зміщення агрокліматичних зон на північ території України та зростання зони з посушливим кліматом.

Головні висновки. Кліматичні зміни зумовлюють зміну сільськогосподарського районування території, структури сільськогосподарського виробництва, площі посівів польових культур і рівнів їхньої врожайності, технологій, продуктивності сільського господарства а також до переосмислення підходів до виробництва, розширення його різноманітності, адаптації технологій, вибору насіннєвого матеріалу та введення нових видів продукції.

Зміни середніх багаторічних значень температури повітря і кількості опадів в Україні у сучасний кліматичний період, відносно 1961-1990 рр., свідчать про зміну режиму зволоженості та зростання посушливості клімату країни, що призводять до зміни меж агрокліматичних зон, просування їх у північному північно-західному напрямку. Оскільки агрокліматичне районування є важливою складовою природно-сільськогосподарського районування, то його зміна свідчить про зміну природно-сільськогосподарського районування, необхідність уточнення встановлених раніше меж зон, провінцій, областей та районів. Таке районування має враховувати нові можливості для сільського господарства, які виникають через зміну клімату. Воно повинно стати основою для поділу земель за цільовим призначенням з урахуванням кліматичних умов, агрокліматичних вимог до сільськогосподарських культур, розвитку господарської діяльності тощо. Це дозволить сформувати вимоги щодо раціонального використання земель відповідно до природно-сільськогосподарських зон.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути вико-

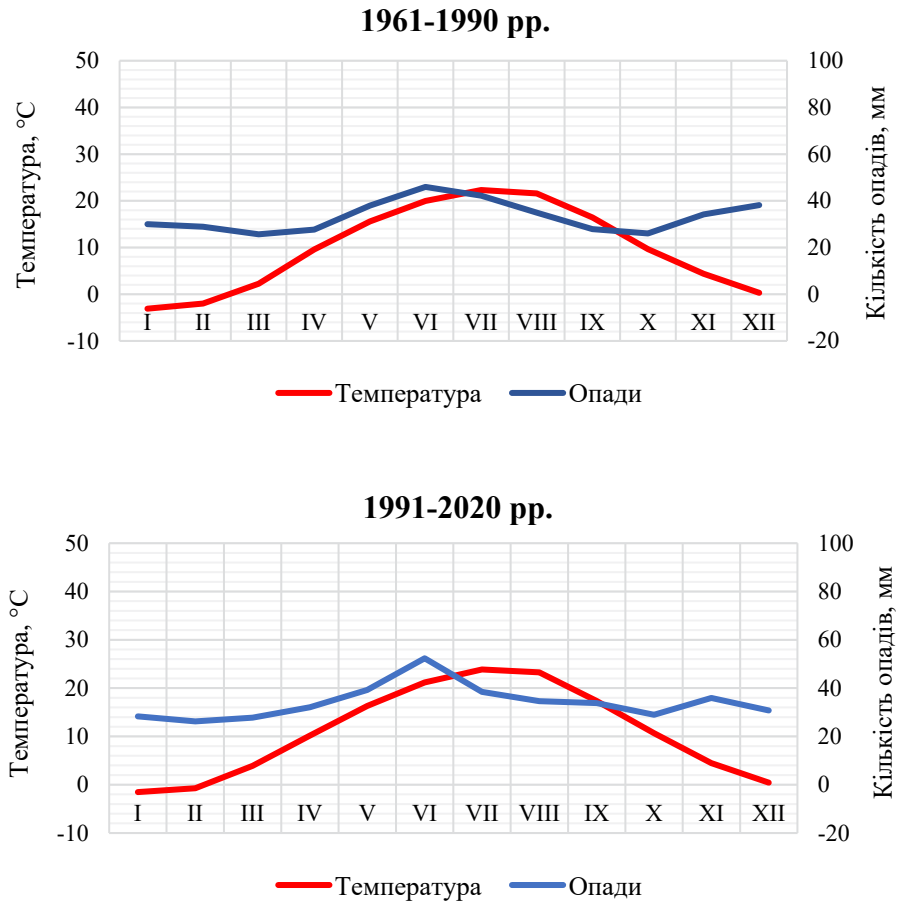


Рис. 6. Клімадіаграма Ґоссена-Вальтера Асканії Нової (Херсонська область): середня за місяць температура повітря та кількість опадів

ристані для розробки стратегій сталого землекористування в Україні, адаптації сільськогосподарських практик до нових кліматичних умов, а також для вдосконалення методів прогнозування агрокліматичних ризиків. Отримані дані стануть основою для оновлення картографічних матеріалів та рекомендацій з ефективного використання природних ресурсів, що є ключовим для забезпечення продовольчої безпеки та збереження екологічного балансу на національному рівні.

Література

1. Balabukh V. O. Yield shortfall of cereals in Ukraine caused by the change in air temperature and precipitation amount. *Agricultural Science and Practice*. 2023. Vol. 10, No. 1, p.31-53 https://doi.org/10.15407/agrisp10.01.031.
2. Balabukh, V., Tarariko, O., Ilienko, T., & Velychko, V. (2021). Influence of changes in air temperature on crop productivity formation in Ukraine at the turn of XX–XXI centuries (1981–2010). *Agricultural Science and Practice*, № 8(3), P. 71-87. https://doi.org/10.15407/agrisp8.03.071.
3. Giovanni. The bridge between data and science. NASA Earth Data. URL: https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/ (дата звернення: 23.12.2023).
4. Global temperature trend monitor. Copernicus Climate Change Service. URL: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/software/app-c3s-global-temperature-trend-monitor?tab=app (дата звернення: 20.12.2023).
5. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
6. IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf.
7. Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2. Global Modeling and Assimilation Office. NASA. URL: https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/ (дата звернення: 23.12.2023).

8. State of the Global Climate 2023. WMO-No. 1347. Geneva 2 – Switzerland: World Meteorological Organization, 2024. 53 c. URL: https://library.wmo.int/viewer/68835/download?file=1347_Statement_2023_en.pdf&type=pdf&navigator=1.
9. Адаменко Т. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? Німецько-український агрополітичний діалог. 2019. С. 36. URL: http://surl.li/djswf (дата звернення: 12.10.2022).
10. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ: ТОВ «РІА» БЛІЦ, 2014. 18 с.
11. Балабух В. О. Погода. Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2024. URL: https://esu.com.ua/article-883088.
12. Балабух В. О., Величко В. А. Сумісний вплив зміни температури повітря і кількості опадів на формування врожайності сільськогосподарських культур в Україні на межі XX–XXI століть. *Аграрна наука і практика*. 2022. Том. 9, № 3. С. 2-20.
13. Балабух В. О., Малицька Л. В. Зміна повторюваності та інтенсивності хвиль тепла і холоду в Україні та їхні наслідки. *АгроТерра*. 2022. № 2(13). С. 3-12.
14. Дребот О. І., Добряк Д. С., Мельник П. П. Наукові основи природно-сільськогосподарського районування території України в сучасних умовах. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 2. С. 5-12.
15. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
16. Мартин А. Г., Осипчук С. О., Чумаченко О. М. Природно-сільськогосподарське районування України: монографія. Київ: ЦП «Компринт», 2015. 328 с.
17. Метод клімадіаграм за Госсеном-Вальтером: Практичний порадник. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О. І. Спірін. Харків: ХНАМГ, 2012. 38 с.
18. Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. URL: https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/publications/2021/heat-and-health-in-the-who-european-region-updated-evidence-for-effective-prevention-2021.
19. Осипчук С. О., Козак М. В., Миргород М. М., Колганова І. Г. Теоретико-методологічні основи різнорідних видів природного районування земель. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2018. № 3. С. 46-58.
20. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. Одеса: «ТЕС», 2012. 629 с.
21. Шевченко О. Г., Сніжко С. І. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 57-63.

БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 622.457:519.6
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.35

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОГО РИЗИКУ ЗДОРОВ'Ю НАСЕЛЕННЯ ПРИ ЗАБРУДНЕННІ ПОВІТРЯ ФОРМАЛЬДЕГІДОМ

Русакова Т.І.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Науки, 72, 49010, м. Дніпро
rusakovati1977@gmail.com

Наголошено, що формальдегід є однією із шкідливих речовин, яка генерується та надходить в навколишнє середовище від викидів промислових підприємств, автотранспорту та внаслідок пожеж. Для людей, що постійно перебувають в зоні з підвищеним рівнем формальдегіду, як на робочому місці так і в домашніх умовах, збільшується ризик щодо захворювань на лейкемію, рак, захворювань органів дихання та шлунково-кишкового тракту. Тенденція зміни обсягів формальдегіду, що надійшли в атмосферне повітря за останні п'ять років від промислового сектору, має чітко виражений спадний характер. Одночасно станції моніторингу стану атмосферного повітря в місті Дніпро фіксують перевищенні гранично-допустимі концентрації формальдегіду, що найімовірніше пов'язані з пожежами, які зумовлені військовою агресією. Проведено експериментальні дослідження рівня концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі у зовнішньому середовищі. На основі кореляційно-регресійного аналізу розроблено математичну модель, що встановлює взаємозв'язок між концентрацією формальдегіду та параметрами атмосферного повітря, а саме швидкістю повітряного потоку, температурою та вологістю в осінній період року. Також встановлено перевищені значення формальдегіду во внутрішніх приміщеннях, на їх основ проведено розрахунок потенційного ризику здоров'ю населення. Запропоновано рекомендації щодо виробничої та побутової безпеки робітників та населення. Результати дослідження показують, що перебування людини в життєвому середовищі, де рівень формальдегіду не перевищує *ГДК*с.д., є безпечним і ризик ураження здоров'ю залишається прийнятним. Ось чому важливо впроваджувати заходи для зменшення впливу формальдегіду та мінімізації його викидів. *Ключові слова:* джерела надходження формальдегіду, атмосферне повітря, кореляційно-регресійна модель, концентрація формальдегіду, потенційний ризик здоров'ю.

Assessment of potential risk to population health from formaldehyde air pollution. Rusakova T.
It is emphasized that formaldehyde is one of the harmful substances that is generated and enters the environment from emissions of industrial enterprises, motor vehicles and as a result of fires. For people who are constantly in an area with an elevated level of formaldehyde, both at work and at home, the risk of leukemia, cancer, respiratory and gastrointestinal diseases increases. The trend of changes in the volume of formaldehyde that has entered the atmospheric air over the past five years from the industrial sector has a clearly pronounced downward trend. At the same time, atmospheric air monitoring stations in the city of Dnipro record exceeded maximum permissible concentrations of formaldehyde, which are most likely associated with fires caused by military aggression. Experimental studies of the level of formaldehyde concentration in atmospheric air in the outdoor environment have been conducted. Based on correlation-regression analysis, a mathematical model was developed that establishes the relationship between formaldehyde concentration and atmospheric air parameters, namely air flow velocity, temperature and humidity in the autumn period of the year. Also, exceeded formaldehyde values in indoor areas were established, and on their basis, a calculation of the potential risk to the health of the population was carried out. Recommendations were proposed regarding the industrial and domestic safety of workers and the population. The results of the study show that a person's stay in a living environment where the formaldehyde level does not exceed the MPC is safe and the risk of health damage remains acceptable. That is why it is important to implement measures to reduce the impact of formaldehyde and minimize its emissions. *Key words:* sources of formaldehyde, atmospheric air, correlation-regression model, formaldehyde concentration, potential health risk.

Постановка проблеми. Життєдіяльність людей у сучасному суспільстві не є безкомпромісною, оскільки пов'язана з великою кількістю негативних чинників, які виникають внаслідок діяльності людей і природного середовища. Прагнення людей щодо покращення свого матеріального забезпечення, рівня та якості життя, призводить до збільшення кількості різного роду виробництв, що виготовляють збільшений асортимент матеріалів та товарів, щоб задовольнити потреби населення. В наслідок роботи промислово-виробничого сектору генеруються та надходять в навколишнє середовище різні шкідливі речовини, які мають негативний вплив на людей та довкілля. Однією із таких речовин є формальдегід, що використовується в різних промислових, комерційних та побутових цілях. У зв'язку з негативними наслідками впливу формальдегіду на людину та природне середовище значна увага в світі приділяється дослідженню надходження формальдегіду в навколишнє середовище, моніторингу та контролю, а також впливу на стан здоров'я людей. В даній статті розглядається оцінка потенційного ризику здоров'ю населення при забрудненні атмосферного повітря формальдегідом.

Актуальність дослідження та аналіз останніх досліджень Во внутрішньому середовищі проживання людини, а саме у закритих приміщеннях, можна виділити велику кількість джерел надходження формальдегіду. Їх поділяють на три групи [1]: матеріали для будівництва та меблів – дерево-стружкові плити, склеєні смолами; побутові засоби – миючі засоби, косметика, фарби, лаки, клеї, в яких формальдегід часто використовується як консервант, тому ці засоби виділяють формальдегід у повітря; побутове спалювання, яке присутнє у всіх димах при згорянні природних та штучних ресурсів – під час приготування їжі, опалення приміщень в декоративних камінах, при курінні або використанні пахощів.

Більшість тестів, проведених в кліматичних камерах в роботі [2] відносно надходження формальдегіду від двадцяти різних предметів побутових меблів показали низький рівень викидів, однак були меблі з рівнем формальдегіду більше 0.1 мг/м^3. Одночасно наголошено на тому, що меблі з помірним виділенням формальдегіду, але з великою площею, такі як книжкові шафи та вхідні двері можуть мати значний вплив на повітря в приміщенні. Також концентрація формальдегіду може збільшуватися в погано вентильованих приміщеннях.

Серед зовнішніх джерел надходження формальдегіду виділяють: промислові викиди, вихлопні гази транспортних засобів та лісові пожежі. Дослідження стану здоров'я працівників на підприємствах, де вони піддаються впливу формальдегіду, показали підвищений ризик захворюваності на лейкемії. При диханні та через шкіру може виникати, як подразнення шкіри або очей, так і потрапляння формальдегіду в легені, шлунково-кишковий тракт [3–4].

Формальдегід є надзвичайно реакційною хімічною речовиною, яка взаємодіє з білками, ДНК та РНК [5]. Результати аналізу дослідження [6] показують, що концентрація формальдегіду в повітрі приміщень будівель досягає значно вищих значень, ніж на відкритому повітрі. Вплив формальдегіду підвищує ризик виникнення раку, особливо раку носоглотки. Вплив формальдегіду також може стати причиною розвитку астми як у дітей, так і у дорослих, а також деяких захворювань головного мозку [7].

Формальдегід також спричиняє шкідливий вплив на довкілля та біорізноманіття. Як летка органічна сполука він сприяє фотохімічному утворенню тропосферного озону, тобто смогу, який є шкідливим для здоров'я людини. Формальдегід добре переноситься водними потоками та відкладається в озерах, річках і ґрунтах, негативно впливаючи на водні та наземні екосистеми [8]. Надмірні викиди формальдегіду впливають на біорізноманіття, на природне середовище проживання, порушуючи екосистеми. Так, в роботі [9] наведено дослідження кумулятивного впливу формальдегіду на морські екосистеми. Підвищений рівень формальдегіду призводить до зниження темпів росту дерев або спричиняє легеневі кровотечі у птахів [10]. Хоча формальдегід не є основним парниковим газом, він може опосередковано сприяти зміні клімату, реагуючи в атмосфері з утворенням сполук, які впливають на клімат.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В роботі досліджено та проаналізовано динаміку зміни обсягів надходження формальдегіду в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення. Проведено експериментальне дослідження рівня концентрації формальдегіду, як на відкритій місцевості, так і у приміщеннях. На основі кореляційно-регресійного аналізу розроблено математичну модель для прогнозування рівня концентрації формальдегіду у зовнішньому середовищі з урахуванням факторних змінних: температури, вологості та швидкості повітряного середовища. Розраховано потенційний ризик здоров'ю населення при наявності в повітрі приміщень формальдегіду.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розроблена математична модель дозволяє проводити аналіз рівня формальдегіду в атмосферному повітрі в осінній період відповідно до змін метеорологічних параметрів атмосферного повітря. Розрахунок потенційного ризику при різних рівнях перевищення гранично допустимої концентрації дозволив встановити межі концентрації, при яких буде змінюватися рівень ризику від прийнятного до катастрофічного.

Викладання основного матеріалу. За статистичною інформацією державної служби статистики України щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря [11] було проаналізовано динаміку зміни обсягів надходження формальдегіду в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення в продовж 2019–2023 років, що показано на рисунку 1. Тенденція зміни обсягів надходження формальдегіду у атмосферне повітря за період 2019–2023 роки від стаціонарних джерел забруднення має чітко виражений спадний характер і дуже добре описується степеневою залежністю (1) з величиною достовірності $R^2 = 0.8278$ (рис. 1, крива 3).

$$y(x) = 192.35 \cdot x^{-0.279}, \qquad (1)$$

де x – роки, $y(x)$ – обсяги CH_2O в тонах від стаціонарних джерел забруднення по Україні.

Середнє значення обсягів формальдегіду від стаціонарних джерел за-бруднення за вказаний період складає 150.3 т/рік. У 2020 році було наявним зниження на 5.7% в порівнянні з 2019 роком, тоді як в 2021 році – зростання на 6.2%. Найбільше значення 177.6 т. спостерігалося у 2021 році, а найменше значення 114.5 т. – у 2023 році. Так у 2022 році відбулося найбільше зниження обсягів надходження формальдегіду в атмосферне повітря на 35% в порівнянні з 2021 роком, що пов'язане із зупинкою багатьох виробництв в Україні. На рисунку 2 показано відхилення від середнього значення: найбільше

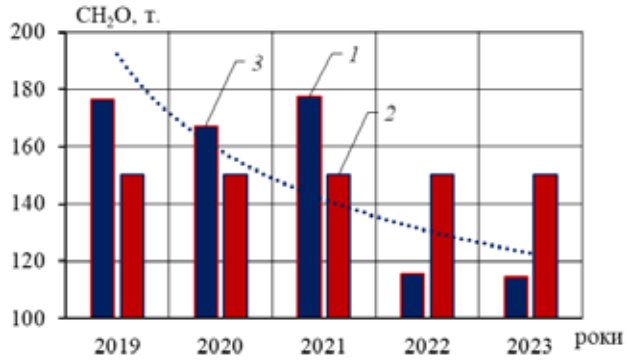


Рис. 1. Динаміка зміни обсягів надходження формальдегіду у атмосферне повітря за період 2019–2023 роки від стаціонарних джерел забруднення по Україні: 1 – статистичні дані; 2 – середнє значення; 3 – лінія тренду

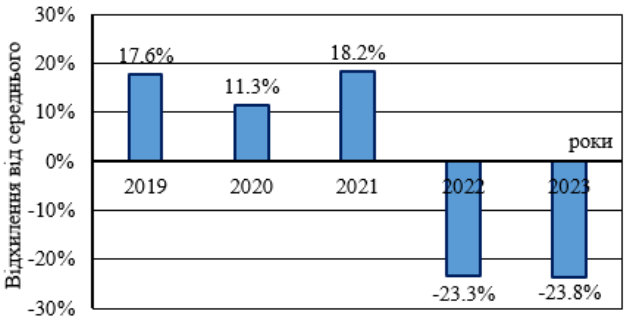


Рис. 2. Відносне відхилення від середнього значення обсягів надходження формальдегіду у атмосферне повітря за період 2019–2023 роки від стаціонарних джерел забруднення по Україні

додатне відхилення у 2021 році – 18.2%, а найменше – у 2023 році (-23.8%). Медіана ряду даних дорівнює 167.2 т/рік. Оскільки середнє значення і медіана відрізняються на 11%, то обсяги мають несиметричний розподіл (рис. 2). Середнє квадратичне відхилення складає 32.5 т/рік, що характеризує невеликий розкид варіант щодо середньої величини. Асиметрія ряду даних від'ємна (-0.54) – є лівосторонньою симетрією, що вказує на слабкий ступінь несиметричного розподілу по відношенню до середнього, тобто в розподілі частіше зустрічаються значення, що є більше середнього.

За даними інформаційно-аналітичного огляду щодо стану атмосферного повітря, наданого департаментом екології та природних ресурсів Дніпропетровської обласної військової адміністрації за серпень (за період 01.08.2024 р. по 10.08.2024 р.) на станціях аналізу якості повітря виявлено перевищення середньодобового значення гранично допустимого рівня формальдегіду. На території міста Дніпра діють 5 автоматизованих стаціонарних станцій аналізу якості повітря: вул. Батумська, вул. Космонавта Волкова, пр. Свободи, вул. Набережна Перемоги, вул. Нестерова. А також 5 неавтоматизованих стаціонарних постів спостережень за станом атмосферного повітря: ПСЗ № 10 – парк ім. Т.Г. Шевченко, ПСЗ № 13 – вул. Філософська, ПСЗ № 19 – вул. Краснопільська, ПСЗ № 20 – пр. Івана Мазепи, ПСЗ № 24 – вул. Богдана Хмельницького. На трьох постах спостереження було зафіксовано в атмосферному повітрі підвищені рівні формальдегіду, які коливались в межах 5.0–7.0 *ГДК*с.д (табл. 1) [12].

На наступному етапі представленої роботи проводилися експериментальні дослідження щодо рівня концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі. Мета дослідження полягала у встановленні зв'язків між концентрацією формальдегіду, швидкістю повітряного потоку, температурою та вологістю в осінній період року. Вимірювання формальдегіду проводилися за допомогою багатофункціонального детектора якості повітря GM8804, який може одночасно визначати концентрацію формальдегіду, температуру та вологість, не потребує калібрування. Для вимірювання швидкості вітру використовувався сучасний професійний пристрій – анемометр Peakmeter PM6252B. Прилади розміщувалися на висоті 1.5 м від поверхні землі. Вимірювання проводилися впродовж семи днів по сім вимірювань з 11:00 до 12:00. Осереднені результати вимірювання концентрації формальдегіду, вологості, температури та швидкості вітру занесено до таблиці 2.

На основі отриманих експериментальних даних проводився множинний кореляційно-регресійний аналіз, а саме, кількісна оцінка взаємозв'язків

Таблиця 1

Середні концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі по м. Дніпро за період 01.08. – 10.08.2024 [12]

Пост спостереження	Зафіксована середня концентрація CH_2O, мг/м^3	ГДКс.д., мг/м^3	Рівень перевищення
ПСЗ № 13	0.02	0.003	6.7 ГДКс.д.
ПСЗ № 19	0.021	0.003	7 ГДКс.д.
ПСЗ № 20	0.015	0.003	5 ГДКс.д.

Таблиця 2

Результати вимірювання концентрації формальдегіду

Дата	CH_2O, mg/m³	V, m/s	T,°	j
20.09.2024	2.4 ГДКс.д.	3.1	20.2	35.2
27.09.2024	2.8 ГДКс.д.	4.8	21.4	44.6
18.10.2024	1.6 ГДКс.д.	5.6	18.6	51.4
25.10.2024	1.8 ГДКс.д.	4.2	10.4	73.2
08.11.2024	1.2 ГДКс.д.	3.8	8.6	74.8
15.11.2024	1.4 ГДКс.д.	2.8	5.6	68.4
22.11.2024	0.8 ГДКс.д.	3.2	4.2	64.2

факторних змінних між собою та з результуючою ознакою. Для проведення такого аналізу необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Розрахувати лінійні кореляційні коефіцієнти між факторними змінними x_1, x_2, x_3, що визначають: швидкість – x_1, температуру – x_2, вологість повітряного потоку – x_3.

2. Оцінити кореляційні зв'язки між вказаними вище факторними змінними x_1, x_2, x_3 з результуючою ознакою $y(x_i)$, що визначає концентрацію формальдегіду. Розрахвати ступінь впливу факторних змінних на результуючу ознаку.

3. Отримати регресійну математичну модель, яка пов'язує тенденції вищевказаних факторних змінних із тенденцією результуючої ознаки.

4. Перевірити об'єктивність числових розрахунків, проведених на основі кореляційно-регресійної математичної моделі.

На основі кореляційного розрахунку отримано коефіцієнти кореляції (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції між факторними змінними та результуючою ознакою

	x_1	x_2	x_3	$y(x_i)$
x_1	1			
x_2	0.4009	1		
x_3	0.4318	-0.8385	1	
$y(x_i)$	-0.3451	0.4585	-0.3835	1

Можна бачити, що ступінь кореляції результуючої змінної $y(x_i)$ з факторними змінними x_1, x_2, x_3 є різною, вона змінюється від середнього рівня (-0.35) до високого (-0.84). Дуже низький рівень кореляції та мультиколінеарність не спостерігаються, тому для проведення регресійного розрахунку не потрібно виключати жодної факторної змінної. Між результуючою ознакою та усіма факторними змінними присутній як прямий, так і зворотній зв'язок середнього ступеня. Задача регресійного аналізу полягає у визначені статистичних коефіцієнтів регресійної статистики та дисперсійного аналізу, що визначають рівень хибності, значущості та об'єктивності рівняння регресії. Коефіцієнт детермінації R^2=0.849 підтверджує, що на 84.9% варіації залежної змінної $y(x_i)$ можна пояснити за допомогою отриманого рівняння. Нормований R^2=0.897 показує, що на 89.7% результуючий показник $y(x_i)$ визначається факторними змінними. На позитивну значущість рівняння регресії вказує критерій Фішера, $F_{кр}$=0.0016. Імовірність хибності розрахунків обумовлюється P-значенням, яке змінюється в діапазоні [0.0032; 0.0324], тобто ризик помилки складає 3.2%.

Математична модель рівняння множинної регресії, що визначає зв'язок між факторними змінними x_1, x_2, x_3 та результуючим показником $y(x_i)$ набула наступного виду:

$$y(x_i) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 , \qquad (2)$$

де x_1 – швидкість повітряного потоку, м/с; x_2 – температура повітряного потоку, °С; x_3 – вологість повітряного потоку, %. Відповідні коефіцієнти регресії: a_0=-0.00123, a_1=-0.00122, a_2=0.00043, a_3=0.00013.

Для оцінки об'єктивності числових розрахунків $y_1(x_i)_{розрах.}$, проведених на основі кореляційно-регресійної математичної моделі, обчислено відносну похибку розрахункових та теоретичних (вихідних) даних: середнє значення похибки 2.1%, максимальне значення похибки – 3.3%. Математична регресійна модель (1) з точністю на 96% відображає зв'язок між вхідними параметрами та результуючим показником.

Більша кількість людей значну частину свого життя проводить в офісах, во власних помешканнях при наявності великої кількості меблів та інших побутових предметів, тому потенційно можуть перебувати під впливом дії формальдегіду.

Вимірювання формальдегіду у приміщеннях також проводилися за допомогою багатофункціонального детектора якості повітря GM8804. Дослідження рівня концентрації формальдегіду в середині житлових та офісних приміщень показали, що значення концентрації можуть досягати 2.5·*ГДК*м.р. і навіть 3.5·*ГДК*м.р., з урахуванням того, наскільки багато нових меблів і яку частину простору вони займають. Гранично допустима концентрація формальдегіду відповідно дорівнює: *ГДК*м.р=0.035 мг/м³, *ГДК*с.д.=0.003 мг/м³.

На основі отриманих значень концентрації формальдегіду у повітрі внутрішнього та зовнішнього середовища, де виявлені перевищення *ГДК*, проведено розрахунок потенційного ризику негативного впливу на здоров'я населення за формулою (3).

$$Risk_{CH_2O} = 1 - \exp\left[-0.174 \cdot \left(\frac{C_{CH_2O}}{ГДК_{с.д.} \cdot K_з} \right)^{\beta} \cdot t \right], \qquad (3)$$

де C_{CH2O} – концентрація формальдегіду, що надає вплив протягом часу t; $K_з$ – коефіцієнт запасу, значення якого змінюється в залежності від класу небез-

пеки речовини; β – коефіцієнт, що дозволяє оцінювати ізоефективні ефекти домішок різних класів небезпек. Для формальдегіду, який відноситься до другого класу небезпеки, $K_3 = 6$, $\beta = 1.28$.

На рисунку 3 наведено динаміку зміни рівня потенційного ризику здоров'ю населення в залежності від рівня концентрації формальдегіду у повітрі протягом однієї години. На початку розрахунок ризику проводився з більш щільним кроком по зміні концентрації від *ГДК*с.д. до 0.5·*ГДК*м.р., яка відповідає нормативним значенням. А далі розрахунок ризику проводився з більшим кроком по зміні концентрації від 0.5·*ГДК*м.р. до 5·*ГДК*м.р., яка перевищує нормативні значення.

Результати аналізу отриманого розподілу ризику та його рівнів наведено в таблиці 4.

На рисунку 4 наведено динаміку зміни ризику здоров'ю населення продовж 10 років, при концентрації формальдегіду в повітрі навколишнього середовища, яка відповідає C_{CH2O}=0.5*ГДК*м.р.=0.0175 мг/м^3.

Можна бачити, що при перебуванні людини в такому середовищі впродовж одного року ризик ураження здоров'ю складатиме більше 15%, що є небезпечним. У випадку перебування людини в такому середовищі впродовж 4 років, ризик складатиме більше 50%, що стає надзвичайно небезпечним для здоров'я людини.

На рисунку 5 наведено динаміку зміни ризику здоров'ю населення продовж 10 років, при концентрації формальдегіду в повітрі навколишнього середовища, яка відповідає C_{CH2O} =*ГДК*с.д.=0.003 мг/м^3. Можна бачити, що при перебуванні людини в такому середовищі впродовж одного року ризик ураження здоров'ю складатиме 1.7%, впродовж 3 років – 5.1%, що є прийнятним.

Результати дослідження показують, що перебування людини в життєвому середовищі, де рівень формальдегіду не перевищує *ГДК*с.д., є безпечним і ризик ураження здоров'ю залишається прийнятним. Ось чому важливо впроваджувати заходи для зменшення впливу формальдегіду та мінімізації його викидів. Для того щоб забезпечити безпеку громадян та працівників, одночасно сприяти збереженню навколишнього середовища за рахунок зменшення впливу формальдегіду доцільними будуть заходи: постійний моніторинг якості повітря, включаючи

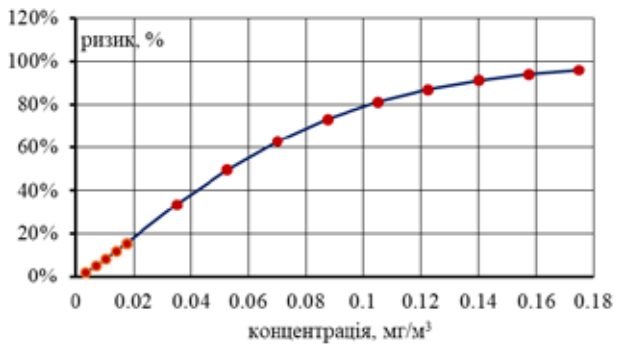


Рис. 3. Динаміка зміни потенційного ризику здоров'ю населення впродовж 1 року в залежності від концентрації формальдегіду

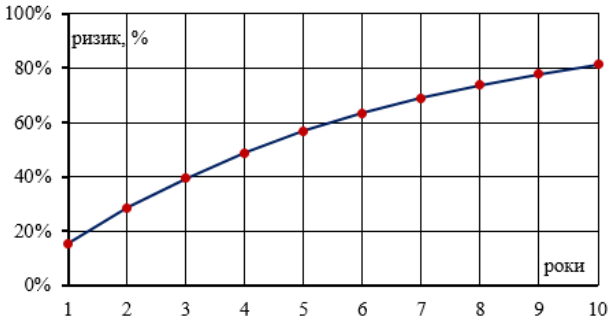


Рис. 4. Динаміка зміни потенційного ризику здоров'ю населення продовж 10 років при C_{CH2O}=0.5ГДКм.р.

Таблиця 4

Аналіз потенційного ризику здоров'ю населення

Ризик	Концентрація формальдегіду	Рівні ризику
[1.7%; 5.1%]	C_{CH2O}O	*прийнятний* – відсутні несприятливі медико-екологічні тенденції
[5.1%; 15.5%]	C_{CH2O}O	*викликає побоювання* – виникає тенденція до зростання неспецифічної патології
[15.5%; 49.6%]	C_{CH2O}O	*небезпечний* – виникає достовірна тенденція до зростання неспецифічної патології при появі одиничних випадків специфічної патології
[49.6%; 86.8%	C_{CH2O}O	*надзвичайно небезпечний* – виникає достовірне зростання неспецифічної патології при появі значного числа випадків специфічної патології, а також тенденція до збільшення смертності населення
[86.8%; 95.9%]	C_{CH2O}O	*катастрофічний*, коли виникає поява випадків хронічного отруєння, зміна структури захворюваності, яке потрібно оцінювати іншими моделями.

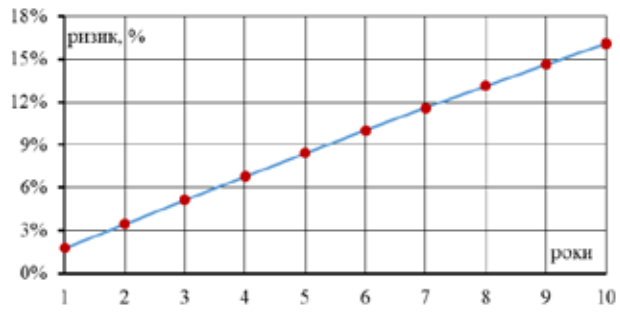


Рис. 5. Динаміка зміни потенційного ризику здоров'ю населення продовж 10 років, при C_{CH2O}=ГДКс.д.

виявлення формальдегіду та доступність результатів цього моніторингу для населення в реальному часі; інформування про потенційні ризики, пов'язані з формальдегідом у нашому повсякденному життєвому середовищі. Для того щоб забезпечити власну безпеку, зменшивши вплив формальдегіду на стан здоров'я, доречно дотримуватися наступних рекомендацій: купувати будівельні матеріали та меблі з найменшим вмістом формальдегіду; купувати вироби та будівельні матеріали з суцільного дерева, нержавіючої сталі, цегли, черепиці; використовувати безформальдегідну ізоляцію для стін та стель будинку; використовувати синтетичні фільтри, виготовлені з поліестеру, з органічних полімерів; забезпечувати хорошу вентиляцію при використанні клеїв, герметиків, латексних фарб, що містять формальдегід; використовувати килими з низьким вмістом летких органічних сполук; перевіряти щорічно системи опалення, вентиляції та кондиціонування; не палити, включаючи електроні сигарети, в приміщенні; не використовувати засоби особистої гігієни, включаючи косметику, мило, шампуні та засоби для миття тіла, що містять консерванти, які виділяють формальдегід у повітря; перевіряти етикетки продуктів на наявність сполук, які можуть виділяти формальдегід.

Головні висновки. Дослідження показують, що формальдегід постійно перебуває, як у виробничому так і в побутовому середовищі, яке безпосередньо або опосередковано доступне людині. Дуже часто формальдегід може бути причиною неспецифічних симптомів погіршення стану здоров'я, пов'язаних із приміщенням, де людина перебуває більшу частину свого життя. Найчастіше професійний вплив формальдегіду торкається працівників тих галузей, діяльність яких пов'язана з перевищеними значеннями гранично-допустимої концентрації, що впродовж години впливу може призводити до небезпечного рівня ризику впливу на здоров'я.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати дослідження щодо оцінки потенційного ризику здоров'ю населення при забрудненні повітря формальдегідом є важливою складовою для організації безпечної життєдіяльності. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на дослідження газових викидів формальдегіду від автотранспорту та при пожежах на загальний рівень забруднення атмосферного повітря.

Література

1. Formaldehyde: sources and health impacts. Meersens. URL: https://meersens.com/formaldehyde-sources-and-health-impacts/?lang=en#BLOC2 (date of access: 12.09.2024).
2. Emission of Formaldehyde from Furniture / H. V. Andersen, H. B. Klinke, L. W. Funch, L. Gunnarsen. *Test results and assessment of impact on indoor air quality revised edition environmental project no. 1815*, 56 p. https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2023/10/978-87-7038-567-1.pdf
3. Dubey S. K., Das P. Chapter 14 – Formaldehyde: Risk assessment, environmental, and health hazard. *Academic Press*, 2021. P. 169–182. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89857-7.00026-8.
4. Exposure to airborne formaldehyde: Sampling and analytical methods–A review / S. Dugheri et al. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*. 2021. Vol. 29. P. e00116. URL: https://doi.org/10.1016/j.teac.2021.e00116
5. Increase of global DNA methylation patterns in beauty salon workers exposed to low levels of formaldehyde / E. Barbosa et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 26, no. 2. P. 1304–1314. URL: https://doi.org/10.1007/s11356-018-3674-7
6. Environmental exposure to formaldehyde and effects on human health / W. Mazurkiewicz et al. *Environmental Medicine*. 2024. URL: https://doi.org/10.26444/ms/189610
7. Formaldehyde toxicity reports from in vitro and in vivo studies: a review and updated data / L. Bernardini et al. *Drug and Chemical Toxicology*. 2020. P. 1–13. URL: https://doi.org/10.1080/01480545.2020.1795190
8. Biomass burning-derived airborne particulate matter in Southeast Asia: A critical review / M. G. Adam et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 407. P. 124760. URL: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124760
9. Evaluation of the long-term effects of formaldehyde on the physiology of the Mediterranean mussel, Mytilus galloprovincialis / M. Kotsiri et al. *Chemosphere.* 2024. Vol. 364. P. 143190. URL: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143190
10. A Review of Plants Formaldehyde Metabolism: Implications for Hazardous Emissions and Phytoremediation / W.-X. Peng et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. P. 129304. URL: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129304
11. Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення 17.09.2024)
12. Дніпропетровська обласна державна адміністрація. Стан атмосферного повітря. URL: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/66c/461/337/66c461337d231316411248.pdf (дата звернення 17.09.2024)

УДК 349.6
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.36

ПРАВО СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЯК ВИД ЕКОЛОГІЧНОГО ПРАВА ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ У ПОВОЄННИЙ ЧАС

Боженко А.Л.
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників 10, 54000, м. Миколаїв
voodoo@chmnu.edu.ua

Ця робота присвячена аналізу потенційних екологічних юридичних конфліктів, які можуть виникнути в Україні під час відновлення після війни й шляхам зменшення негативних наслідків цих конфліктів. Обгрунтовано поняття права сталого розвитку як нового більш збалансованого підходу до екологічного й кліматичного права. Показано, що в Україні, як і в інших державах спостерігається ситуація, коли кожний із залучених до праці над забезпеченням сталого розвитку вчених, експертів, представників громадських об'єднань фокусується в першу чергу на тих цілях сталого розвитку, які стосуються безпосередньо його експертизи, ігноруючи інші цілі. Це призводить до конфліктів, у тому числі, соціально-політичних і юридичних. Позитивною стороною такого протистояння експертних груп є те, що завдяки цьому в суспільстві формується система стримувань і противаг, наявність якої ми вважаємо необхідною для досягнення сталого розвитку. Під час вирішення конфліктів, у тому числі, в судовому порядку, варто не забувати, що сталий розвиток передбачає максимально можливе досягнення всіх цілей і завдань, які прописані у відповідних документах. Відповідно, ми вважаємо недоречними позови, які спиратимуться на недосягненні якогось окремого завдання, вирваного з контексту концепції вцілому. Доречніше подавати позови, спираючись на невиконання конкретних технічних вимог, наприклад, з викидів або скидів забруднюючих речовин тощо. Пропонується в екологічних питаннях відходити від протистояння й шукати шляхи корисної співпраці. Це може бути спільна для промисловості, комунального господарства й заповідних територій логістика вивезення відходів, екологічна логістика постачання ресурсів, вироблення товарів для локального споживання, спонсорство об'єктів промисловості над заповідниками й об'єктами культури, спільні регіональні рекламні кампанії, спрямовані на підвищення іміджу населеного пункту, спільні екологічні просвітницькі акції. *Ключові слова:* екологічне право, кліматичне право, право сталого розвитку, сталий розвиток, євроінтеграція, реіндустріалізація.

The sustainability law as a type of environmental law in ensuring the sustainable development of Ukraine in the post-war period. Bozhenko A.

This work provides the analysis of potential environmental legal conflicts that may arise in Ukraine during post-war reconstruction and ways to reduce the negative consequences of these conflicts. The concept of sustainability law as a new, more balanced approach to environmental and climate law is substantiated. It is shown that in Ukraine, as in other countries, there is a situation where each of the scientists, experts, and representatives of public associations involved in the work of ensuring sustainable development focuses primarily on those goals of sustainable development that are directly related to their expertise, ignoring other purposes. This leads to conflicts, including socio-political and legal ones. The positive side of such opposition of expert groups is that thanks to this, a system of checks and balances is formed in society, which we consider necessary for achieving sustainable development. When resolving conflicts, including legal ones, we should not forget that sustainable development involves the maximum possible achievement of all the goals and objectives that are prescribed in the relevant documents. Accordingly, we consider inappropriate legal claims based on failure to achieve some particular sustainable development task, torn out of the context of the concept as a whole. It is more appropriate to file lawsuits based on non-compliance with specific technical requirements, for example, from emissions or discharges of pollutants, etc. In environmental issues, it is suggested to move away from confrontation and look for ways of useful cooperation. This can be logistics of waste removal shared by industry, communal services and protected areas, ecological logistics of resource supply, production of goods for local consumption, sponsorship of industrial objects over nature reserves and cultural objects, joint regional advertising campaigns aimed at improving the image of the settlement, joint environmental awareness campaigns, etc. *Key words:* environmental law, climate law, sustainability law, sustainable development, European integration, reindustrialization.

Постановка проблеми. Організація Об'єднаних Націй (ООН) виступила з низкою ініціатив у сфері сталого розвитку, включаючи створення Керівних принципів бізнесу та прав людини і 17 цілей сталого розвитку (ЦСР). Особливе значення для компаній, в тому числі, юридичних фірм, мають 10 принципів Глобального договору ООН (Глобальний договір), які стосуються корпоративної стійкості. Метою Глобального договору ООН є підвищення обізнаності бізнесу та активізація дій на підтримку досягнення SGD до 2030 року. Фірми з виробництва товарів та надання послуг у багатьох країнах, включаючи юридичні фірми, починають розглядати сталі практики як важливий аспект своєї спроможності

конкурувати на сучасних ринках. Кінцевою метою для юридичних фірм, які бажають бути сталими, має бути забезпечення того, щоб сталі екологічні, соціальні та управлінські цілі були вбудовані в культуру та структуру прийняття рішень фірми, щоб вони постійно були чинником того, як фірма виконує свою роботу та приймає рішення [1].

Актуальність дослідження. Воєнні дії призвели до значних руйнувань як цивільної інфраструктури, так і об'єктів економіки, зокрема, енергетики України. У найближчій перспективі існує невизначеність щодо припинення цих руйнувань і можливості відновлення даних об'єктів, але стратегічне планування необхідно здійснювати тут і зараз. У той же час, в Євросоюзі відбувається повільний, але вимушений через відносини з Китаєм, відхід від так званої постіндустріальної економіки до новітньої реіндустріалізації. Сьогодні необхідно проводити попередній аналіз потенційних конфліктів, у тому числі юридичних, які виникатимуть у таких умовах, і шляхів розв'язання цих конфліктних ситуацій.

Зв'язок авторських розробок з важливими науковими й практичними задачами. Дана розробка пов'язана з такими фундаментальними задачами як розвиток екологічного права в цілому, підтримання економічної, екологічної й соціальної безпеки півдня України, відновлення економіки України після війни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Звіт, опублікований Програмою ООН з навколишнього середовища та Центром Сабіна з права щодо зміни клімату при Колумбійському університеті, показав, що кількість позовів щодо зміни клімату зросла на 146% між 2017 та 2022 роками. Деякі основи для судового розгляду зміни клімату як проблеми прав людини були закладені екологічними справами в 1990-х роках – такими, як групові позови від імені громад, які постраждали від токсичних хімікатів і розливів нафти [2]. Наприклад, Європейський суд з прав людини ЄСПЛ виніс рішення на користь групи літніх швейцарських жінок, стверджуючи, що їхній уряд порушив їхні права людини, оскільки не вжив достатньо жорсткої політики для боротьби зі зміною клімату. Ця бездіяльність, як вони стверджували, сприяла більш частим, більш інтенсивним хвилям спеки, які істотно вплинули на якість їхнього життя – і в безапеляційному рішенні суд погодився.

Перемога у Швейцарії є частиною наростаючого різноманіття кліматичних судових процесів, які незабаром зазнають ще більш швидкої трансформації з кліматичними справами, які не лише обіцяють потенційно великі виграші, але й значні грошові винагороди для юристів, які їх виграють. Рішення ЄСПЛ наказало Швейцарії розробити деякі нові політики, але воно насправді не вказувало, як ці політики мають виглядати. Проте якщо подібні судові процеси почнуть призводити до штрафів, пише Isobel Asher Hamilton, на юридичні фірми, які спеціалізуються на передачі великих компаній до суду на непередбачених обставинах, чекає прибуткова бізнес-модель [2].

На фоні розквіту рухів за чисте довкілля відбувається паралельний і частково пов'язаний з ними процес: Європа та США зазнали значного скорочення зайнятості в промисловості. Незважаючи на те, що протягом десятиліть виробництво в США було провідним фактором зростання зайнятості, протягом останніх півстоліття виробництво в США скоротилося, оскільки економіка перейшла до сфери послуг.

Нещодавні економічні та геополітичні потрясіння показали крихкість глобальних ланцюжків поставок. Організації в Європі та США визнають важливість реіндустріалізації для економічної сталості, створення робочих місць, охорони здоров'я, технологічного прогресу та інновацій. Відновлюючи промислові сектори та скорочуючи ланцюжки поставок, фірми можуть сприяти більш безпечному, сталому зростанню регіональних економік.

Ескалація геополітичної напруженості, як-от напруженість між США та Китаєм, війна в Україні та європейська енергетична криза, підкреслили ризики дистанційного виробництва. Необхідність забезпечити безпеку постачання всередині країни або з країнами-однодумцями є переконливою рушійною силою оншорінгу та ніаршорінгу. Коли національний сектор має можливість задовольняти власні основні потреби, він ефективно мінімізує свою вразливість у періоди економічної невизначеності чи геополітичної загрози, зменшуючи залежність від зовнішніх джерел.

Реіндустріалізація виходить за межі економічного виміру. Вона охоплює безпеку робочих місць для майбутніх працівників, виховання місцевих талантів, надання соціальної освіти та пом'якшення інших ризиків. Внутрішні ланцюжки поставок більш прозорі, ніж офшорні. Наближення ланцюгів постачання до внутрішнього ринку посилює нагляд, підтримує більш сталі практики та впровадження циклічних моделей [3].

Після війни Миколаївська область потребуватиме відбудови місцевої економіки, включаючи промисловість. Область має відмінні стартові умови для розвитку альтернативної енергетики. Кількість сонячних днів у Очаківському районі становить близько 300 безхмарних днів на рік. На території Миколаївщини зосереджено близько 10% усього вітрового потенціалу України [4]. Тим не менше, цього буде недостатньо для наповнення бюджету й створення нових робочих місць і збереження старих, тому частина відбудованих об'єктів очікувано не буде максимально відповідати вимогам сталості з самого початку, і підвищення їх сталості доведеться планувати в відповідних стратегіях розвитку.

Паралельно з відновленням економіки планується відновлення заповідного фонду, який постраждав від руйнувань і мінування територій, згідно

зобов'язань України про збільшення кількості заповідних територій згідно Угоди про асоціацію з ЄС [5]. Внаслідок війни близько 20% площі всіх природоохоронних територій України перебувають в небезпеці, під загрозою знищення наразі залишаються 17 Рамсарських об'єктів загальною площею 627,3 тис. га, близько 160 територій Смарагдової мережі площею 2,5 млн га та 4 біосферні заповідники [5]. Збереження біологічного різноманіття є важливою складовою екологічної політики держави, оскільки Україна володіє 35% біорізноманіття Європи. Станом на 01.01.2022 р. для України показник заповідності рівний 6,8% [6].

Термін «право сталого розвитку» не можна назвати таким, що активно використовується в українських джерелах, але «*sustainability* law» поступово входить в обіг в англомовному інформаційному середовищі. Воно розглядається як міждисциплінарна дисципліна, дещо ширша, але близька до поняття «екологічне право» («environmental law»), частковим варіантом якого є кліматичне право. На даний момент Європейський Інститут права (European Law Institute) має міждисциплінарну освітню програму з підвищення кваліфікації (Special Interest Group (SIG)) зі сталого та екологічного права (Sustainability and Environmental Law). Ми використовуємо термін «право сталого розвитку», відмінність якого від терміна «екологічне право» буде розкрито нижче у статті, бо він лаконічний і в цілому зрозумілий фахівцям у галузі сталого розвитку. Термін «sustainable law» ми не використовуємо, бо він іноді використовується в дещо іншому значенні (вміння обгрунтувати претензію) в англійській мові.

Екологічне право приділяє особливу увагу охороні навколишнього середовища, відповідальності за порушення екологічних стандартів, підтримці сталого розвитку та міжнародному співробітництву. Одним із основних принципів екологічного права є принцип запобігання шкідливому впливу на довкілля. Це передбачає не тільки відповідальність за діяльність, яка може завдати шкоди екосистемі, а й попереднє вивчення можливих негативних наслідків будь-яких дій. Екологічне право спрямоване на створення та підтримку екологічної сталості в інтересах сьогоднішнього та майбутніх поколінь [7].

Lees, Emma & Pedersen, Ole наголошують на такій проблемі в екологічному судочинстві як перформативність. Перформативне право – це право «просто для показухи». Якщо закон виражає прихильність до цілей і прагнень, які є, у строгому сенсі, юридично обов'язковими, але які зрештою важко формально забезпечити, це може набувати дуже символічного чи жестового вигляду. Екологічне право особливо вразливе до перформативності. Це пов'язано з природою навколишнього середовища як об'єкта права та особливостями більшості сучасних екологічних законодавств [8].

Roy Chaudhuri, Nairita відходить від існуючого підходу, який розглядає сфери права природних ресурсів і права навколишнього середовища окремо, і пропонує інтегрований аналіз обох з усіма їхніми складностями [9].

Анатолій Гетьман розглядає екологічне право як складну взаємодію між правом, навколишнім середовищем і сталим розвитком. Він обговорює еволюцію цього права та його наслідки для правових систем у всьому світі, наголошуючи на його ролі у формуванні екологічної політики та сприянні справедливості. Окрім інших аспектів європейського екологічного права, він здійснив детальне дослідження прав корінних народів та їх ролі в управлінні навколишнім середовищем, визнаючи унікальні перспективи та внесок корінних громад у збереження навколишнього середовища і правових рамок, які захищають знання та території корінних народів [10].

Tran Duy, Minh пише, що екологічні конфлікти проявляються як політичні, соціальні, економічні, етнічні, релігійні чи територіальні конфлікти, конфлікти через ресурси чи національні інтереси або будь-які інші типи конфліктів. Щоб їм запобігти, автор пропонує оцінку впливу на довкілля, залучення громади, спільне прийняття рішень. Спільне прийняття рішень передбачає об'єднання зацікавлених сторін з різних секторів для участі в процесі прийняття рішень. Такий підхід може допомогти зміцнити довіру та сприяти співпраці між зацікавленими сторонами, що призведе до більш сталих результатів. [12]. Ми хочемо виділити такий його підхід як «спільне прийняття рішень». Вважаємо його найбільш критичним для забезпечення сталого розвитку територій.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячено дану статтю. Стаття присвячена недостатньо вивченій проблемі застосування сталих принципів при вирішенні потенційних конфліктів, включаючи юридичні, при розвитку економіки й відновленні енергетики України в воєнні й повоєнні роки.

Новизна дослідження. Наукова новизна полягає в розширенні знань в галузі екологічного, кліматичного права й обгрунтуванні їх відмінності від права сталого розвитку.

Методологічне й загальнонаукове значення. В якості методів дослідження застосовувалися порівняльний та системний методи, теоретичний аналіз наукових літературних джерел, їх синтез та узагальнення інформації. Для аналізу зібраних матеріалів та інформації використовувалися, в першу, чергу якісні методи оцінки. Дане дослідження є міждисциплінарним на стику екології, управління, права й економіки.

Викладення основного матеріалу. На підставі документів щодо сталого розвитку, прийнятих на глобальному й міждержавному рівні, Україна розробляє власні державні й регіональні стратегії

розвитку й реформує законодавство. Керівними принципами Стратегії сталого розвитку України до 2030 [11] року є: захист прав людини, верховенство права, належне врядування, участь громадськості, участь представників бізнесу та соціальних партнерів, інтеграція політики та управління, солідарність всередині поколінь і між поколіннями, використання найкращих з наявних знань, принцип запобігання, принцип «користувач платить», принцип «забруднювач платить». У такій редакції видно, що більшість принципів є антропоцентричними.

Згідно указу Президента України 722/2019 досягнення 17 цілей сталого розвитку до 2030 року реалізується шляхом залучення вчених, експертів, представників громадських об'єднань. На практиці виникає небажаний побічний ефект: кожний із залучених вчених, експертів, представників громадських об'єднань фокусується в першу чергу на тих цілях сталого розвитку, які стосуються безпосередньо його експертизи й надалі починає роками працювати в режимі «забезпечимо досягнення однієї чи двох цілей – забезпечимо сталий розвиток у цілому». Виникають конфлікти й протистояння зі спробами фактично завадити досягненню інших цілей. Кожен зауважить, що експерти з економічного зростання завжди фокусуються на економічному зростанні, але є й менш очевидні протиріччя. Так, наприклад, експерти з цілі «5. Припинення всіх форм дискримінації щодо жінок і дівчаток» іноді борються за рішення, які не в повній мірі узгоджуються з цілями 3, 4, 8, 10, а експерти з цілей 6, 11, 13, 14, 15 закривають очі на цілі 1, 2, 7, 8, 9, 10. Позитивною стороною такого протистояння експертних груп є те, що завдяки цьому в суспільстві формується система стримувань і противаг, проте на рівні регіонального, галузевого, державного й наддержавного управління важливо не ставати на чийсь бік, а пам'ятати, що сталий розвиток передбачає рівномірне досягнення кожної цілі з 17-тьох.

У таблиці 1 наведені приклади цілей і завдань Стратегії [11], які можуть протирічити одна одній і заважати досягненню одна одної. Під час вирішення конфліктів, у тому числі, в судовому порядку, варто не забувати, що сталий розвиток передбачає максимально можливе досягнення всіх цілей і завдань, які прописані у відповідних документах. Відповідно, ми вважаємо недоречними позови, які спиратимуться на недосягненні якогось окремого завдання, вирваного з контексту концепції вцілому. Доречніше подавати позови, спираючись на невиконання конкретних технічних вимог, наприклад, з викидів або скидів забруднюючих речовин тощо.

Варто звернути також увагу на «Стратегічну ціль 7. Забезпечення безпеки та доступу до правосуддя, створення підзвітних та інклюзивних інституцій. 7.2. Забезпечити доступ до правосуддя і захист прав для всіх». Захист прав «для всіх» включає людей, які економічно залежать від наявності в їх регіоні орних земель і підприємств, а не тільки людей, які задіяні в бюджетній сфері, фрилансі, НГО та туристичному бізнесі, й тому менш зацікавлені в розвитку промисловості регіонів, у яких вони живуть. Те ж саме стосується поняття «громадськість». Часто у соціальну групу «громадськість» при висвітленні проблем не повною мірою включають людей, які працюють на підприємстві й живуть у населеному пункті, де підприємство є містоутворюючим.

Нижче наведено типовий приклад невірного тлумачення пунктів у подібних документах. Наведену нижче цитату з обговорюваної Стратегії багато хто читає як:

«До 2030 року забезпечити створення систем **збалансованого виробництва продуктів харчування** та запровадити методи ведення сільського господарства, які дають можливість підвищити життєстійкість і продуктивність та збільшити обсяги виробництва, **сприяють збереженню екосистем, зміцнюють здатність адаптуватися до зміни клімату,** екстремальних погодних явищ, посух, повеней та інших стихійних лих **і поступово поліпшують якість земель і ґрунтів».**

При цьому у сліпу зону для ока й свідомості потрапляє:

«До 2030 року **забезпечити створення систем** збалансованого **виробництва продуктів харчування** та запровадити методи ведення сільського господарства, **які дають можливість підвищити** життєстійкість і **продуктивність та збільшити обсяги виробництва**, сприяють збереженню екосистем, зміцнюють здатність адаптуватися до зміни клімату, екстремальних погодних явищ, посух, повеней та інших стихійних лих і поступово поліпшують якість земель і ґрунтів».

У сучасних підходах до сталого розвитку автоматично передбачається покращення економічних показників, які сприяють подоланню бідності. Сприймати сталий розвиток планети й держави як спосіб максимізації показників процвітання природних екосистем за рахунок всіх інших показників є помилковим підходом.

Так само, стратегічну ціль «4. Забезпечення охорони громадського здоров'я, благополуччя та якісної освіти в безпечних і життєстійких населених пунктах» екологи тлумачать однозначно як заклик зменшити забруднення наколишнього середовища й будь-які впливи (екотоксикологічний, шумовий, електромагнітний, радіаційний та ін.) на людину. Насправді задля реальної охорони громадського здоров'я необхідне не тільки здорове довкілля, але й високотехнологічна медицина, яка на практиці буває тільки в країнах з високорзвиненими економіками й розвиненою інфраструктурою, яка забруднює довкілля навіть у постіндустріальну добу. Також необхідні або високі доходи населення, або розвинена соціальна держава з великими податками з розвиненої економіки, щоб забезпечити фінансування

Таблиця 1

Порівняльний аналіз деяких завдань Стратегії сталого розвитку України до 2030

Стратегічні цілі та завдання Стратегії сталого розвитку України до 2030:	
Приклади завдань, які не сфокусовані на вирішенні екологічних проблем, і можуть спричинити збільшення техногенного навантаження на довкілля	*Приклади завдань, які є еко-френдлі, але можуть завадити виконанню завдань, наведених у лівому стовпчику*
1. Сприяння інклюзивному збалансованому низьковуглецевому економічному зростанню та життєстійкій інфраструктурі, зокрема: забезпечити щорічне зростання валового внутрішнього продукту у середньому на рівні не менше ніж 4% на період 2019 – 2020 рр., 6% – на період 2021 – 2025 рр. і 7% – на період 2026 – 2030 рр. До 2030 р. року підвищити частку переробної промисловості у валовій доданій вартості до 30%. Сформувати організаційну інфраструктуру підтримки підприємництва у вигляді технопарків, бізнес-інкубаторів, мереж надання послуг підприємствам, зокрема на засадах державно-приватного партнерства; сприяти розвитку кластерних мереж. 3. Подолання бідності та скорочення нерівності, зокрема гендерної, зокрема: до 2025 року ліквідувати крайню бідність (в Україні визначається як добове споживання на суму менш ніж 5,05 доларів США за паритетом купівельної спроможності); до 2030 року скоротити вдвічі (до 36%) частку домогосподарств, які за оцінкою матеріального добробуту належать до бідних за критеріями ООН; до 2030 року забезпечити поступове наближення мінімального рівня заробітної плати та мінімальної пенсії не нижче фактичного прожиткового мінімуму; досягти та підтримувати зростання доходів найменш забезпечених 40% населення на рівні, вищому за середній по країні, розширити економічні можливості жінок у контексті зайнятості, доходу та розвитку підприємницького потенціалу.	5. Забезпечення переходу до моделей збалансованого споживання і виробництва, збалансованого управління природними ресурсами та зміцнення заходів реагування на зміну клімату, зокрема: до 2030 року зменшити обсяги викидів парникових газів в усіх секторах економічної діяльності до рівня, який не перевищуватиме 60% рівня викидів 1990 року; до 2030 року збільшити лісистість території до 20% площі країни; сприяти збільшенню обсягів поглинання парникових газів шляхом підвищення рівня лісистості, збалансованого землекористування, ренатуралізації водно-болотних угідь, консервації еродованих орних земель і відтворення на них степових та лучних екосистем. 6. Збереження наземних і морських екосистем та сприяння збалансованому використанню їхніх ресурсів, зокрема: до 2030 року забезпечити істотне скорочення будь-якого забруднення морського середовища, зокрема повністю припинити скидання неочищених стічних вод об'єктами, розташованими у межах прибережної смуги Азовського та Чорного морів, і унеможливити розливи нафти та інших небезпечних речовин з морських суден; до 2030 збільшити площу територій та об'єктів природно-заповідного фонду до 15% території країни, зокрема, в гірських регіонах не менше, ніж 2,5% території країни; до 2030 року забезпечити захист морських і прибережних екосистем шляхом збільшення площі природно-заповідного фонду у приморських областях до 10%.
Приклади завдань, які є еко-френдлі, але не заважають і можуть сприяти розвитку економіки або стати джерелом доходу, створюючи нові робочі місця (як, наприклад, індустрія переробки відходів)	
Стратегічна ціль 5. Забезпечення переходу до моделей збалансованого споживання і виробництва, збалансованого управління природними ресурсами та зміцнення заходів реагування на зміну клімату, зокрема: • До 2025 року запровадити використання екологічних рахунків в системі статистичного обліку країни. • До 2030 року досягти збалансованого управління природними ресурсами та їх ефективного використання і знизити ресурсоємність ВВП на 40%. • До 2030 року зменшити на 20% втрати продовольства у виробничо-збутових ланцюжках, а також післязбиральні втрати. • Сприяти забезпеченню «зелених» державних закупівель відповідно до національних пріоритетів і стандартів ЄС. • До 2030 року забезпечити системне інформування споживачів і виробників щодо значення та переваг збалансованого споживання та виробництва і формування сучасної культури споживання, зокрема ощадливого використання ресурсів. • До 2030 року впровадити національну стратегію освіти для сталого розвитку. • Удосконалити законодавчу базу у сфері поводження з відходами та створити сучасну інфраструктуру збирання, сортування, перероблення та утилізації відходів, у тому числі небезпечних промислових та електронних, як вторинної сировини, залучення інвестицій у сферу поводження з відходами та до 2030 року забезпечити скорочення обсягів утворення відходів виробництва і споживання на 20%. • До 2030 року збільшити кількість твердих побутових відходів, які переробляються, утилізуються та спалюються, до 50%.	

якісної медицини. Що ж до «життєстійких населених пунктів», то тут навіть в більшому ступені необхідний розвиток науки й техніки, ніж природних ландшафтів і здорових екосистем. Особливо це стає очевидним під час війни – відсутність високотехнологічної зброї, яка виробляється на підприємствах, зводить нанівець решту заходів із забезпечення «життєстійкості» населеного пункту.

В історії екологічного права було немало протистоянь між корінним населенням і об'єктами економіки, якими керують інші народи, часто це глобальні корпорації. На нашу думку, це сформувало певний паттерн, який не завжди відповідає дійсній проблемі, навколо якої виник конфлікт. А саме, доволі поширеною є ситуація, коли об'єктом економіки керують представники цього самого народу, який проживає на території, або навіть представники власне місцевих жителів. Відповідно, драма «ми проти них», яка часто розігрується при цьому в ЗМІ, набуває надмірної театральності, відволікаючи від того факту, що на відміну від корінного населення, яке займається збиранням, полюванням й риболовлею, живе за своїми внутрішніми законами, інші народи часто критично потребують наявності об'єкта економіки на території свого регіону, який буде сплачувати податки й створювати робочі місця. Таким чином, позов «громадськості» як представників корінного населення проти глобальної корпорації й позов «громадськості» як частини місцевих жителів, які не працевлаштовані на даному підприємстві, проти власників підприємства, а насправді, також і решти місцевих жителів, які залежать від цього підприємства – це не ідентичні ситуації з точки зору управління державою й регіоном.

У Європі й США підхід «ми проти них» свого часу сприяв стрімкій деіндустріалізації. Спочатку це мало явні переваги, відбувалася розбудова так званого постіндустріального суспільства, але зрештою вилилося в зниження реальних доходів населення через втрату робочих місць, які оплачуються вище, ніж більшість позицій у ритейлі й сфері обслуговування, й занепад інженерної освіти. Натомість нові індустріальні країни, такі як Індія й Китай, піднялися в рейтингу за ВВП, що фактично послабило глобальні конкурентні позиції постіндустріальних країн.

Україна, якщо це вдастся, вступає в Євросоюз та інші західні союзи зараз, на етапі реіндустріалізації, проте за інерцією багато осіб, які впливають на процеси, мислять у парадигмі постіндустріального суспільства, орієнтуючись переважно на інтереси й переконання людей, чия праця мінімально зав'язана на реальне виробництво товарів. Історія показує, що такий розвиток економіки й держави в цілому не є ані ефективним, ані власне сталим.

Вище було розглянуто кейс суду літніх жінок проти уряду Швейцарії. Вважаємо за необхідне задати питання: що відбулося б, якби результатом суду в Швейцарії став не примус держави розробити нові політики, а великий, як це часто буває, штраф. Із чиєї кишені сплачувався б цей рахунок – з кишені громадян Швейцарії, молодих сімей?

Юристи, які займаються кліматичними запитами, часто розглядають свою діяльність як бізнес, мислячи категорією «модель найбільшої прибутку для своїх фірм». Відповідно ми не можемо розглядати ці позови як ситуацію «герой проти антигероя». Правильніше говорити про ситуацію «один бізнес проти іншого бізнесу». Це все одно не означає, що другий бізнес не може й не повинен програвати й сплачувати за забруднення довкілля й руйнування екосистем. Але якщо говорити про права людини з точки зору сталого розвитку, ці судові справи повинні враховувати в комплексі наступні питання:

– скільки робочих місць створено для місцевих в цьому регіоні;

– скільки податків забруднювачі платять в цьому регіоні (саме в цьому);

– чи можна з цих податків направити регулярні платежі, спрямовані на попередження й пом'якшення ризиків і збитків, які підприємство наносить природі і здоров'ю людей.

Варто також зазначити, що навколо природоохоронних територій часто формується туристичний бізнес. Туристичний бізнес, як правило, є відносно екологічно безпечним, і тому екологічні групи часто об'єднуються з його представниками для боротьби з іншими об'єктами економіки в околицях. Тим не менше, туристичний бізнес також орієнтований на прибуток, він не є повною мірою антагоністом інших бізнесів у громаді. Його менше навантаження на екосистему досягається тим, що він має обмежені можливості закриття проблеми з безробіттям і суперечливу конкурентноспроможність в питанні наповнення місцевих бюджетів. Вважаємо, що в екологічних питаннях різним видам бізнесу в державі, громаді варто відходити від протистояння й шукати шляхи корисної співпраці в створенні більш безпечної для довкілля інфраструктури. Це може бути спільна для промисловості, комунального господарства й заповідних територій логістика вивезення відходів, екологічна логістика постачання ресурсів, вироблення товарів для локального споживання, спонсорство об'єктів промисловості над заповідниками й об'єктами культури, спільні регіональні рекламні кампанії, спрямовані на підвищення іміджу населеного пункту, спільні екологічні просвітницькі акції і т. ін.

Часто можна почути, що право на здорове навколишнє середовище – фундаментальне право людини. Але це не єдине право й не єдина потреба людини. Необхідне також забезпечення базового доходу людини, безпеки, комфортної інфраструктури та ін. І рішення суду повинні складатися саме в розробці комплексних заходів, при цьому таких, які не приводять до позбавлення місцевих жителів робочих місць і доходів надовго (інакше слід враховувати, як ці робочі місця замінити новими і хто за це буде відповідати).

Головні висновки

1. Сьогодні загальноприйнятим у планетарному масштабі є список із 17 цілей сталого розвитку до 2030 року. Мається на увазі, що сталого розвитку буде досягнуто за умови досягнення всіх його

17-ти цілей. В Україні, як і в інших державах, спостерігається ситуація, коли кожний із залучених до реалізації стратегій зі сталого розвитку експертів фокусується в першу чергу на тих цілях сталого розвитку, які стосуються безпосередньо його експертизи, ігноруючи інші цілі. Це призводить до конфліктів, у тому числі, соціально-політичних і юридичних. Позитивною стороною такого протистояння експертних груп є те, що в суспільстві формується система стримувань і противаг, наявність якої ми вважаємо необхідною для досягнення сталого розвитку.

2. При прийнятті екологічних рішень у мирний час необхідно завжди враховувати ризики, які можуть у майбутньому виникнути в потенційний військовий час. Бажано при цьому консультуватись з військовими експертами.

При бажанні подати до суду позов щодо екологічних питань, було б коректно, якщо б група активістів-екологів або екологічна організація спочатку провела соціологічне дослідження в громаді, для якої цей об'єкт є важливим з економічної точки зору. Якщо ж це об'єкт загальнодержавного значення, одночасно з правами всіх, на кого він впливає прямо або опосередковано, повинні враховуватись також інтереси держави й усього населення країни.

3. Вважаємо, що при екологічному позові до підприємств найбільш обґрунтованим і суспільно корисним є вимагати примусового встановлення очисних споруд і запровадження екологічних рішень, а також відшкодування чітко порахованої шкоди позивачу, замість вимагати приблизно таку суму, яка по факту є на рахунках підприємства й з великою вірогідністю зробить організацію банкрутом, що викликає питання до мотивів і цілей позивача. Замість спроб довести одне одного до банкрутства, різним видам бізнесу в державі, громаді варто шукати шляхи корисної співпраці. Саме цей підхід нами розглядається як фундамент для сталого розвитку.

Перспективи використання результатів дослідження. Після війни, незалежно від моделі мирних домовленостей, за якими вона закінчиться, відбудеться реіндустріалізація принаймні деяких регіонів України. Ряд територій при цьому планується розподілити для розширення природно-заповідного фонду задля досягнення нормативів із відсотку природно-заповідних територій, прийнятих у країнах ЄС. Одночасно з цим відбудеться реформування енергетичного сектору з метою зробити його більш стійким до будь-яких атак. Важливо географічно й економічно правильно розподілити пріоритети по цих напрямках розвитку країни й одразу стратегічно прораховувати ризики, проаналізовані в даній статті, одночасно використовуючи розроблені в ній методологічні засади обгрунтування прийнятих управлінських рішень.

Література

1. Official cite of the International Association of Lawyers. URL: https://www.uianet.org/en/news/best-practice-sustainability-principles-law-firms-path-sustainability
2. Isobel Asher Hamilton. Can we solve climate change by suing polluters? URL: https://www.thedailyupside.com/industries/energy/can-we-solve-climate-change-by-suing-polluters/
3. The resurgence of manufacturing: Reindustrialization strategies in Europe and the US / Report from the Capgemini Research Institute. URL: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2024/04/CRI_Reindustrialization_Final_1.pdf
4. «Регіональна доповідь про стан навколишнього природно середовища в Миколаївській області у 2021 році». URL: https://ecolog.mk.gov.ua/ua/ecoreports/regonalreport/.
5. Допомога громадських організацій установам природно-заповідного фонду України в умовах повномасштабної війни / О. В. Василюк, К. О. Філюта, В. В. Шаповал. Київ; Чернівці, 2024. 80 с. DOI:10.13140/RG.2.2.33656.83200
6. Офіційний портал Державної служби статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/
7. Rybyanets, V. & Moiseeva, E. Environmental law as an independent branch of law / Conference: Synthesis of science and education in solving the environmental problems of modernity-2024. P. 197-202. DOI: 10.58168/synthesis2024_197-202.
8. Lees, Emma & Pedersen, Ole. (2024). Performative Environmental Law. The Modern Law Review. DOI: 10.1111/1468-2230.12918.
9. Roy Chaudhuri, Nairita. Environmental Movements and Law. In Book «The Oxford Handbook of Environmental and Natural Resources Law in India». 2024. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780198884682.013.5.
10. Getman, Anatoliy. Foreword – Advances in Environmental Law. 2024. DOI: 10.33002/enrlaw-333/foreword.
11. Проект закону України Про Стратегію сталого розвитку України до 2030 року. URL: https://ips.ligazakon.net/document/JH6YF00A?an=450
12. Tran Duy, Minh. Managing environmental conflicts for sustainable tourism development / Conference Paper: Earth and Environmental Sciences, Mining for Digital Transformation, Green Developmentand Response to Global Change. 2023. PP 357-364.

УДК 007:338.26.003;008:001.89
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.37

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ МІСЦЕВОЇ СХЕМИ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖІ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Бондар О.І., Мілєхін П.О., Шевченко Р.Ю.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
azimut90@ukr.net

Висвітлені методи формування науково обгрунтованого механізму створення особливої природно-територіальної системи взаємопоєднаних екологічно цінних природних зон – екологічної мережі України, що забезпечує цілісність і безперервність екологічного моніторингу біосфери. Це визначається поєднанням підходів географічного, екологічного та картографічного методів дослідження збереження біоландшафтного різноманіття природоохоронних територій та природно-заповідних об'єктів (природно-заповідного фонду України), що мала б соціально-економічну користь для місцевого населення, поліпшувала екологічні умови життя територіальної громади, а отже й сприяючи формуванню підвалин сталого розвитку, враховуючи історичний, зонально-географічний, біоценотичний (еволюційний), ресурсно-господарський, екологічний, соціально-політичний та науково-дослідний принципи природно-орієнтованої територіальної організації суспільства.

Окреслена послідовність планування територій на місцевому рівні (на прикладі Комарської сільської територіальної громади Донецької області) з принциповим вирішенням розвитку, планування та створення екологічної мережі на основі прив'язки до нових адміністративно-територіальних одиниць та їх окремих частин з чіткою стратегією охорони природного середовища та посиленням контролю за природокористуванням. Наповнений тематичний зміст структури баз даних територій та об'єктів місцевої екомережі в середовищі ГІС.

Сформована концептуальна схема організації роботи по формуванню екологічної мережі територіальної громади, в результаті впровадження якої, укладена геоінформаційна (картографічна) база даних природоохоронних територій зі внесенням відомостей про території та об'єкти екомережі до Національного геопорталу.

Розроблені класифікаційні ознаки тематичного змісту спеціалізованих карт екомереж місцевих територіальних громад та алгоритм формування геоінформаційної бази даних під час моніторингу екологічних мереж. Акцентовано увагу на уніфікації змісту картографічних аншлагів при демаркації на місцевості екологічних сіток України. Запропоновано проєктний зразок аншлагу ПЗФ України та світлина його апробаційного впровадження на території Національного природного парку «Дністровський каньйон» (Екологічна стежка «Джуринський водоспад»). *Ключові слова:* екологічна мережа, територіальна громада, біорізноманіття, геопортал, екологічні карти, екокоридори, природокористування, містобудівна документація.

Scientific and practical basis of the development of the local scheme for the formation of the Ecological Network of the territorial community. Bondar O., Milehin P., Shevchenko R.

The publication highlights the solution to the problem of forming a scientifically based mechanism for the creation of a special natural-territorial system of interconnected ecologically valuable natural zones – The Ecological Network of Ukraine, which ensures the integrity and continuity of ecological monitoring of the biosphere. This is determined by the combination of approaches of geographical, ecological and cartographic methods of studying the preservation of biolandscape diversity of nature conservation territories and nature-reserve objects (Nature-Reserve Fund of Ukraine), which would have socio-economic benefits for the local population, improve the ecological conditions of life of the territorial community, thereby themselves, laying the foundations of sustainable development, taking into account the historical, zonal-geographical, biocenotic (evolutionary), resource-economic, ecological, socio-political and scientific-research principles of nature-oriented territorial organization of society.

The sequence of territorial planning at the local level is described (on the example of the Komarska rural territorial community of Donetsk region) with a principled solution to the development, planning and creation of an ecological network on the basis of linking to new administrative territorial units and their separate parts with a clear strategy for the protection of the natural environment and strengthening control over nature use. Filled with thematic content of the database structure of territories and objects of the local eco-network in the GIS environment.

A conceptual scheme for the organization of work on the formation of an ecological network of a territorial community has been formed, as a result of its implementation, a geoinformational (cartographic) database of nature conservation territories with information on the objects of the eco-network is entered into the National Geoportal.

The classification features of the thematic content of specialized maps of ecological networks of local territorial communities and the algorithm for the formation of a geoinformational database during the monitoring of ecological networks have been developed. Attention is focused on the unification of the content of cartographic maps when demarcating ecological grids of Ukraine. A project sample of the sold-out NRF of Ukraine and a photo of its approbation implementation on the territory of the National Nature Park «Dniester Canyon» (Ecological trail «Dzhurinsky Waterfall») are offered. *Key words:* ecological network, territorial community, biodiversity, geoportal, ecological maps, ecocorridors, nature management, urban planning documentation.

Постановка проблеми. Актуальність дослідження. Проведення територіальної реформи змінило ієрархією адміністративного устрою України. На заміну радянській системі управлінської вертикалі: «центральний уряд – області – райони – міста – селища міського типу (селища) – села» впроваджено європейську модель місцевого самоврядування у вигляді територіальних громад: міських, селищних та сільських. Але не змінилися підходи щодо територіальної організації та природоохоронного управління екологічними мережами на території новостворених громад, які залишилися прив'язаними до старої системи менеджменту при їх проєктуванні, створенні та моніторингу. Де-факто, відповідно до Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні», територіальні громади стали самостійними адміністративно-територіальними одиницями, але розроблення місцевих схем формування екомережі територіальним громадам не було делеговано і не було передбачено. Це потребує негайного вирішення.

Закони України «Про місцеве самоврядування в Україні», «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 р.», «Про охорону земель», «Про регулювання містобудівної діяльності», «Про екологічну мережу України», «Про стратегічну екологічну оцінку» були прийняті у відповідності до Угоди про Асоціацію між Україною та ЄС. Вони є обов'язковими до виконання, але новостворені місцеві органи державної влади місцевого самоврядування (старостати сіл та адміністрації громад), а також розробники землевпорядної, містобудівної та природоохоронної документації не отримали встановлені законодавством відповідних державних директивних вимог з процедури розроблення та затвердження комплексних планів геопросторового розвитку природоохоронних зон територіальної громади.

Існує актуальна проблема правового розширення місцевих повноважень громад щодо здійснення процесу реалізації природоохоронного потенціалу територій та максимізації кількості проєктів об'єктів екологічної мережі у містобудівній документації. Таким чином мінімізується патогенний вплив на довкілля шляхом розробки наукових та практичних еколого-орієнтованих рекомендацій підтримки дій громад у впровадженні послідовності кроків щодо проєктування місцевих схем функціонування екомережі природно-територіального комплексу.

Наукова робота виконана на прикладі розроблення місцевих схем формування екомережі Бахмутської, Костянтинівської міських, а також Комарської сільської територіальних громади Донецької області.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В основу наукового дослідження покладена НДР «Розроблення місцевої схеми формування екологічної мережі міської (селищної, сільської) територіальної громади» (№ держреєстрації 0124U004097) у 2024 р. Виконавець – Центр моніторингу природоохоронних територій Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління (директор, Петро Мілєхін).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В результаті опрацювання природоохоронних нормативно-методичних документів, споживачами реалізованих проєктів екомереж в Україні є центральні органи виконавчої влади, обласні та районні військово-цивільні адміністрації, а також юридичні та фізичні особи (наукові установи та громадські екологічні організації, в тому числі міжнародні) [7].

Методами досліджень проєктування екомережі означені теоретичні та практичні методи, що ґрунтуються на застосуванні системного підходу геоінформаційних систем, геодезичного знімання, картографічного моделювання, географічного системно-структурного аналізу та узагальнення [1-5, 6, 8].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Необхідно сформувати механізм створення територіальної системи поєднаних екологічно цінних природних площ, яка б забезпечила цілісність і неперервність біосфери із відповідними територіями та об'єктами природно-заповідного фонду та розв'язувала не лише проблеми збереження біоландшафтного різноманіття, але й мала соціально-економічну користь для місцевого населення з поліпшення умов його життя, тим самим закладаючи підвалини сталого розвитку території територіальної громади, враховуючи історичний, зонально-географічний, біогеоценотичний (еволюційний), ресурсно-господарський, екологічний, соціальний та наукового-дослідний принципи.

Новизна. Обов'язковою умовою розроблення екологічних мереж територіальних громад стало формулювання дієвого технічного механізму ефективного моніторингу та управління наявними геопросторовими даними, а саме – створення геопорталу структурних елементів природоохоронної мережі України та по кожному об'єкту відповідної екологічної сітки.

Під час реалізації роботи геопорталу візуалізується система природних територій, які придатні для природозаповідання. Вони стають каркасом екомережі для підтримування базового функціонування екосистем та ландшафтів. Це забезпечує збереження в нетрансформованому (природному) стані, як мінімум, дві третини території.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методичні прийоми розроблення проєктів екологічних мереж територіальних громад реалізовує концепцію об'єднання ізольованих природоохоронних територій для забезпечення біоландшафтного та історико-культурного різноманіття для потреб екологічного туризму та рекреації. Вони доповню-

ються такими важливими сладовими, як екологічній коридори, які пов'язують між собою екологічні ядра територій та локації об'єктів природно-заповідного фонду України. Це знаходить своє застосування в більшості громад України, а поєднання роботи екологів, картографів і землевпорядників дозволяє визначити концептуально-методичні основи побудови інтегрованої системи управління екологічною безпекою за допомогою геоінформаційних систем та космічних засобів моніторингу.

Викладення основного матеріалу. Екологічна мережа міської (селищної, сільської) територіальної громади – це комплексна багатофункціональна природно-територіальна система, основними функціями якої є збереження біорізноманіття, стабілізація екологічної рівноваги, підвищення продуктивності ландшафтів, покращення стану довкілля, забезпечення збалансованого сталого розвитку територіальної громади.

В умовах інтенсивної трансформації природного середовища, внаслідок бойових дій, місця існування живих організмів (оселища) змінюються. Особливого значення набуває пошук оптимальних способів збереження природної різноманітності та забезпечення умов сталого розвитку територіальних громад.

Ідея збереження біорізноманітності, як фундаментальної властивості живого, зумовлена природними механізмами еволюції та викликає необхідність формування нових підходів до реалізації практичних засад охорони природи, які забезпечують збереження певної сталості умов середовища, в яких відбуваються природні процеси еволюційного розвитку біоти.

Важливою складовою та запорукою реалізації реформи системи управління природоохоронними територіями є формування спроможних громад та їх можливість ефективного екологічного менеджменту, в тому числі шляхом розроблення природоохоронних документів державного планування, одним з яких є комплексний план просторового розвитку територіальної громади. Комплексним планом одночасно є містобудівна документація місцевого рівня із землеустрою, яка визначає планувальну організацію, стан компонентів довкілля та природно-заповідних територій, формування екомережі, особливості природокористування, екологічні ризики, а також цілі та заходи для забезпечення сталого використання та відтворення природних ресурсів тощо.

Відповідно до ст. 16 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», планування території на місцевому рівні здійснюється шляхом розроблення та затвердження комплексних планів просторового розвитку територій громад, згідно Постанови Кабінету Міністрів України № 926 від 01.09.2021 р., до складу якого входить тематичний екологічний розділ «Ландшафтне планування», як важлива структурна частина стратегії просторового розвитку територіальної громади. Для наповнення тематичного змісту розділу періодично повинні проводитися польові роботи із визначення стану компонентів довкілля та природоохоронних територій, особливості природокористування, забезпечення сталого раціонального використання та відтворення природних ресурсів, проєктування екомереж.

Враховуючи вимоги чинного законодавства та керуючись стратегією державної екологічної політики автори праці висловлюють думку, що на сьогодні однією із найпродуктивніших ідей для досягнення природоохоронних цілей при плануванні територій на базовому рівні є розроблення місцевої схеми формування екологічної мережі міської (селищної та сільської) територіальної громади, яка є основою для розроблення всіх видів проєктної документації під час здійсненні землеустрою, розробці містобудівної документації. Таким чином закладаються підвалини еколого-збалансованого розвитку території, як одного з його базових елементів.

На сьогодні розроблені: Методичні рекомендації «Розроблення місцевої схеми формування екологічної мережі міської (селищної, сільської) територіальної громади» за авторським правом Петра Мілєхіна (реєстраційний № 15496 від 11.10.2022 р.); «Методичні рекомендації щодо перетворення даних про території та об'єкти екологічної мережі територіальної громади в електронному вигляді» та «Методичні рекомендації щодо формування електронного документа про території та об'єкти екологічної мережі територіальної громади». Відповідні нормативно-методичні документи погоджені в Донецькій обласній військово-цивільній адміністрації та затверджені Костянтинівською міською та Комарською сільською радами територіальних громад області. сформованою є база даних територій та об'єктів екологічної мережі. Відповідні геопросторові дані та метадані по визначеним територіальним громадам розміщується на Національному геопорталі.

В Центрі моніторингу природоохоронних територій Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління останнім часом наповнюється тематичним змістом картографічний ресурс інтернету – геопортал, що показує досліджені території та об'єкти природно-заповідного фонду України (www.gis.dea.edu.ua). Відповідна розробка потребує процедури впровадження офіційного адміністрування інфраструктури тематичних баз геопросторових даних природоохоронних територій.

Затверджена місцева схема формування екологічної мережі територіальної громади становить єдиний екологічний муніципальний нормативно-правовий та технічний акт, який буде використаний для збереження та екологічного використання природних ресурсів шляхом наявності затверджених радою громади картографічних матеріалів з нане-

сеними природоохоронними територіями[1], встановленим режимом природоохоронного використання, набуття спеціального статусу територій та об'ємами формування інфраструктури просторової інформації екомережі та організації її державного моніторингу. Для запобігання патогенних наслідків для природоохоронних територій (екомереж) громад Схема передбачає ряд нормативно-технічних запобіжників у вигляді: комплексного плану просторового розвитку території громади (відповідно до п. 84 Постанови Кабінету Міністрів України № 926 від 01.09.2021 р.); генерального та детального планів населеного пункту (відповідно до п. 89 вище зазначеної Постанови Уряду) та джерел інформації при здійсненні стратегічного екологічного оцінювання (СЕО) у відповідності до чинного відповідного Закону України.

Надамо географічні дані відповідних експериментальних територій наукових досліджень. Костянтинівська міська територіальна громада Донецької області. Загальна площа території складає 46,7 тис. га. Площа та частка природно-заповідних територій громади на час розроблення Схеми складала 1178,43 га та 2,6% відповідно. Після розроблення місцевої Схеми, загальна площа із природоохоронним статусом включених до екомережі склала 12619,93 га або 26,6% території. Фактичне збільшення заповідних зон у 10 разів. В їх складі є такі території: ключові – 2471,93 га, сполучені – 6347,70 га, буферні зони – 3004,70 га, відновлювальні локації – 793,60 га. Щодо Комарської сільської територіальної громади: загальна площа: 42,3 тис. га, площа ПЗФ до розроблення Схеми складала 27 га. (0,63% від площі громади). При проєктуванні природоохоронна територія становила 6804,84 га із часткою у 16,10% від території громади. Розширення ПЗФ-зон у 252 рази.

Розглянемо концептуальні засади Методичних рекомендацій «Розроблення місцевої схеми формування екологічної мережі міської (селищної, сільської) територіальної громади». У ній сформована парадигма збереження біорізноманіття як фундаментальної властивості живого у форматі формування місцевої екологічної мережі територіальної громади. Зазначається, що екомережа, як фізична мережа природних і напівприродних територій, є головним напрямком реалізації Всеєвропейської стратегії збереження біотичної та ландшафтної різноманітності.

Екологічна мережа – це комплексна, багатофункціональна природна система, до основних функцій якої належать; збереження біорізноманіття, стабілізація екологічної рівноваги, підвищення продуктивності ландшафтів, поліпшення стану довкілля, перехід до збалансованого розвитку регіонів та формування належних природних умов комфортної й безпечної життєдіяльності громад.

Правовим підмурком розробленої методики є сформована та діюча система державного законодавства на базі основного нормативного документа – Конституції України та прийняті відповідно до неї галузеві правові документи. Українське національне природоохоронне законодавство включає Закони України, Кодекси, Постанови Верховної Ради України, Укази Президента України, Постанови Кабінету Міністрів України, Накази Міндовкілля, Урядові листи, накази, рішення, розпорядження природоохоронних галузевих установ та місцеві нормативні документи (акти) органів територіальних громад. Важливими для проєктування системи екомереж України є наступні юридичні документи – Закони України: «Про охорону навколишнього природного середовища», Водний, Лісовий, Земельний Кодекси України, «Про природно-заповідний фонд України», «Про стратегічну екологічну оцінку», «Національну інфраструктуру геопросторових даних», Директиви Ради ЄС тощо.

Підставами та основними вимогами до виконання проєкту місцевої схеми формування екологічної мережі, зокрема територіальної громади, визначаються природні умови та особливості міської (селищної, сільської) територіальної громади в контексті формування екомережі. Зохрема, це характеристика адміністративно-територіальної структури громади, демографічна ситуація, фізико- та еколого-географічна характеристика території: геологічна будова, грунти, кліматичні зміни тощо.

Під час формування екостабілізаційного каркасу території громади вивчаються структурні компоненти екомережі. Збираються відомості про землі природно-заповідного фонду, перспективні землі для заповідання, акваторії водного фонду (водоохоронні зони, прибережно-захисні смуги навколо гідрологічних об'єктів, характеристика річок та водойм громади), локації історико-культурного (туристичного) та оздоровчого (рекреаційного) призначення, сільськогосподарські землі, в тому числі малопродуктивні та деградовані рілля, лісовий фонд, полезахисні лісові смуги та інші захисні насадження, геоботанічне районування та флора, природні рослинні угруповання, які занесені до Червоної та Зеленої книг України, які зростають на території громади, зоогеографічні особливості та фауна. На рис. 1 представлена концептуальна схема формування екомережі територіальної громади.

Картографічний матеріал – це крупномасштабні плани наступного тематичного змісту: археологічні

[1] Відповідно до вимог чинного природоохоронного законодавства України, загальнодержавний показник відповідних територій повинен сягати значення до 41 % від загальної площі. Але в межах окремих територіальних громад, що знаходяться в різних фізико-географічних зонах, кліматичних поясах, особливостей топографічної поверхні, відповідний показник може значно коливатися. Наприклад, не порівняно різними є площі природоохоронних територій Східницької у Прикарпатті та Бахмутської на Донщині територіальних громад України, враховуючи різні гідрографічні, біозоогеографічні та еколого-природно-заповідні особливості ландшафтної цінності відповідних земель.

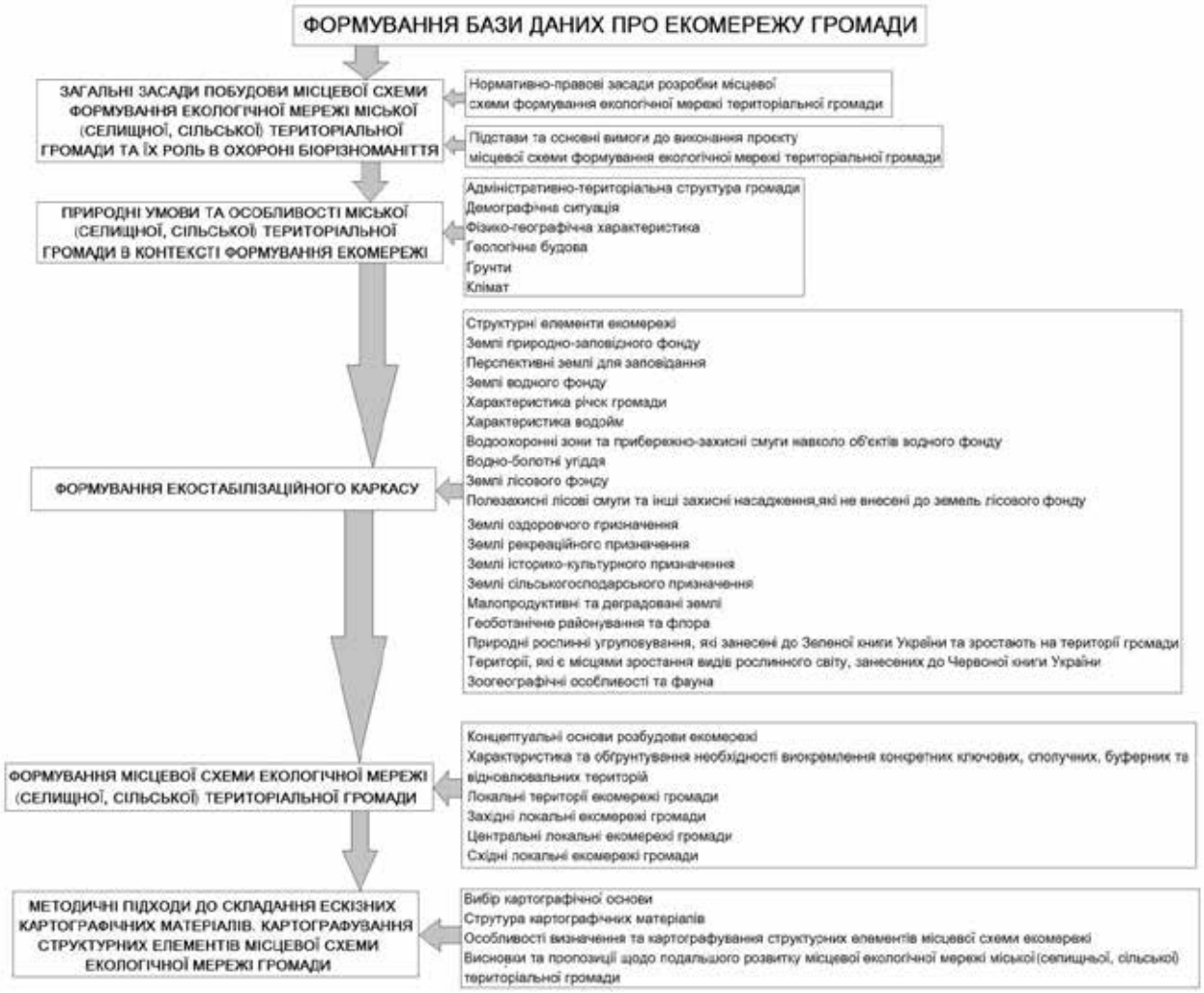


Рис. 1. Концептуальна модель формування бази даних про екомережу громади

об'єкти культурної спадщини територіальної громади, структурні елементи місцевої схеми екомережі, загальна місцева схема проєктної екомережі, розміщення рослинного та тваринного світу, що занесені до Червоної книги України міської (селищної, сільської) територіальної громади, схема об'єктів культурної спадщини та картограма агровиробничих груп ґрунтів за землекористувачами.

Розглянемо алгоритм особливості впровадження методичних рекомендацій щодо розроблення місцевої схеми формування екологічної мережі на прикладі зазначених експериментальних громад Донецької області.

Формування місцевої екологічної мережі Комарської сільської територіальної громади забезпечує збереження і відтворення біологічного та ландшафтного різноманіття та сприяє дотриманню екологічної рівноваги та створення більш екологічно безпечних та сприятливих умов для життя і розвитку людини, запобігає безповоротній втраті частини геноценофонду, екосистем та ландшафтів громади, як унікальної частини Донецької області. Забезпечується збалансоване та не виснажувальне природокористування, яке сприяє розвитку ресурсної та рекреаційної бази для екологічного туризму, розвитку відпочинкових технологій та оздоровлення населення. Також це дає поштовх до процедури ренатуралізації земельних угідь, що вилучаються із сільськогосподарського використання та посилює узгодженість діяльності органів виконавчої влади, місцевого самоврядування, громадських екологічних організацій у вирішенні частини екологічних проблем землеустрою.

Реалізація концептуальної моделі (рис. 1) місцевої схеми екомережі громади надає можливості створення нових об'єктів природно-заповідного фонду, збереження природних ландшафтів на ділянках, що мають історико-культурну та туристсько-рекреаційну цінність, сприяє проведенню заходів щодо створення та впорядкування водоохоронних зон і прибережних захисних смуг водних об'єктів, створення полезахисних лісових смуг та залуження

земель, консервація деградованих та забруднених земель із наступним їх частковим залісенням. Слід зазначити, що включення територій та об'єктів до переліку екомережі не призводить до зміни форми власності і категорії земель на відповідні земельні ділянки та інші природні ресурси, їх власника чи користувача. Навпаки, це створює додаткову туристсько-рекреаційну привабливість (перцепційність) території та потенційні інвестиції щодо розвитку інфраструктури економіки сфери обслуговування.

Основне завдання при реалізації апробації схеми полягає у розробці локальних, до Комарської громади, екомереж, які, відповідно до вимог законодавства, представлені визначеними структурними елементами з подальшим нанесенням їх меж на картографічні матеріали та узгодження цих меж в натурі. При цьому, власники та користувачі територій та об'єктів, включених до переліків територій та локацій екомережі, беруть на себе зобов'язання щодо збереження природних ресурсів, їх еколого-збалансоване та раціональне використання. Таким чином, розбудова місцевої екологічної мережі в системі цілісних функціональних комплексів є інтегральною задачею щодо організації збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Це поєднує методики системного захисту довкілля, природоохоронну діяльність з екологічним моніторингом різних секторів виробництва та стратегію збалансованого розвитку екомережі Комарської сільської територіальної громади.

Підставою для виконання природоохоронного заходу з розробки проєкту місцевої схеми формування екомережі даної громади є Закон України «Про загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 рр.» та місцевих програм захисту навколишнього природного середовища.

Імплементація розробленого проєкту екомережі включає наступні етапи робіт з рекогносцирування місцевості, а саме: на підготовчому етапі проводилися натурні обстеження на місцевості за допомогою сучасних геодезичних технологій зі збору, вивчення, обробки, систематизації та аналізу отриманих геопросторових даних. На рис. 2 представлена технологічна схема формування інфраструктури геопросторових даних моніторингу природоохоронних територій місцевих громад.

Під час другого етапу досліджень проводилися науково-технічні роботи з обґрунтуванням щодо включення територій та об'єктів природно-запо-

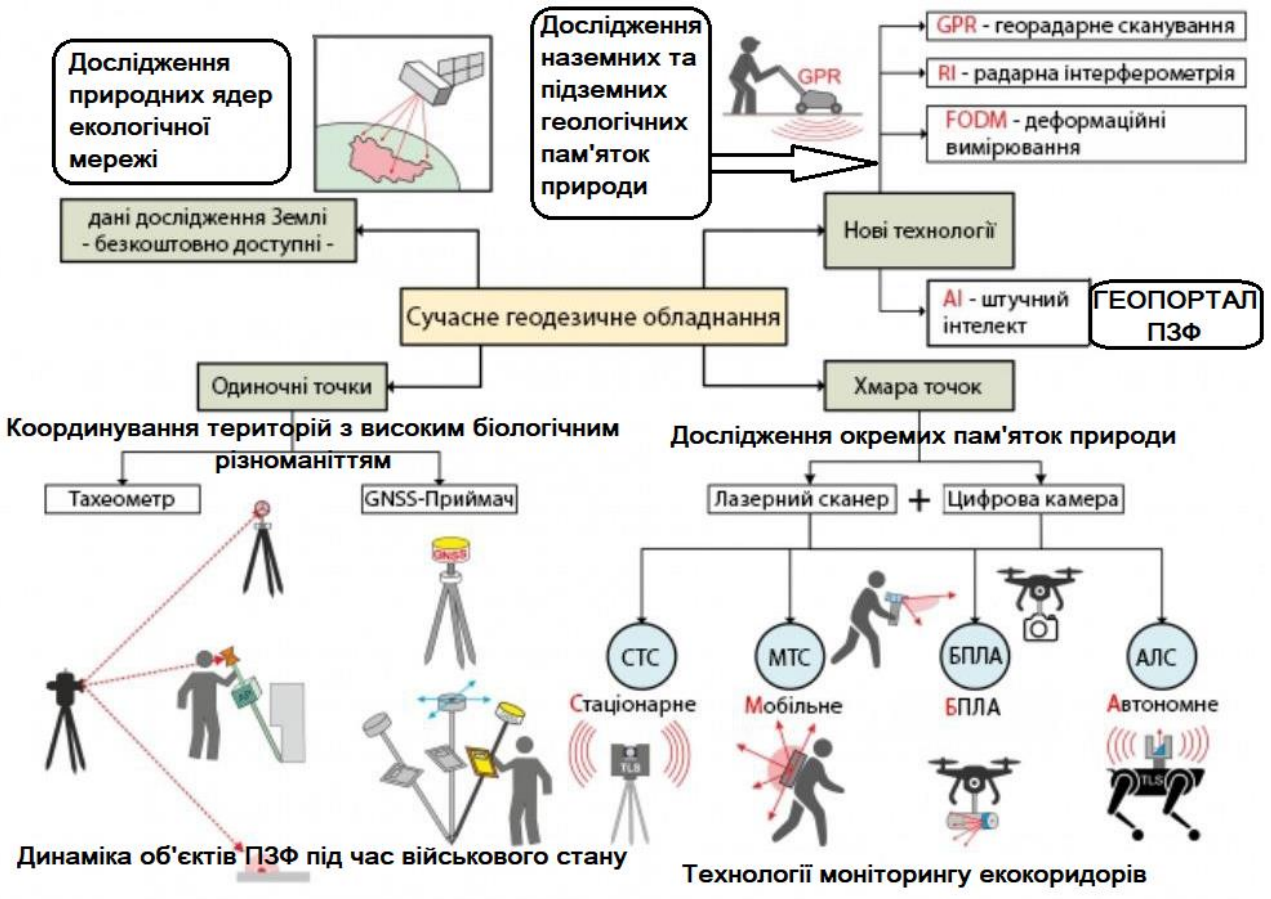


Рис. 2. Сучасні технології формування інфраструктури геопросторових даних

відного фонду України до місцевої екомережі та визначення територій, перспективних для включення до неї.

На етапі камеральних робіт формулюється текст пояснювальної записки з нанесенням на планово-картографічні матеріали структурних елементів екомережі, внесення інформації про кожний елемент екомережі в електрону базу даних геопорталу, включаючи їх описи та основні характеристики. На заключному етапі, в результаті наповнення геоінформаційної системи просторовими даними щодо елементів екологічної мережі громади, погоджується проєктна документація із замовником та відбувається процедура передачі йому розробленої проєктної картографічної звітності.

Відповідальним етапом роботи є формування екостабілізаційного каркасу екомережі. Відповідно до державної статистичної звітності з кількісного обліку земель Головного управління Держгеокадастру у Донецькій області, загальна площа земель громади складає 42336 га. За основними видами угідь землі розподіляються наступним чином: ПЗФ України – 27 га, водного фонду – 594,9 га. Таким чином, територія громади має значні водні ресурси, про що свідчить розроблена картосхема (рис. 3). Важливим складовим елементом визначення структурних компонентів екосистем постає значення крутизни схилів, що прилеглі до водних об'єктів з перевищенням більше 3^0, внаслідок чого, при проєктуванні каркасу, мінімальна ширина прибережних смуг буде подвоюється. Прибережні захисні смуги є особливими природоохоронними територіями, на яких встановлюються режими обмеженої господарської діяльності.

Головними елементами ідеальної структури екомережі повинна виступати біоцентрично-мережева конфігурація ландшафту. Реальні біоцентри, якими є ділянки з природною рослинністю незалежно від їх природної цінності, сполучаються у єдину мережу системою біокоридорів (річково-балково-яружною мережею з фрагментами лісових, лучних, степових, болотних фітоценозів). Біоцентрично-мережева конфігурація є природною ланкою майбутнього візарунку екомережі на карті. Як недолік, вона може бути не оптимальною, малоефективною, оскільки формується у значній мірі нераціональним природокористуванням. Тоді завдання проєктування екомережі вбачається в оптимізації структури задля моніторингу біотичних міграцій у ландшафті. Біоцентри та ключові території мають різні критерії виокремлення та ефективного функціонування. Однак механізм зв'язків між ними дає підставу використання біоцентрично-мережевої конфігурації ландшафту для оцінки ступеня ефективності методик моніторингу у просторових структурних елементах екомережі.

До локальних та регіональних природних ядер можуть належати ландшафтні, ботанічні, лісові, орнітологічні, гідрологічні заказники чи заповідні зони регіональних ландшафтних парків, що відповідають критеріям виокремлення природних ядер. Базовими критеріями відбору природних ядер вважаємо: ступінь збереженості природи на певній території та її різноманіття, рівень багатства та захищеності різноманіття та її рідкісність, наявність ендемічних, реліктових та рідкісних видів флори та фауни, репрезентативність, типовість, повнота та ступінь функціонального значення різноманіття, оптимальність природних меж, відповідність корінній (інваріантній) ландшафтній структурі, а також можливість інтеграції в регіональну та національну екомережу тощо.

Структурні елементи місцевої схеми екомережі Комарської сільської територіальної громади сформована на основі водозбірних площ басейну р. Мокрі Яли, р. Вовча та притоки р. Воронна (рис. 3). В північній частині громади сформовані ключові території на основі існуючих функціональних зон та об'єктів природно-заповідного фонду, а також перспективних територій для їх створення, а саме, заказника «Щуча заводь» та інші перспективні природно-заповідні локації регіонального ландшафтного парку.

Розглянемо методичні підходи щодо складання ескізних картографічних матеріалів та особливості екологічного картографування структурних елементів місцевої схеми екомережі територіальної громади. Схема екомержі (рис. 3, 4) розроблені з використанням ГІС-технологій. Пропонується використання у якості картографічної основи топографічну карту масштабу 1 : 200 000. У разі потреби, на окремі ділянки, рекомендовано укладати картосхеми у більш крупному масштабному ряді: 1 : 5000, 1 25 000, 1 : 10 000. При цьому, у правій верхній частині картосхеми рекомендується надавати ситуаційний план з використанням картосхеми контуру території України у масштабі 1 : 750 000 або 1 : 1 000 000.

Аналіз існуючих аналогічних проєктів довели, що базовий (основний) масштаб для топографічної карти екомереж територіальної громади – 1 : 100 000. Це зумовлено високою роздільною здатністю картографічної основи та дає змогу показувати всі складові ескізної екомережі, зокрема, її ядра, природні зони, екологічні (природні) коридори. При цьому, картографування більшості складових елементів екомережі має більшу точність у порівнянні із масштабом 1 : 200 000.

Картосхеми екомереж громади, що відображена на рис. 4, укладена на топографічній основі. Для однозначної ідентифікації, інтерпретації та дешифрування складових довкілля, культурних ландшафтів та урбанізованих територій за планово-картографічну основу беруть ортофотплан. Структура картографічних матеріалів у електронному та аналого-

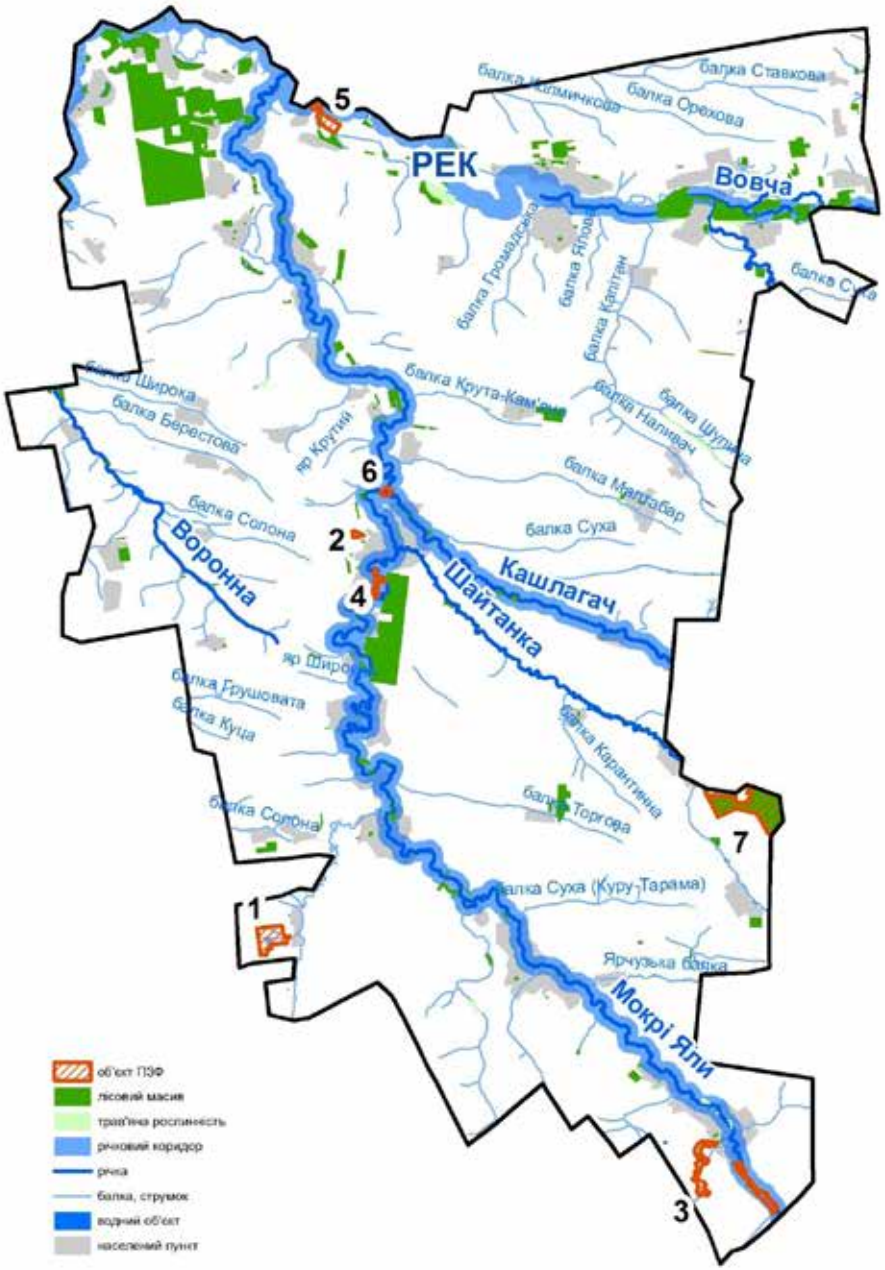


Рис. 3. Карта-схема земель територіальної громади: щільна гідрографічна сітка та локалізація цифрами від 1 до 7 – об'єктів екомережі

вому форматах представлені на рис. 5 та включають головні складові структурні компоненти екомережі територіальної громади.

Особливості визначення та картографування структурних елементів місцевої схеми екологічної мережі територіальної громади полягають у здійсненні візуалізації на моделях земель приватної власності (для карт ключових територій) та слабо або не інтенсивно використовуваних земель (для карт ключових та сполучених територій), деградованих та малопродуктивних земель (для карт відновлювальних територій). Структурні елементи місцевого значення визначалися на основі сучасних геодезичних технологій формування інфраструктури геопросторових даних (рис. 2) та підходів використання супутникових знімків високої роздільної здатності, кадастрових карт Державної земельної агенції, карт об'єктів і територій природно-заповідного фонду.

Карти екологічних мереж представлені на аншлагах об'єктів природно-заповідного фонду України, але технологія та проєктування ескізів аншлагів потребує уніфікації та єдиної методики складання тематичного змісту. На рис. 6, А представлений проєкт єдиного зразка для тематичного змісту аншлагу екомережі України. Відповідна робота проведена за результатами літньої експедиційної кампанії 2024 р. із фізико-географічного, еколого-природоохоронного, фото- та картографічного дослідження

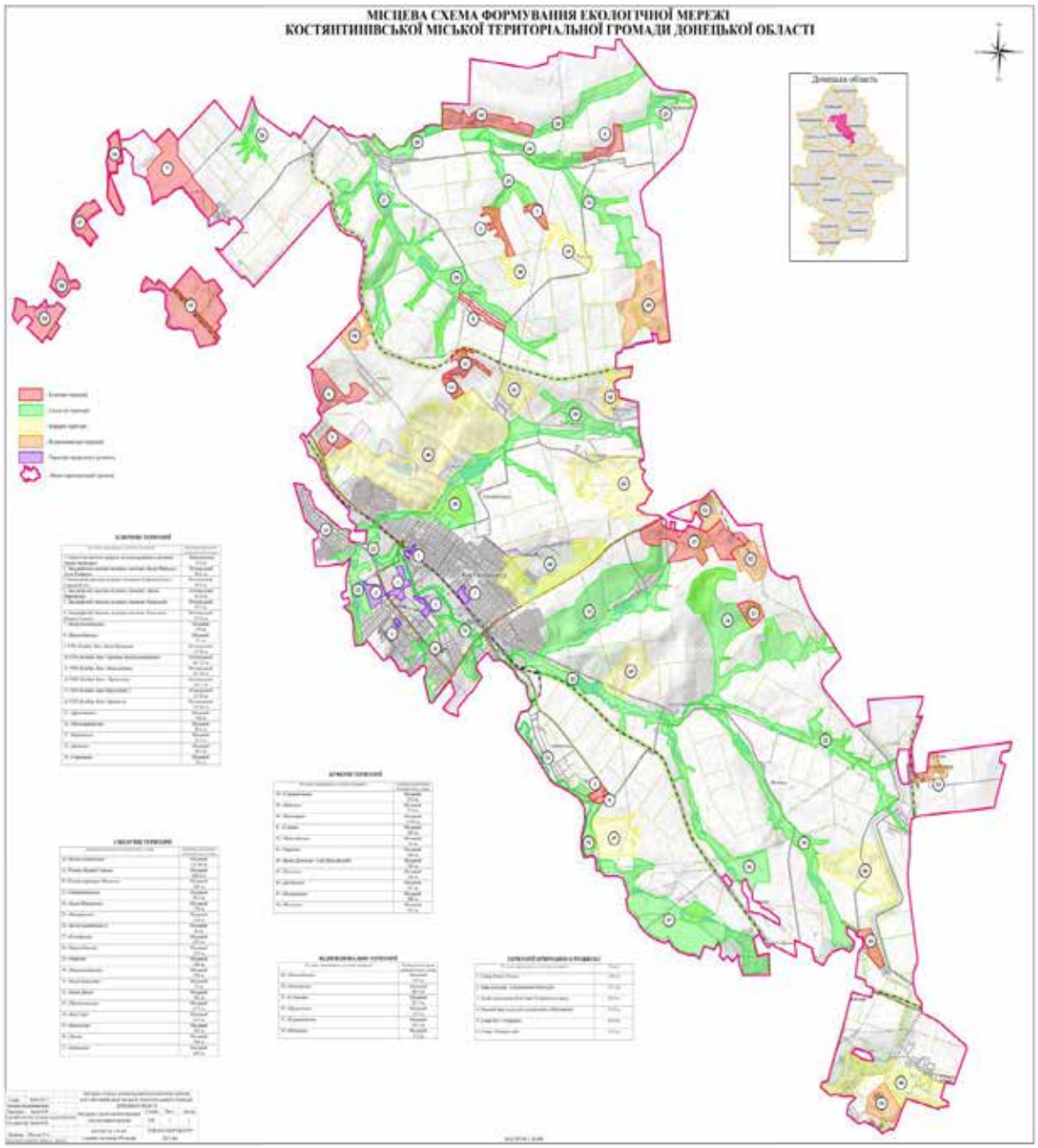


Рис. 4. Місцева схема формування екомережі Костянтинівської міської територіальної громади. Позначені: екокоридоври (зелений колір), природні ядра (жовтий колір), території з високим біологічним різноманіттям (рожевий колір)

основних природно-заповідних територій та об'єктів екомережі України (рис. 6, Б).

Головні висновки. Запропонована методика формування місцевої схеми екологічної мережі на прикладі Комарської територіальної громади, як структурна частина регіональної екологічної мережі Донецької області. Відповідну схему слід розглядати як уніфіковану для всіх територіальних громад нашої держави. Відповідно до цього, структурні елементи місцевих схем екомереж, залежно від їх значимості, можуть бути структурними елементами загальної екологічної мережі України місцевого (районного), регіонального або національного значення. Остаточне визначення рівня значення структурних елементів загальної екологічної мережі буде можливим тільки після повної інвентаризації природних територій всіх місцевих громад.

У якості структурних елементів екомережі слід обирати компактно розташовані й значні за площею землі природного походження (не деградовані) території. Останні, виходячи з їхньої просторової конфігурації та взаємного розташування поділяються

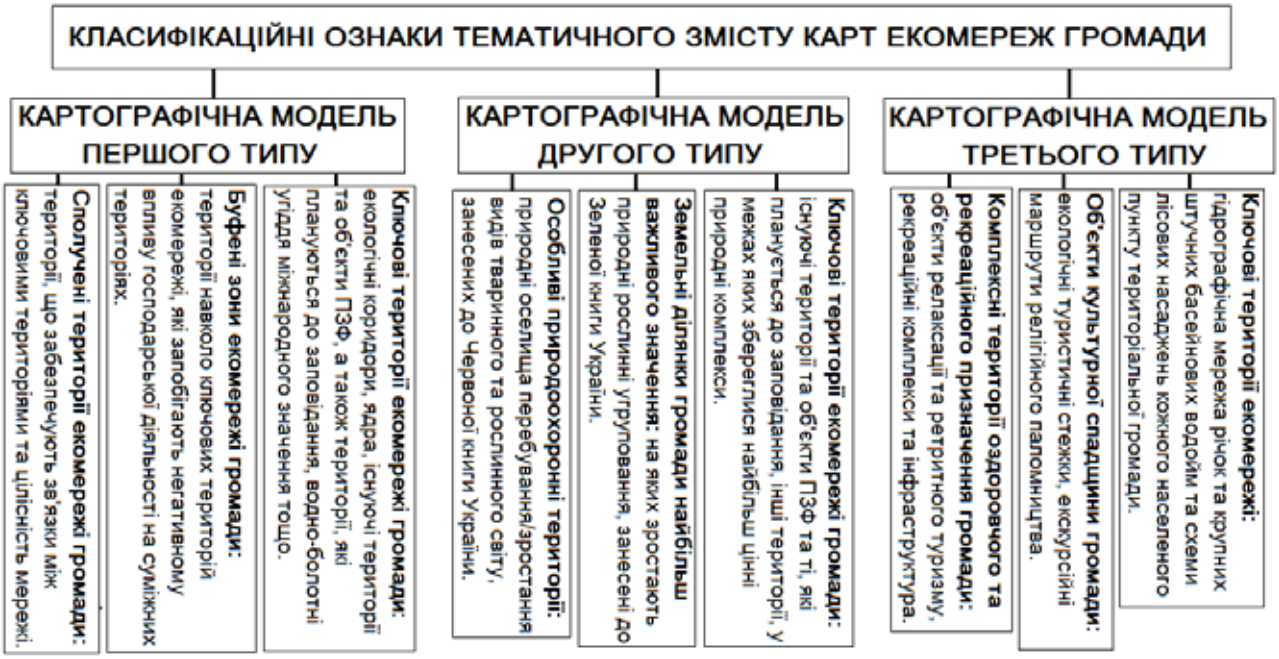
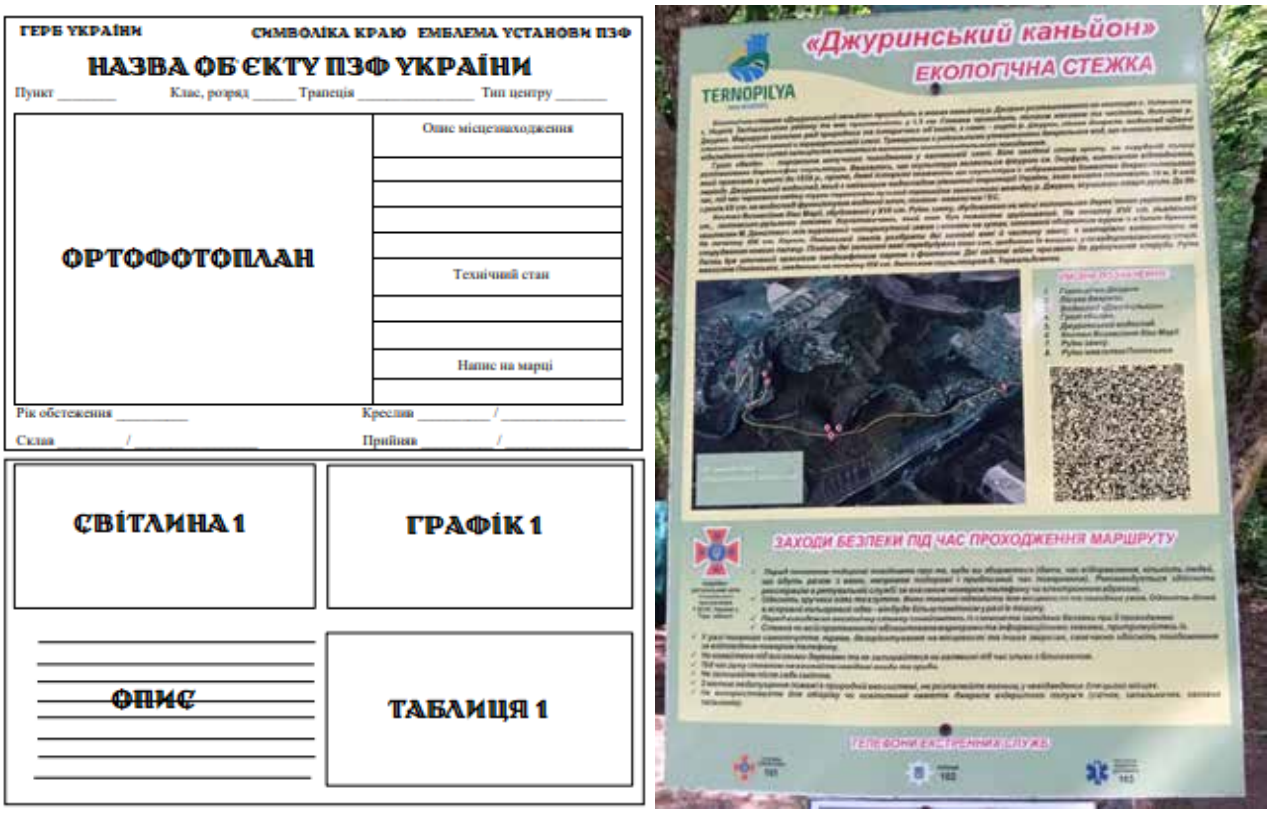


Рис. 5. Особливості тематичного змісту карт екомереж громади



А *Б*

Рис. 6. Проєктний зразок аншлагу ПЗФ України (А) та його апробаційне впровадження на території НПП «Дністровський каньйон» (Б)

на наступні категорії: природні ядра – території та акваторії об'ємної конфігурації, що мають явно виражену площинну структуру, екологічні коридори – території та акваторії лінійної конфігурації, що притаманно річковим та озерним системам, що зв'язують природні ядра між собою та інтерактивні елементи – ділянки переважно лінійної конфігурації, але які не з'єднують природні ядра або не мають їх у своєму складі (яри, геологічні розломи, техногенно-антропогенні вали тощо).

З метою оцінки значимості структурних елементів екомереж та пріоритетності нанесення їх на карти загальної схеми регіональної екологічної мережі, запропонований метод оцінки її складових за такими ознаками-характеристиками: площа (довжина та ширина для екокоридорів й інтерактивних елементів), екосистемна та біологічна різноманітність. Виділені в ході дослідження структурні елементи сукупної екологічної мережі Комарської сільської територіальної громади Донецької області: природні ядра, екологічні коридори, а також інші земельні угіддя рекреаційного призначення.

Перспективи використання результатів дослідження. Виділені інтерактивні елементи – це самостійні структурні сегменти екомережі, що відображають високу структурну та біологічну різноманітність, мають потенційний статус об'єктів і територій місцевої екологічної мережі Волноваського району Донецької області, як перспективні ділянки її подальшого розвитку.

Формування екологічної мережі місцевого рівня передбачає подальший розвиток природозаповідання та сприятиме збалансуванню структури землекористування, оптимізацію ландшафтно-екологічної структури території, що, в свою чергу, створює сприятливу екологічну ситуацію та високий рівень комфортності природних просторових умов проживання територіальної громади.

Внесення територій та об'єктів до переліків екомережі стане підставою надання природоохоронного статусу особливо цінним територіям, введення обмежень (обтяжень) для відновлюваних, буферних та сполучних територій для забезпечення формування екомережі як єдиної просторової системи.

Література

1. Донбас заповідний. Науково-інформаційний довідник-атлас. Донецьк. 2008. 168 с.
2. Кондратюк С.М., Бурда Р.І. Заповідна флора Донбасу. Інтродукція та акліматизація росли в Україні. 2009. Вип. 15. С. 36-42.
3. Мілєхін П. Розроблення місцевої схеми формування екологічної мережі (селищної, сільської) територіальної громади. Науковий звіт. Київ. ГО «Луганське регіональне відділення Спілки землевпорядників України». 2024. 280 с.
4. Національний атлас України. Київ. 2007. С. 85.
5. Остапко В.М. Регіональна екологічна мережа Донецької області: концепція, програма та схема. Донецьк. 2008. 96 с.
6. Перегрим М.М. Відомості щодо географічного поширення раритетних видів рослин на території донецького кряжу. Ботанічний журнал. Чорноморськ. 2006. Т. 2, № 4. С. 123-128.
7. Смарагдева мережа в Україні. Київ. 2011. 192 с.
8. Шевченко Р.Ю., Мовчан М.М. Моніторинг екологічної мережі міста Києва. Екологічні науки. 2023. № 5 (50). С. 98-107.

УДК 502.51:282:477.81
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.38

АНТРОПОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА БАСЕЙНИ ОСНОВНИХ РІЧОК РІВНЕНЩИНИ ЯК ЗАГРОЗА СТАЛОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ

Лисиця А.В., Лико Д.В., Портухай О.І., Лико С.М., Логвиненко І.П.
Рівненський державний гуманітарний університет
вул. Ст. Бандери, 12, 33028, м. Рівне
lysycya@ukr.net, dariia.lyko.2019@gmail.com, portuhayo@gmail.com,
lykosergij@gmail.com, logvunenko.irina@gmail.com

У статті проаналізовано антропогенне навантаження на басейни основних річок Рівненщини як загрози сталого розвитку регіону. Наведено динаміку забору води у період з 2019 по 2023 рік з важливих водних артерій області: річок Горинь, Стир та Случ. Розглянуто за цей період динаміку водокористування природними водами басейну р. Стир, що включає в себе забір, використання та відведення. Найбільше забруднених зворотних вод у період з 2019 по 2023 рік у річку було скинуто у 2020 р., що становило 3,96 млн. м^3, найменше у 2022 р. – 1,38 млн.м^3. Наведено основних водокористувачів-забруднювачів природних вод басейну р. Стир. Проаналізовано збільшення об'ємів скиду зворотних вод КП «Добробут» у період з 2021 по 2023 рік від 36,0 до 36,9 тис. м^3, що призвело до зростання надходження і забруднюючих речовин: органічних речовин (по БСК5) від 0,1 до 0,2 тонн, сульфатів 0,9 до 1,9 т (у 2 рази), хлоридів від 0,2 до 0,9 т (у 2022 р – 1,5 т), фосфатів 0,0266 до 0,0493 т (у 2022 р. – 0,0576 т), синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР) від 0,0007 до 0,0037 т. Виявлено перевищений вміст сполук амонію та нітритів у пункті спостережень смт Зарічне (48 км до кордону з Республікою Білорусь) в період з 2021 по 2023 рік, що свідчить про антропогенне навантаження та нераціональне використання водних ресурсів. Подальше ведення такої економічної діяльності та роботи комунальних підприємств сприятиме погіршення якості води і формування загрози для сталого розвитку громади та регіону в цілому (дефіцит чистої води), а також транскордонному забрудненню басейну р. Прип'ять. Акцентовано увагу на те, що у Стратегії розвитку Зарічненської ТГ не достатньо приділено уваги екологічному стану води р. Стир, тому для реалізації Стратегічної цілі 2. «Громада комфортна для проживання» варто доповнити технічні завдання та проекти розвитку громади заходами, що передбачають контроль за скидами забруднених зворотних вод КП «Добробут». Також необхідним є донесення до населення результатів моніторингу вмісту у воді забруднюючих речовин, що проводиться Регіональним офісом водних ресурсів у Рівненській області. *Ключові слова:* басейн річки, сталий розвиток, водокористування, забруднюючі речовини, сполуки Нітрогену (амоній та нітрити), стратегія розвитку.

Anthropogenic load on the basins of the main rivers of the Rivne region is a threat to the sustainable development of the region. Lysytsya A., Lyko D., Portukhai O., Lyko S., Lohvynenko I.

This article shows that the anthropogenic load on the basins of the main rivers of the Rivne region is a threat to the sustainable development of the region. The authors highlight the dynamics of water withdrawal in the period from 2019 to 2023 from important water arteries of the region: the Horyn, Styr and Sluch rivers. We examined the dynamics of water use by natural waters of the Styr River basin for this period. It includes water withdrawal, use and discharge. The largest amount of polluted return waters in the period from 2019 to 2023 was discharged into the river in 2020, which is 3.96 million m^3, the smallest in 2022 – 1.38 million m^3. The main water users were identified that pollute the natural waters of the Styr River basin the most. We analyzed the increase in the volume of return water discharge of the «Dobrobut» company from 2021 to 2023 from 36.0 to 36.9 thousand m^3. This led to an increase in the inflow of pollutants: organic substances (according to BSK5) from 0.1 to 0.2 tons, sulfates from 0.9 to 1.9 tons (in 2 times), chlorides from 0.2 to 0.9 tons (in 2022 – 1.5 tons), phosphates from 0.0266 to 0.0493 tons (in 2022 – 0.0576 tons), synthetic surfactants from 0.0007 to 0.0037 tons. An excess of ammonium and nitrite compounds was detected at the observation point of the village of Zarichne (48 km to the border with the Republic of Belarus) in the period from 2021 to 2023. This indicates anthropogenic load and irrational use of water resources. Further conduct of such economic activity and work of municipal enterprises will lead to deterioration of water quality and the formation of a threat to the sustainable development of the community and the region as a whole (deficit of clean water), as well as transboundary pollution of the Pripyat River basin. The authors also emphasized that the Development Strategy of the Zarichne Territorial Community does not pay enough attention to the ecological state of the Styr River water. Therefore, technical tasks and community development projects need to be supplemented with measures to implement Strategic Goal 2. "The community is comfortable to live in". This involves control over the discharge of polluted return waters of the «Dobrobut» company. The population also needs to be informed about the results of monitoring the content of pollutants in water. These studies are conducted regularly by the Regional Office of Water Resources in Rivne region. *Key words:* river basin, sustainable development, water use, pollutants, Nitrogen compounds (ammonium and nitrites), development strategy.

Постановка проблеми. Надмірне антропогенне навантаження на природне середовище, внесення у геосфери великої кількості забруднюючих речовин, нераціональне використання природних ресурсів з подальшим виснаженням їх запасів спричинило зміну моделі розвитку всіх країн світу у напрямку досягнення їхнього сталого розвитку. Сталий розвиток орієнтований насамперед на людину та поліпшення якості її життя в екологічно чистому природному середовищі [1].

У вересні 2015 року членами Організації Об'єднаних Націй (193 члени) було ухвалено план досягнення спільного кращого майбутнього через реалізацію 17 визначених Цілей сталого розвитку (ЦСР), що увійшли до «Порядку денного 2030». У переліку цілей виділено ціль 6 «Чиста вода та належні санітарні умови», що орієнтована на забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх [2]. Це є пріоритетна ціль і для України, однак її виконання ускладнене через активні бойові дії.

За ступенем забрудненості водні ресурси України є помірно забрудненими, про те у багатьох досліджених водних об'єктів фіксуються випадки високого вмісту забруднюючих речовин, що перевищує гранично допустимі рівні. До однієї з основних причин антропогенного навантаження на водні об'єкти відносять неналежну практику державного управління водними ресурсами. Це проявляється у недостатньому очищені стічних вод, відсутності державного або громадського контролю за запровадженням попередньої (локальної) очистки стічних вод суб'єктами господарювання, що скидають забруднюючі речовини у міські системи централізованого водовідведення; високій водоємності національного промислового та сільськогосподарського виробництва тощо [3].

Актуальність дослідження. Рівненщина, як і більшість областей західного і північного регіону України, багата на поверхневі води. Територією області протікає 149 річок довжиною понад 10 км, знаходиться 151 озеро, 12 водосховищ, 1546 ставків, води яких активно використовуються у промисловості. У 2023 р. водокористувачами області забрано з природних водних об'єктів 116,136 млн. м^3 прісної води та повернуто назад 55,504 млн. м^3, з яких 7,576 млн. м^3 становлять забруднені зворотні води [4]. Постійний забір, використання та водовідведення неочищеної води у річковий басейн р. Прип'яті свідчить про нераціональне водокористування та забруднення гідроекосистем, що в подальшому переходить у загрозу сталому розвитку регіону. В результаті цього дослідження антропогенного навантаження на басейни основних річок Рівненщини є актуальним, оскільки виникає потреба у регулярному моніторингу стану поверхневих вод та врахування його результатів у стратегіях розвитку територіальних громад.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У статті проаналізовано антропогенне навантаження на басейни основних річок Рівненщини, що корелює з науковими та практичними завданнями:

– Водної стратегії України, яка визначає основні засади державної політики у галузі використання і охорони вод, відтворення водних ресурсів та спрямована на досягнення взаємної узгодженості, пов'язаної з їх використанням, підвищення рівня водної безпеки та скорочення до прийнятного рівня ризиків з управління водними ресурсами на засадах сталого інтегрованого управління [3];

– 6-тої Цілі Сталого Розвитку «Чиста вода та санітарія» [5];

– обласної програми охорони навколишнього природного середовища на 2022–2026 роки, що затверджена Рівненською обласною адміністрацією (№ 61 від 04 лютого 2022 р.) [6];

– наукового напряму досліджень кафедри природничих наук Рівненського державного гуманітарного університету «Механізми функціонування гідроекосистем різних типів в умовах зростання антропогенного навантаження, глобальних кліматичних змін та впливу військових дій» (№ 0123U101485; 2023–2028 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження екологічного стану поверхневих вод Рівненщини, вивчення впливу природних та антропогенних чинників на їхню якість, міграцію важких металів, оцінювання стану водозбірної території, вивчення екотоксикологічних характеристик гідроекосистем та загальних закономірностей гомеостатичного відгуку біоти на зміни природних та антропогенних чинників, динаміку гідрохімічних та бактеріологічних показників поверхневих річкових вод, аналіз скидів зворотних вод та методів їх очистки відображено у працях Бєдункової О.О., Буднік З.М., Вознюк Н.М., Залеського, І.І., Майбороди Х.А., Статника І.І. та інші [7–10]. Екологічний стан малих річок Рівненщини та комплексний аналіз формування біотичної продуктивності середніх річок України (на прикладі р. Стир) висвітлено у працях Мельник В.Й., Толочик І.Л. [11]. Сезонну динаміку вмісту сполук Нітрогену у водних екосистемах та проблеми порушення рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати, видовий склад фітопланктону наведено у дослідженнях Грюк І.Б., Грубінко В.В., Суходольської І.Л. [13, 14].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Недостатнім є дослідження лише екологічного стану річок Рівненщини, динаміки гідрохімічних та бактеріологічних показників, якщо не буде прийнято відповідних управлінських рішень на локальному та регіональному рівнях (об'єднаних територіальних громадах, районних та обласних радах тощо). Варто акцентувати увагу населення на виникненні загрози, щодо розвитку дефіциту чистої води, як наслідку нераціонального водокористування та скиду забруднюючих речовин.

Новизна. Розглянуто антропогенне навантаження на басейни основних річок Рівненщини як загрози сталого розвитку. Проаналізовано відображення у Стратегії розвитку Зарічненської селищної територіальної громади (далі Зарічненської ТГ) до 2027 року цілей та завдань, спрямованих на збереження водних ресурсів. Набуло подальшого роз-

витку дослідження об'ємів забору, використання та водовідведення природних поверхневих вод, динаміки скидів забруднюючих речовин.

Методологічне або загальнонаукове значення. Основне значення дослідження полягає у донесенні наслідків нераціонального використання вод басейну основних річок Рівненщини до населення на локальному рівні. Включенні до цілей та завдань Стратегій розвитку територіальних громад управлінських рішень, що сприятимуть раціональному використанню водних ресурсів, контролю на місцевому рівні за скидами зворотних вод місцевими водокористувачами-забруднювачами для переходу до сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу. Серед цілей сталого розвитку суспільства важливе місце відводиться збереженню водних ресурсів, зокрема пропонується до 2030 року підвищити якість води за допомогою зменшення забруднення, скорочення вдвічі частки неочищених стічних вод і значного збільшення масштабів рециркуляції та безпечного повторного використання стічних вод у всьому світі [2]. Рівненщина забезпечена поверхневими водами, зокрема на її території протікає одна велика ріка (Прип'ять), шість середніх річок (Стир, Іква, Горинь, Случ, Ствига, Льва) та 142 малих річки, охорона та раціональне використання яких є важливими для забезпечення сталого розвитку регіону.

Для дослідження антропогенного навантаження на поверхневі води в контексті сталого розвитку було проаналізовано дані забору води річок Стир, Горинь та Случ, що належать до басейну р. Прип'ять. Вони є важливими водними артеріями Рівненщини та мають найбільшу протяжність територією області: р. Горинь – 386 км (загальна довжина водотоку 659 км), р. Стир – 208 км (загальна довжина 494 км), р. Случ – 158 км (загальна довжина 451 км). Незважаючи на те, що найбільшу протяжність територією Рівненщини має р. Горинь, забір води більший з басейну р. Стир, рис. 1.

З 2019 по 2023 рік спостерігається незначне зменшення об'єму забору води з басейнів основних річок: р. Стир з 73,26 до 66,14 млн. м^3, р. Горинь – з 49,43 до 42,77 млн. м^3, р. Случ – з 6,80 до 5,56 млн. м^3.

У зв'язку з тим, що на території Рівненської області найбільше води для економічної діяльності використовується з басейну р. Стир, основним завданням дослідження було проаналізувати водокористування, екологічний стан її води та наявність цілей і завдань, спрямованих на її охорону у Стратегії сталого розвитку Зарічненської ТГ, через яку проходить водотік річки і знаходяться водокористувачі-забруднювачі. Загальна динаміка водокористування природними водами р. Стир у період з 2019 по 2023 рік наведена на рис. 2.

Наведені на рис 2. дані свідчать про те, що за досліджуваний період відбувалося постійне надходження забруднених зворотних вод у р. Стир. Найбільший об'єм забруднених вод було скинуто у 2020 р., що становило 3,96 млн. м^3, найменше у 2022 р. – 1,38 млн.м^3.

В річку скидаються промислово-зливові води ВП «Рівненська АЕС», ПАТ «Рафалівський кар'єр», стічні води з комунальних очисних споруд м. Вараш та смт Зарічне, КП «Добробут» (Зарічненська ТГ) [4].

КП «Добробут», що займається благоустроєм населених пунктів Зарічненської ТГ, з 2021 по 2023 рік збільшило об'єми скиду зворотних вод від 36,0 до 36,9 тис. м^3. Динаміка обсягів скиду забруднюючих речовин КП «Добробут» з 2021 по 2023 рік наведена у табл. 1.

Із наведених у табл. 1 даних видно, що з 2021 по 2023 рік КП «Добробут» збільшило скиди органічних речовин (по БСК5) від 0,1 до 0,2 т, сульфатів 0,9 до 1,9 т (у 2 рази), хлоридів від 0,2 до 0,9 т (у 2022 р. – 1,5 т), фосфатів 0,0266 до 0,0493 т (у 2022 р. – 0,0576 т),

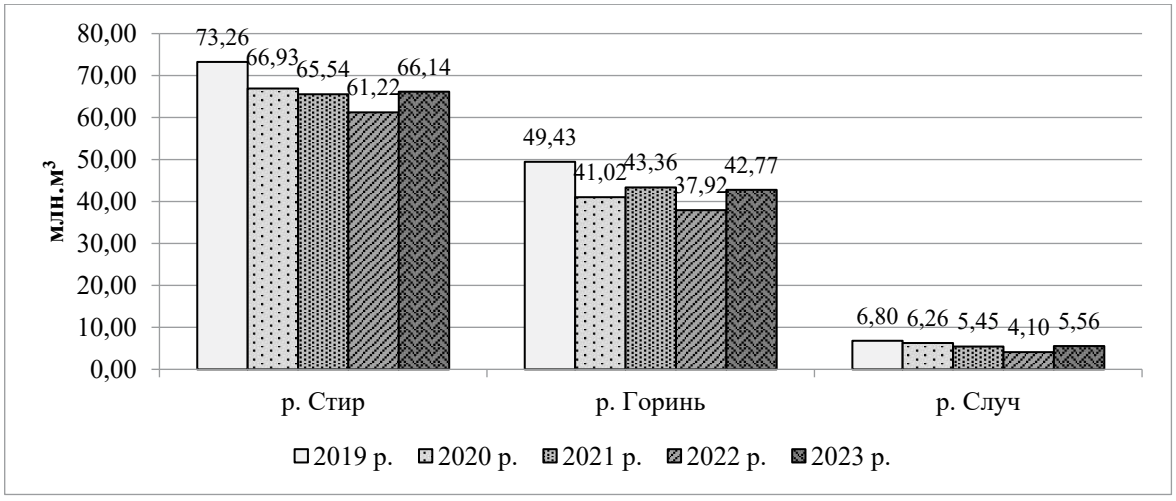


Рис. 1. Динаміка забору води у басейнах основних річок Рівненщини у період з 2019 по 2023 рік, млн.м^3

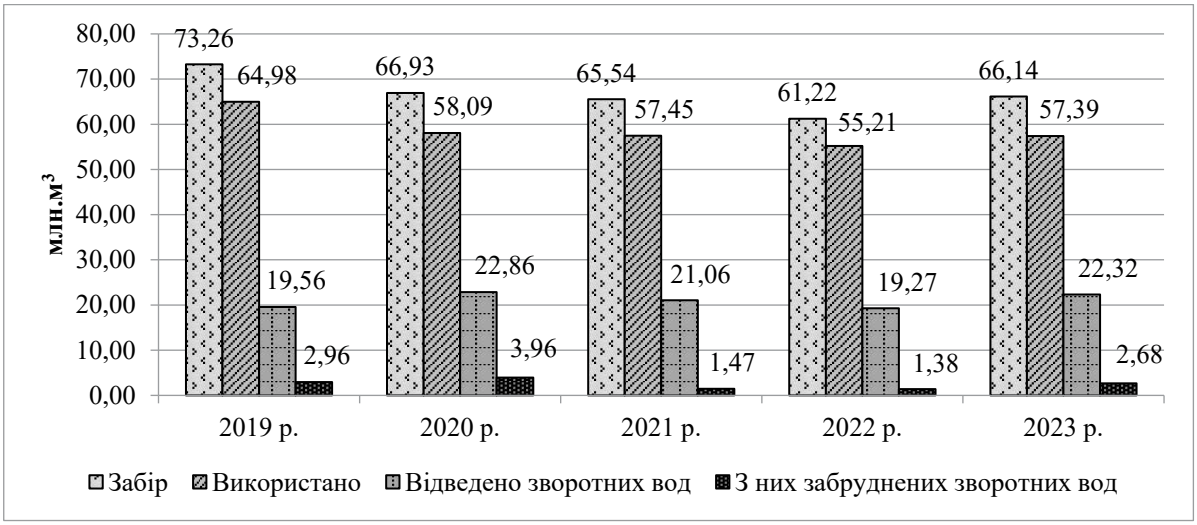


Рис. 2. Динаміка забору, використання та відведення води у р. Стир в період з 2019 по 2023 рік, млн.м³

Таблиця 1

Динаміка обсягів скиду забруднюючих речовин КП «Добробут» з 2021 по 2023 рік, т [4]

Забруднюючі речовини	2021 р.	2022 р.	2023 р.
Органічні речовини (по БСК5)	0,1	0,2	0,2
ХСК	0,6	1,5	1,8
Азот амонійний	-	0,1	0,1
Нітрати	0,1	0,1	0,1
Сульфати	0,9	1,4	1,8
Хлориди	0,2	1,5	0,9
Фосфати	0,0266	0,0576	0,0493
Залізо	0,0091	0,0072	0,0074
СПАР	0,0007	0,0031	0,0037

синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР) від 0,0007 до 0,0037 т. Зменшилися лише скиди заліза від 0,0091 до 0,0074 т.

Регулярний контроль за станом води у річці проводить Регіональний офіс водних ресурсів (РОВР) у Рівненській області у пункті спостережень смт Зарічне (48 км до кордону з Республікою Білорусь). За даними лабораторії моніторингу вод та ґрунтів РОВР у період з 2021 по 2023 рік виявлено перевищення сполук амонію та нітритів, рис. 3–4.

У 2021 р. вміст амонію змінювався від 0,13 до 0,83 мг/дм³ та перевищував допустимі нормативи у лютому – 0,73 мг/дм³ (у 1,5 рази), березні – 0,83 (у 1,7 рази) та травні – 0,6 (у 1,2 рази). У 2022 р. концентрація амонію змінювалася від 0,16 до 1,8 мг/дм³, перевищення спостерігалося у лютому – 0,78 мг/дм³ (у 1,6 рази), травні – 0,92 (у 1,8 рази), червні – 0,69 (у 1,4 рази), жовтні – 0,74 (у 1,5 рази), листопаді – 1,8 (у 3,6 рази), грудні – 0,68 (у 1,4 рази). У 2023 р. перевищення ГДК виявлено зі січня до травня (0,54–0,92 мг/дм³) та в грудні (0,69 мг/дм³). Загалом впродовж 2023 року вміст амонію коливався від 0,14 до 0,92 мг/дм³.

Перевищення ГДК нітритів у 2021 р. виявлено в квітні 0,11 мг/дм³ (в 1,4 рази), травні 0,16 (у 2 рази) та вересні 0,15 (у 1,9 рази); у 2022 році – у червні 0,16 (у 2 рази), листопаді 0,09 (у 1,1 рази); у 2023 році – у січні 0,09 (у 1,1 рази).

Таким чином, наведені вище дані свідчать про нераціональне використання природних вод басейну р. Стир, що проявляється у перевищені ГДК амонію та нітритів, частина яких надходить у річку зі скидами зворотних вод. Подальше ведення такої економічної діяльності та роботи комунальних підприємств сприятиме погіршенню якості води і формування загрози для сталого розвитку громади і регіону в цілому, а також транскордонному забрудненню басейну річки Прип'ять. Важливою складовою у вирішенні цієї проблеми є донесення для місцевого населення інформації, щодо розвитку дефіциту чистої води, як наслідку нераціонального водокористування та скиду забруднюючих речовин

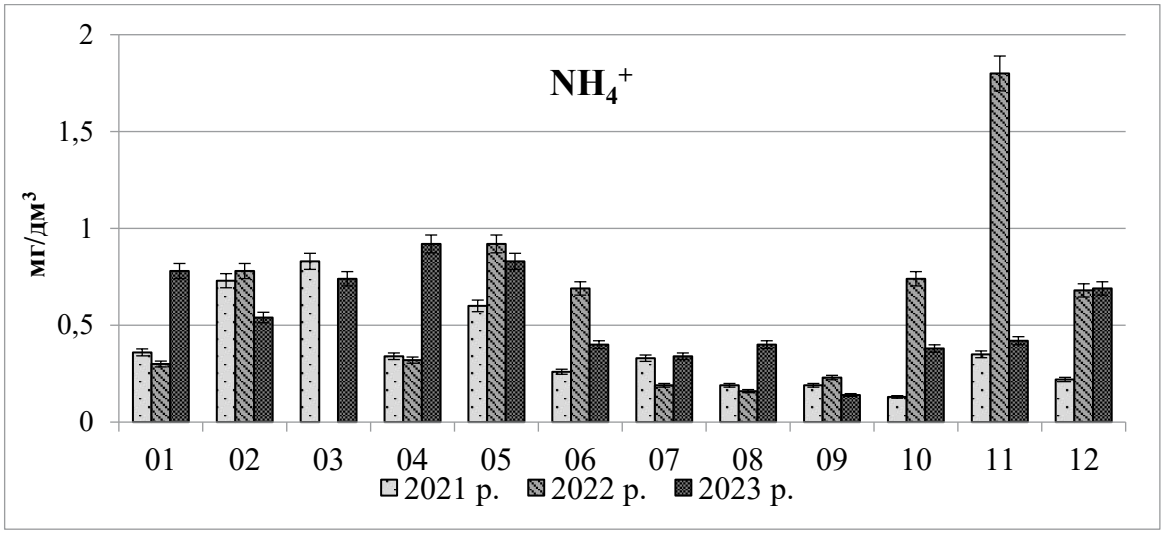


Рис. 3. Динаміка вмісту амонію у воді р. Стир (48 км, смт Зарічне) з 2021 по 2023 рік, мг/дм³ (ГДК$_{рибгосп.}$ = 0,5 мг/дм³)

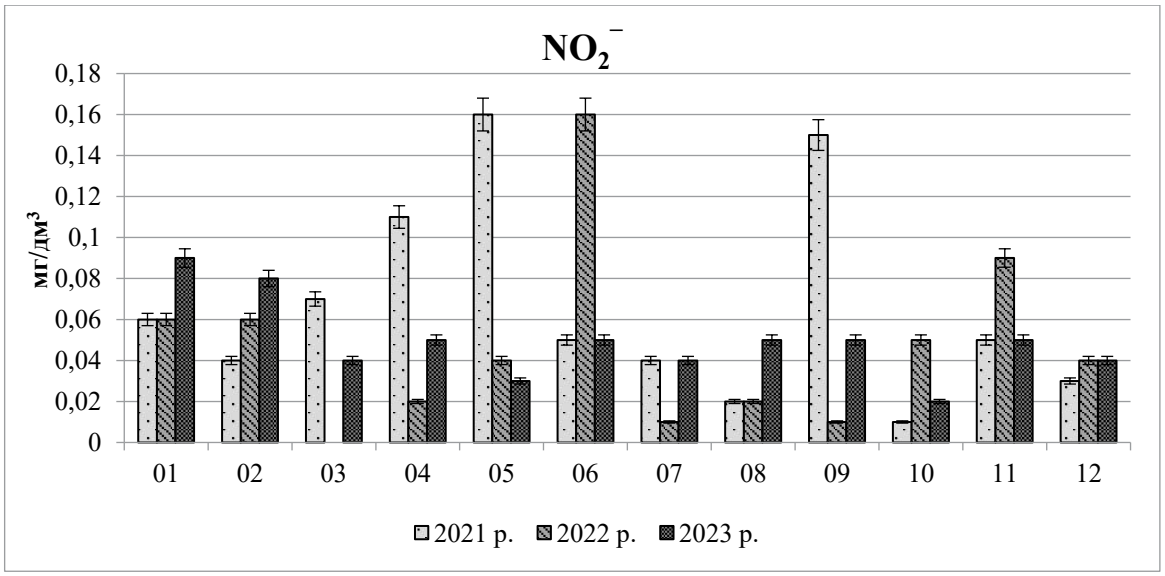


Рис. 4. Динаміка вмісту нітритів у воді р. Стир (48 км, смт Зарічне) з 2021 по 2023 рік, мг/дм³ (ГДКрибгосп. = 0,08 мг/дм³)

для прийняття відповідних управлінських рішень на локальному та регіональному рівнях.

У зв'язку з тим, що виявлені перевищення нормативів вмісту забруднюючих речовин у пункті спостереження смт Зарічне нами було проаналізовано Стратегію розвитку Зарічненської селищної територіальної громади на період до 2027 року (далі Стратегія розвитку), що була затверджена 30 березня 2023 року № 1643/28-2023, на наявність цілей та завдань спрямованих на охорону водних ресурсів [15].

У Стратегії розвитку передбачено Завдання 2.6.2. «Збереження водойм, чисте повітря», що відповідає Операційній цілі 2.6. «Підвищення рівня екологічної та енергетичної безпеки» та Стратегічні цілі 2. «Громада комфортна для проживання». Для реалізації цього завдання у громаді до 2027 року заплановані наступні проєкти «Санація ставків та озер на теренах Зарічненської громади», «Створення комунального підприємства для охорони водойм, зариблення та запровадження абонементів для риболовлі», «Розчистка водойм Зарічненщини». На жаль, не достатньо приділено уваги екологічному стану води р. Стир, що зазнає додатково антропогенного навантаження в межах громади від водокористувача-забруднювача КП «Добробут». Тому для реалізації Стратегічної цілі 2. «Громада комфортна для проживання» варто доповнити наведені вище технічні завдання та проекти розвитку громади заходами, що передбачають контроль за скидами забруднених зворотних вод КП «Добробут» та донесення

до населення результатів моніторингу вмісту у воді забруднюючих речовин, що проводиться РОВР у Рівненській області.

Головні висновки. В результаті аналізу антропогенного навантаження на басейни основних річок Рівненщини як загроза сталого розвитку регіону виявлено:

1. Важливими водними артеріями Рівненщини є річки Горинь, Стир, Случ, з басейнів яких у період з 2019 по 2023 р. спостерігається незначне зменшення об'єму забору води: р. Стир з 73,26 до 66,14 млн. м^3, р. Горинь – з 49,43 до 42,77 млн. м^3, р. Случ – з 6,80 до 5,56 млн. м^3.

2. Регулярне водокористування, що включає в себе забір, використання та відведення вод призводить до надходження у річки забруднюючих речовин. Найбільше забруднених зворотних вод у період з 2019 по 2023 рік у р. Стир було скинуто у 2020 р., що становило 3,96 млн. м^3, найменше у 2022 р. – 1,38 млн.м^3.

3. До основних водокористувачів-забруднювачів належать ВП «Рівненська АЕС», ПАТ «Рафалівський кар'єр», стічні води з комунальних очисних споруд м. Вараш та смт Зарічне, КП «Добробут» (Зарічненська ТГ). КП «Добробут» з 2021 по 2023 рік збільшило об'єми скиду зворотних вод від 36,0 до 36,9 тис. м^3, що призвело до зростання надходження і забруднюючих речовин: органічних речовин (по БСК5) від 0,1 до 0,2 т, сульфатів 0,9 до 1,9 (у 2 рази), хлоридів від 0,2 до 0,9 (у 2022 р – 1,5 т), фосфатів 0,0266 до 0,0493 (у 2022 р. – 0,0576 т), СПАР від 0,0007 до 0,0037. Зменшилися лише скиди заліза від 0,0091 до 0,0074 т.

4. У пункті спостережень смт Зарічне (48 км до кордону з Республікою Білорусь) у період з 2021 по 2023 рік виявлено перевищення сполук амонію та нітритів, що свідчить про антропогенне навантаження та нераціональне використання водних ресурсів. Подальше ведення такої економічної діяльності та роботи комунальних підприємств сприятиме погіршення якості води і формування загрози для сталого розвитку громади і регіону в цілому (дефіцит чистої води), а також транскордонному забрудненню басейну річки Прип'ять.

5. У Стратегії розвитку Зарічненської ТГ не достатньо приділено уваги екологічному стану води р. Стир, тому для реалізації Стратегічної цілі 2. «Громада комфортна для проживання» варто доповнити технічні завдання та проекти розвитку громади заходами, що передбачають контроль за скидами забруднених зворотних вод КП «Добробут». Також необхідним є донесення до населення результатів моніторингу вмісту у воді забруднюючих речовин, що проводиться РОВР у Рівненській області.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані Зарічненською ТГ для доповнення заходів спрямованих на реалізацію Завдання 2.6.2. «Збереження водойм, чисте повітря» передбаченого Стратегією розвитку та з метою донесення інформації до населення в контексті підвищення рівня водної безпеки, прийняття відповідних управлінських рішень на локальному та регіональному рівнях (об'єднаних територіальних громадах, районних та обласних радах тощо).

Література

1. Стратегія сталого розвитку України до 2030 року (проект), URL: http://surl.li/jnbrqy
2. 17 Цілей сталого розвитку / Global Compact Network Ukraine. URL: http://surl.li/akilvy
3. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року / Кабінет Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р URL: http://surl.li/vwdivy
4. Доповідь про стан довкілля області. / Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації. URL: http://surl.li/tnozhz
5. Філюта К., Везденецький П., Колодежна В. Звіт щодо виконання Цілі Сталого Розвитку ЦСР 6 («Чиста вода та санітарія») в Україні. Україна, 2023. С. 13.
6. Про Обласну програму охорони навколишнього природного середовища на 2022–2026 роки від 04 лютого 2022 р. № 61 / Рівненська обласна державна адміністрація. URL: http://surl.li/tgtewe
7. Бєдункова О.О. Диференційована оцінка якості поверхневих вод річок. Рівненської області. *Екологічні науки*. Київ, 2016. № 14–15. С. 25–40.
8. Бєдункова О.О., Статник І.І., Вознюк Н.М. Аналіз навантаження біогенами водної екосистеми річки Горинь. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки».* 2021. Вип. 4(96). С. 3–13. DOI: https://doi.org/10.31713/vs420211
9. Бєдункова О.О., Буднік З.М. Оцінка екологічної шкоди та екологічного ризику гідрохімічних показників річки Іква. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2012. №. 4(60). С. 21–28.
10. Залеський І.І., Майборода Х.А. Зміни екологічного стану річкових вод рівненського Полісся. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*, 2022. (1(97)). С. 36–47.
11. Мельник В.Й., Толочик І.Л. Моніторинг продуктивності річок України (на прикладі р. Стир): монографія. Рівне: О. Зень, 2023. 187 с.
12. Sukhodol'skaya I.L., Manturova O.V., Griuk I.B. Phytoplankton of Small Rivers of the Rivne Region (Ukraine) and relation of its quantitative parameters with nutrients content. *Hydrobiological Journal*. 2015. 51(5). P. 50–61.

13. Суходольська І.Л. Грюк І.Б. Грубінко В.В. *Сезонна динаміка вмісту сполук Нітрогену у водних екосистема малих річок Рівненщини. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка*, 2014 (1): (58). с. 61–71. ISSN 2078-2357
14. Суходольська І.Л., Грубінко В.В. Механізми підтримання гомеостазу Нітрогену та його вторинне використання у гідроекосистемах : монографія. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. 192 с.
15. Про затвердження Стратегії розвитку Зарічненської селищної територіальної громади на період до 2027 року. Зарічненська селищна рада Рівненської області від 30 березня 2023 року № 1643/28-2023. С. 138. URL: http://surl.li/pkkftd

UDC 614.71:504.06
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.39

THE IMPROVEMENT OF THE AUTOMATED MONITORING SYSTEM FOR ATMOSPHERIC AIR QUALITY IN THE CITY OF ZAPORIZHZHIA

Belokon K.V.[1], **Malovanyy M.S.**[2], **Proskurnin O.A.**[3]
[1]Zaporizhzhia National University
University str., 66, 69600, Zaporizhzhia
[2]Lviv Polytechnic National University
S. Bandera str., 12, 79013, Lviv
[3]Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems"
E. Yenin str., 6, 61166, Kharkiv
kv.belokon@gmail.com, myroslav.mal@gmail.com, proskurnin_o@ukr.net

The article substantiates methodological approaches to determining the location of observation posts (in accordance with the requirements of EU Directive 2008/50/EC and CMU Resolution No. 827 of 14 August 2019) based on the results of an inhalation risk assessment for public health. This made it possible to identify the locations of the highest levels of pollution, taking into account the links to the areas of the highest population density. Calculations of non-carcinogenic risk (HQ) levels in Zaporizhzhia were made. Zaporizhzhia when assessing chronic inhalation impacts for individual pollutants and in total from 8 priority chemicals on the health of the exposed population showed that the hazard coefficients exceed safe levels (HQ≥1) and the risk to the health of the exposed population is unacceptable, in particular, from emissions of dust, sulphur dioxide, nitrogen dioxide, phenol, formaldehyde, and hydrogen sulphide. Thus, the validity of the location of the proposed automated stations, based on the results of the health risk assessment of the exposed population, showed the feasibility of their location in the above-mentioned locations identified in the State Monitoring Programme for the Protection of Atmospheric Air in the Zaporizhzhia Agglomeration for 2022–2026. Based on the results of the public health risk assessment, it is recommended to install additional indicative observation points in Zaporizhzhia at the following intersections: Yatsenko Street – Peremohy Street, Profspilok Square – Nezalezhnoyi Ukrainy Street, Istorychna Street – Fundamentalna Street, Motorobudivnykiv Avenue – Heroiv 55 Brigady Street.

In accordance with the Directive, Resolution and Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated 21.04.2021 No. 300, it is proposed to include in the automated surveillance network in the city of Zaporizhzhia, in addition to the pollutants defined by the Pollutant Monitoring Programme (sulphur dioxide, nitrogen dioxide, nitrogen oxide, carbon monoxide, particulate matter (PM10 and PM2.5), benz(a)pyrene, ozone, formaldehyde and phenol), mandatory monitoring of hydrogen sulphide emissions at the designed fixed measurement points. In addition, it is necessary to provide for monitoring of emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons and formaldehyde at indicative observation points located in areas of intensive traffic. *Key words:* atmospheric air, atmospheric air quality monitoring, automated observation posts, indicative observation points, average concentrations, pollutants, public health risk assessment.

Удосконалення автоматизованої системи моніторингу за якістю атмосферного повітря у місті Запоріжжі. Бєлоконь К.В., Мальований М.С., Проскурнін О.А.

Обґрунтовано методичні підходи до визначення місць розташування постів спостережень (відповідно до вимог Директиви ЄС 2008/50/ЄС та Постанови КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827) на підставі результатів оцінки інгаляційного ризику для здоров'я населення. Це дозволило визначити місця найвищих рівнів забруднення, враховуючи прив'язки до місць найвищої щільності проживання населення. Проведені розрахунки рівнів неканцерогенного ризику (HQ) у м. Запоріжжі при оцінці хронічних інгаляційних впливів для окремих забруднюючих речовин та сумарно від 8 пріоритетних хімічних речовини на здоров'я експонованого населення показали, що коефіцієнти небезпеки перевищують безпечні рівні (HQ≥1) та ризик для здоров'я експонованого населення є недопустимим зокрема, від викидів пилу, ангідриду сірчистого, діоксиду азоту, фенолу, формальдегіду, сірководню. Отже, обґрунтованість щодо місцерозташування запропонованих автоматизованих пунктів, виходячи з отриманих результатів оцінки ризику для здоров'я експонованого населення, показала доцільність їх розташування у вищевказаних місцях, визначених у Програмі державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації Запоріжжя на 2022-2026 роки. Рекомендовано на підставі отриманих результатів оцінки ризику для здоров'я населення встановити у м. Запоріжжі додаткові індикативні пункти спостереження на перехрестях: вул. Яценка – вул. Перемоги, майдан Профспілок – вул. Незалежної України, вул. Історична – вул. Фундаментальна, просп. Моторобудівників – вул. Героїв 55-ї бригади.

Згідно з Директивою, Постановою та Наказом МВС України від 21.04.2021 р. за № 300 пропонується включити до автоматизованої мережі спостережень на території м. Запоріжжя, окрім визначених Програмою моніторингу забруднюючих речовин (сірки діоксид, азоту діоксид, азоту оксид, вуглецю оксид, тверді частки пилу (PM10 та PM2.5), бенз(а)пірен, озон, формальдегід та фенол) обов'язковий моніторинг за викидами сірководню на запроєктованих пунктах з фіксованими вимірюваннями.

Крім того, необхідно передбачити на індикативних пунктах спостережень, що будуть розташовані на ділянках інтенсивного руху автотранспорту, моніторинг за викидами поліциклічних ароматичних вуглеводнів та формальдегіду. *Ключові слова:* атмосферне повітря, моніторинг якості атмосферного повітря, автоматизовані пости спостережень, індикативні пункти спостережень, усереднені концентрації, забруднюючі речовини, оцінка ризику для здоров'я населення.

General statement of the problem and its connection with important practical tasks. Considering the current trends in Ukraine's external policy regarding the implementation of the EU regulations and recommendations (EU Directives 2008/50/EC and 2004/107/EC), the problem of organising, developing and improving the air quality monitoring system is extremely relevant [1, 2]. Despite the adoption of the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 14.08.2019 No. 827 and the Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated 21.04.2021 No. 300, the main direction of further development in the field of atmospheric air monitoring should be the consistent harmonisation of the activities of the relevant entities (elements) of air monitoring networks [3, 4]. At the same time, in order to ensure the implementation of the basic principles of the state environmental monitoring system, it is necessary to involve the existing potential of all monitoring entities, primarily on the basis of consistency and progressiveness of the regulatory, legal, methodological and technical support of observation networks.

The above implies mandatory fixed (reference) measurements for areas and agglomerations where long-term objectives or assessment thresholds for pollutants exceed the norms (EU Directive 2008/50/EC). In addition, the information obtained from fixed measurements can be supplemented by modelling techniques and/or indicative measurements to provide valid data on the spatial distribution of pollutants and air quality. The use of additional assessment methods will also provide an opportunity to reduce the required minimum number of fixed sampling points.

According to the CMU Resolution No. 827 of 14.08.2019 and EU Directive 2008/50/EC, fixed/standard measurements are measurements carried out at fixed air pollution observation points on a regular basis or by random sampling to determine the levels of pollutants using the assessment methods specified in paragraph 4 of Annex 3 of the Resolution or in Section A and Section C of Annex VI of the Directive. Indicative measurements are those that meet data quality requirements that are less stringent than those for fixed measurements.

It should also be noted that sampling points must be located in compliance with certain requirements set out in EU Directive 2008/50/EC and Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine of 21.04.2021 No. 300 [4]. For example, points intended to protect public health should be located in such a way as to provide data on: areas within zones and agglomerations where the highest concentrations occur, which are likely to directly or indirectly affect the population for a period that is significant compared to the averaging period of the limit value.

Relevance of the research. Zaporizhzhia is the fourth largest industrial centre in Ukraine with developed machine building, ferrous and non-ferrous metallurgy, chemical and construction industries. The territory of the city belongs to the regions with an increased natural potential for air pollution and unfavourable conditions for dispersing emissions into the atmosphere [5, 6].

Given Zaporizhzhia's strong industrial potential, climatic features and existing buildings, one of the main environmental problems is air pollution from industrial and motor vehicle emissions.

At present, the state monitoring of air quality in Zaporizhzhia is carried out by the following monitoring entities: State Institution Zaporizhzhia Regional Centre for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine and Zaporizhzhia Regional Centre for Hydrometeorology [7]. Public monitoring of atmospheric air quality, implemented on the platforms of active NGOs, has also gained wide popularity in the city, which certainly contributes to the development of the state air monitoring system, but unfortunately, the stations have sensor devices that do not meet the requirements of methods for assessing pollutant levels during fixed measurements in accordance with the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 14 August 2019 No. 827 [3].

In addition, in accordance with the requirements of the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 14.08.2019 No. 827 and the Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine of 21.04.2021 No. 300, the State Monitoring Programme in the field of atmospheric air protection of the Zaporizhzhia agglomeration for 2022-2026 was approved, which proposes, in addition to the existing stations of the Zaporizhzhia Regional Centre for Hydrometeorology and the State Institution «Zaporizhzhia Regional Centre for Disease Control and Prevention» of the Ministry of Health of Ukraine, the installation of four new stations for monitoring air pollution (automated fixed measurements), namely [8]: the Kommunarskyi district, 32 Chumachenko St. (near the district administration of the Zaporizhzhia City Council for the Kommunarskyi district); the Shevchenkivskyi district, 91 Ivanov St. (territory of the pumping station of the 3rd lift «Shevchenko» of the Municipal Enterprise «Vodokanal»); the Zavodskyi district, 91 Myroslava Symchycha St. (Lyubov Kovalska St.). Myroslava Symchycha (Liza Chaikina) Street, 56 (near the district administration of the Zaporizhzhia City Council for Zavodskyi District); the Dniprovskyi District, 2 Shchaslyva Street (territory of the municipal institution «Zaporizhzhia Specialised Boarding School of II-III Degrees «Kozatskyi Lyceum»» of the Zaporizhzhia Regional Council). It is proposed to mon-

itor the following pollutants at the specified (proposed) observation points: sulphur dioxide, nitrogen dioxide, nitrogen oxide, carbon monoxide, particulate matter (PM10 and PM2.5), benzo(a)pyrene, ozone, formaldehyde and phenol.

It is also planned to carry out indicative measurements in an automated mode at the main five traffic intersections, namely: Sobornyi ave. to Metallurgiv ave.; Sobornyi ave. to Ukrainska str.; Sobornyi ave. to Vyacheslav Zaitsev str. (Lermontov str.); Vintera Blvd. – Hrebelna St.; Motorobudivnykiv ave – Ivanova str.

Analysis of recent research and publications. It is well known that the main responsibility for organising and conducting air monitoring in zones and agglomerations (taking into account the main provisions of the Cabinet of Ministers of Ukraine Resolution of 14 August 2019 No. 827), is entrusted to the Ukrainian Hydrometeorological Centre of the SES of Ukraine and partially to: laboratory centres of the Ministry of Health of Ukraine (in rural, recreational, industrial (on the border of the sanitary protection zone) areas and upon complaints from the public) and the State Environmental Inspectorate, which carries out selective control at emission sources of industrial facilities [9]. In recent years, the development of the environmental monitoring system (in particular, of atmospheric air) in Ukraine has been gaining momentum. This involves the creation of observation networks in large industrial centres using automated observation posts to supplement the existing stationary posts. Such projects have already been implemented by regional state administrations in Dnipro and Kyiv regions and are being developed in other regions of Ukraine [10]. Public monitoring, implemented mainly on the platforms of active NGOs, is also gaining popularity, which undoubtedly contributes to the development of the state air monitoring system in Ukraine. Today, there are more than 700 public monitoring stations, mostly equipped with sensor devices, which, unfortunately, do not meet the requirements of methods for assessing pollutant levels during fixed measurements, according to the CMU Resolution of 14 August 2019 No. 827 [11]. Identification of previously unsolved parts of the overall problem. In the existing Soviet-era observation systems, the collection and processing of information is based on laboratory methods of analysing atmospheric air samples and is used not so much for operational management decisions as for statistical analysis [12]. The use of indicative measurements or modelling is not sufficiently covered by the regulatory framework. As a result, the existing monitoring system is imperfect, limiting data on the state of air pollution throughout the territory and the long-term dynamics of indicators. The locations of the monitoring stations, which were determined on the principle of territorial commonality in accordance with the requirements of the RD 52.04.186-89, currently do not meet the contemporary realities regarding the validity of their installation in the context of rapid urbanisation and uncontrolled urban planning decisions in almost all regions of Ukraine. The issue of determining the content of particulate matter (with a diameter of less than 10 microns – PM10 and less than 2.5 microns – PM2.5) and ozone remains unresolved, as their state monitoring has not yet been introduced at the national level [9].

In accordance with EU Directive 2008/50/EC, CMU Resolution No. 827 of 14.08.2019 and Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 300 of 21.04.2021, the justification for the installation of automated monitoring stations should be based on forecasting the levels of air pollution in the study areas, which allows to assess the inhalation risk to public health from pollution sources (industrial enterprises, vehicles) throughout the city. This approach is appropriate in the context of the realities of Ukraine ('chaotic' location of posts) in order to save public funds, which will help harmonise the existing observation network and increase the validity of management decisions to improve air quality [9].

The purpose of the article. The main purpose of the study is to assess the respiratory risk to public health from sources of pollution (industrial enterprises, motor vehicles) throughout the city of Zaporizhzhia, especially in the streets with the highest population density, and to provide proposals for improving the automated system of observation (monitoring) of atmospheric air quality in the city of Zaporizhzhia.

Novelty. Methodological approaches to determining the locations of observation posts were substantiated based on data from the assessment of inhalation risk to public health, which made it possible to determine the areas of the highest levels of pollution, taking into account the links to the places of the highest population density.

Presentation of the main research material. Analysing the above, in order to provide proposals for improving the automated system of observation (monitoring) of atmospheric air quality in Zaporizhzhia, as envisaged by the State Monitoring Programme in the field of atmospheric air protection of the Zaporizhzhia agglomeration for 2022-2026, additional studies were conducted to assess the inhalation risk to public health from industrial enterprises and vehicles in residential areas, especially on streets with the highest population density.

The calculations were based on the general procedure of the Human Health Risk Assessment methodology developed and recommended by the US Environmental Protection Agency, which involves four interrelated stages: hazard identification, dose-response assessment, exposure assessment and risk characterisation, and the Guidelines «Assessment of Carcinogenic and Non-Carcinogenic Risk to Public Health from Chemical Air Pollution» [13, 14].

The following gradation of risk levels for non-carcinogenic effects was used in the study: extremely high (HQ/HI > 10, mass complaints, chronic diseases); high (HQ/HI = 5-10, there is a risk of adverse effects in the

majority of the population); medium (HQ/HI = 1-5, there is a risk of adverse effects in particularly sensitive subgroups of the population (unacceptable for the general population, acceptable for production conditions)); low (HQ/HI = 0.1-1.0, the risk of adverse effects is negligible); minimal (HQ/HI ≤ 0.1, no risk of adverse effects) [15].

In order to determine the list of priority potentially harmful chemical compounds from industrial enterprises, the most complete list of all chemicals that can affect humans in the study area was first compiled. The following criteria for selecting priority pollutants were taken into account: assessment of the toxicity of pollutants that can affect public health; analysis of data on hazard parameters and dose-response relationships (reference concentrations; carcinogenic potential factors; current national standards: maximum permissible concentrations for maximum one-time and average daily concentrations (MPCm.s, MPCa.d.), estimated safe exposure levels (ESLs)); assessment of the direction of impact on organs and systems of the human body.

Considering the criteria for selecting priority pollutants emitted into the air by stationary sources of industrial enterprises, a list of priority pollutants for 2023 was formed, which is necessary for further research on risk assessment for public health. The list includes 8 chemical compounds, including hydrogen sulphide, phenol, formaldehyde, and carbon disulfide, which are classified as hazard class 2 (highly hazardous substances); nitrogen dioxide, sulphur dioxide, and suspended solids, which are classified as hazard class 3; and carbon monoxide, which is classified as hazard class 4 [16].

Regarding the direction of action and the impact of priority substances on public health (organs and systems), it can be noted that non-carcinogenic substances cause a wide range of human health disorders caused by various forms of toxic effects that are recorded at the molecular, cellular, tissue, and population levels. The constant pressure of polluted air on public health is reflected in the morbidity and mortality rates. First and foremost, it is an increase in chronic respiratory diseases caused by chemicals such as nitrogen dioxide, sulphur dioxide, hydrogen sulphide, phenol, and substances in the form of suspended particulate matter; cardiovascular diseases caused by carbon monoxide, phenol, sulphur dioxide, and substances in the form of suspended particulate matter; and diseases of the central nervous system caused by carbon monoxide and phenol.

The averaged levels of annual concentrations of pollutants for 2023, which form exposure loads on the health of the population of residential areas of Zaporizhzhia, were provided by the State Institution «Zaporizhzhia Regional Centre for Disease Control and Prevention» of the Ministry of Health of Ukraine. Based on the calculated exposure levels, the risk characteristics for residential areas from air pollution caused by emissions from industrial enterprises and motor vehicles were established, including non-carcinogenic risks (hazard coefficients for individual substances (HQ) and total hazard indices (HI).

The results of calculations of hazard coefficients for assessing inhalation impacts of pollutant emissions from industrial enterprises and vehicles under chronic exposure in 2023 indicate that safe levels (HQ > 1) are exceeded in some places of measurement of receptor points and the risk to the health of the exposed population is unacceptable almost throughout the city of Zaporizhzhia, as shown in Table 1.

In the Shevchenkivskyi district, the average values of the hazard coefficients for chronic inhalation exposure in 2023 exceed the permissible level for all substances except carbon monoxide and are at the level: for formaldehyde and hydrogen sulfide – at a high level; for dust, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, phenol – at an average level, carbon monoxide – at a low level.

The most polluted streets in the Shevchenkivskyi district are Magistralna-Porady, Peredatna, Porady, Porady-Vyrobnycha, Vyrobnycha, Koryshchenko, Motorobudivnyky, Kharchova, Porady-Kharchova, Ivanova.

In the Voznesenivskyi district, the average values of the hazard coefficients for chronic inhalation exposure in 2023 exceed the permissible level for all substances,

Table 1

Comparison of calculations of hazard coefficients for chronic exposure in the studied areas of Zaporizhzhia city for 2023

The name of the substance	Shevchenkivskyi district	Voznesenivskyi district	Zavodskyi district	Dniprovskyi district
Suspended substances	3,950	4,060	3,790	4,8
Sulfur dioxide	1,225	1,613	1,838	2
Nitrogen dioxide	2,100	1,863	1,490	1,375
Phenol	2,283	1,517	1,317	1,27
Formaldehyde	8,333	7,667	9,333	6,433
Carbon monoxide	0,870	0,995	0,850	0,87
Hydrogen sulfide	-	9,500	7,500	4
Carbon sulfide	-	0,066	0,073	0,076

except carbon monoxide and carbon disulfide, and are at the level: for formaldehyde – at a high level; for dust, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, phenol and hydrogen sulfide – at an average level, carbon monoxide – at a low level, carbon disulfide – at a minimum level.

The most polluted streets in the Voznesenivskyi district are Nakhimova, Matrosova, Yatsenka, Peremohy, Antenna-Tambovskaya, Sedova, Viacheslav Zaitseva (Lermontova) Street, Nezalezhnoi Ukrainy Street.

In the Zavodskyi district, the average values of the hazard coefficients for chronic inhalation exposure in 2023 exceed the permissible level (HQ > 1) for all substances, except carbon disulfide and carbon monoxide, and are at the level: for formaldehyde and hydrogen sulfide – at a high level; dust, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, phenol – at an average level; carbon monoxide – at a low level, carbon disulfide – at a minimum level.

The most polluted streets of the Zavodsky district are Finalna, Fundamentalna, Morflotska, Electrichna, Istorichna.

In the Dniprovskiy district, the average values of the hazard coefficients for chronic inhalation exposure in 2023 exceed the permissible level for all substances, except carbon disulfide and carbon monoxide, and are at the level: for formaldehyde and hydrogen sulfide – at a high level; for dust, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, phenol – at an average level, for carbon monoxide – at a low level, for carbon disulfide – at a minimum level.

The most polluted streets in the Dniprovskiy district are Metallurgiv Ave., Sobornyi Ave., Winter Boulevard, Hrebelna, Yeniseyska, Verkhnya.

The results of calculations of total hazard indices when assessing chronic inhalation effects of pollutant emissions from industrial enterprises and motor vehicles indicate the presence of excesses of safe levels (HI > 1) and are at an extremely high level in 2023: in the Zavodskiy district: HI = 26.190; in the Voznesenivskiy district: HI = 27.279; in the Shevchenkivskiy district: HI = 27.362, Dniprovskiy district: HI = 20.824.

Calculations of non-carcinogenic risk levels (HI) in the city were carried out. Zaporizhzhia, when assessing chronic inhalation effects for individual pollutants and a total of 8 priority chemicals on the health of the exposed population, showed that the hazard coefficients exceed safe levels (HQ≥1) and the risk to the health of the exposed population is unacceptable, in particular, from emissions of dust, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, phenol, formaldehyde, hydrogen sulfide.

Therefore, the justification for the location of the proposed automated points, based on the results of the risk assessment for the health of the exposed population, showed the feasibility of their location in the above-mentioned places, specified in the Monitoring Program.

In addition, it is recommended to replace the designed indicative point at the intersection of Sobornyi Ave. – Metallurgiv Ave. with a reference one with fixed measurements to validate the obtained data on pollutant concentrations from observation post No. 9 (at 2 Rekordna St., located at a distance of less than 500 m). Also, according to previous scientific studies on the impact of motor vehicles on atmospheric air pollution in the city, it is recommended to install additional indicative points at the intersections: Yatsenka St. – Peremohy St., Maidan Profspilok – Nezalezhnoi Ukrainy St., Istorichna St. – Fundamentalna St., Motorobudivnyk Ave. – Heroiv 55-i brigadi St. According to EU Directive 2008/50/EC; 2004/107/EC, Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 14.08.2019 No. 827 and the Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated April 21, 2021 No. 300, as well as taking into account the results of instrumental and analytical studies, we consider it necessary to include in the automated network of observations on the territory of the city of Zaporizhzhia, in addition to the pollutants specified by the Monitoring Program (sulfur dioxide, nitrogen dioxide, nitrogen oxide, carbon oxide, particulate matter (PM10 and PM2.5), benz(a)pyrene, ozone, formaldehyde and phenol), mandatory monitoring of hydrogen sulfide emissions at designed points with fixed measurements. In addition, to provide for monitoring of emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons and formaldehyde at indicative observation points that will be located in areas of intensive vehicle traffic in order to assess and take into account the impact on the health of the city's population of possible risks caused by their emissions.

Conclusions and suggestions. As a result of the conducted research, methodological approaches to determining the locations of observation posts (in accordance with the requirements of EU Directive 2008/50/EC and Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 827 of August 14, 2019) were substantiated based on data from the assessment of inhalation risk to public health. This made it possible to determine the areas of the highest levels of pollution, taking into account the links to the places of the highest population density.

Calculations of non-carcinogenic risk levels (NQ) in the city were carried out. Zaporizhzhia, when assessing chronic inhalation effects for individual pollutants and a total of 8 priority chemicals on the health of the exposed population, showed that the hazard ratios exceed safe levels (HQ≥1) and the risk to the health of the exposed population is unacceptable, in particular, from dust emissions (HQ = 3.95÷4.8), sulfur dioxide (HQ = 1.225÷2), nitrogen dioxide (HQ = 1.375÷2.1), phenol (HQ = 1.27 ÷ 2.283), formaldehyde (HQ = 6.433÷9.333), hydrogen sulfide (HQ = 4 ÷ 9.5).

The results of the calculations of the total hazard indices when assessing the chronic inhalation effects of pollutant emissions from industrial enterprises and motor vehicles indicate the presence of excesses of safe levels (HI > 1) and are at an extremely high level in 2023: in the Zavodskiy district: HI = 26.190; in the Voznesenivskiy district: HI = 27.279; in the Shevchenkivsky district: HI = 27.362, Dniprovskiy district: HI = 20.824.

According to the calculations, it is recommended to provide for the installation of additional indicative points at the intersections: Yatsenka st. – Peremohy st., Maidan Profspilok – Nezalezhnoi Ukrainy st., Istorichna st. – Fundamentalna st., Motorobudivnyk ave. – Geroiv 55-i brigadi st.

According to the EU Directive 2008/50/EU; 2004/107/EU, Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 14.08.2019 No. 827 and Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated 21.04.2021 No. 300, as well as taking into account the results of instrumental and analytical studies, we consider it necessary to include mandatory monitoring of hydrogen sulfide emissions at designed points with fixed measurements in the automated observation network on the territory of the city of Zaporizhzhia. In addition, it is recommended to provide for monitoring of emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons and formaldehyde at indicative observation points located in areas of intensive vehicle traffic in order to assess and take into account the impact on the health of the city's population of possible risks caused by their emissions.

References

1. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. Official Journal of the European Union. 2008. Vol. 51. L 152. 44 p.
2. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the European Union, L 23, 26 January 2005.
3. Постанова № 827 від 14 серпня 2019 р. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#n18 (дата звернення: 10.10.2024).
4. Про затвердження Порядку розміщення пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря в зонах та агломераціях. Наказ Міністерство внутрішніх справ України від 21.04.2021 № 300; Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13.05.2021 р. за № 635/36257. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0635-21#Text (дата звернення: 02.09.2024).
5. Бєлоконь К.В., Тулушев Є.О. Аналіз впливу технологій промислових підприємств та автотранспорту на стан екологічної безпеки атмосферного повітря (на прикладі м. Запоріжжя). Монографія. Запоріжжя : ВД «Гельветика», 2020. 230 с.
6. Bielokon K. V., Pirohova I. M., Hordiienko D. R. Analysis Of The State Of Air Pollution In Industrial Cities Of Ukraine During The War Period (On The Example Of Zaporizhzhia City). Scientific and educational dimensions of natural sciences: Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing. 2023. P. 276–296.
7. Запорізький Обласний центр з гідрометеорології. Забруднення повітря у м. Запоріжжя URL: https://zapcgm.com.ua/pollution (дата звернення: 08.10.2023).
8. Прогама державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації Запоріжжя на 2022-2026 роки. Запорізька міська рада, управління з питань екологічної езпеки. Запоріжжя, 2021. 422 с.
9. Петросян А.А., Маремуха Т.П., Моргульова В.В. Удосконалення та організація автоматизованої системи моніторингу за якістю атмосферного повітря в Україні. *Молодий вчений*. 2020. Вип. 38 (84). С. 97-102. DOI: https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-8-84-19
10. Ломазов П.К., Павличенко А.В., Бучавий Ю.В. Удосконалення методологічних підходів до розвитку системи спостереження за забрудненням атмосферного повітря в агломераціях. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету.* 2023. № 73. С. 240-252. https://doi.org/10.33271/crpnmu/73.240
11. Якість повітря у місті Запоріжжя URL:https://www.saveecobot.com/maps/zaporizhzhia (дата звернення: 10.09.2023).
12. Запоріжжя: якість повітря в умовах воєнного стану (аналітична записка) / під заг. ред. М. Л. Сороки. Прага – Київ : Arnika, 2022. 28 с.URL: https://cleanair.org.ua/publication/zpaq2022/ (дата звернення: 06.10.2023).
13. Наказ МОЗ України «Про затвердження Методичних рекомендацій «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря» № 1811 від 18.10.2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text
14. Human health risk assessment. URL: https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment (дата звернення: 20.05.2024).
15. Belokon K., Malovanyy M., Taraban Y., Hordiienko D., Sytyi V. Assessment of technogenic pollutants impact of the urban environment of zaporizhzhia city on human health of the shevchenkivskyi district. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2024. № 2. С. 10-18. DOI https://doi.org/10.32782/2786-5681-2024-2.02
16. Бєлоконь К.В., Мальований М.С., Тарабан Є.В. Оцінка ризику для здоров'я населення від техногенного навантаження на атмосферне повітря м. Запоріжжя. Екологічні науки. 2023. № 5(50). С. 30–36. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.5

УДК 504.054:574.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.40

ОСОБЛИВОСТІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Дунаєвська О.Ф., Зимароєва А.А., Іщук О.В., Сокульський І.М., Піціль А.О.
Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
oksana_fd@ukr.net, nastya.zymaroeva@gmail.com, ischuk_o@ukr.net,
sokulskiy_1979@ukr.net, pistil.uk@gmail.com

Забезпечення екологічної безпеки як складової державної безпеки є необхідною умовою сталого розвитку країни. В сучасних умовах воєнного стану, загрозах застосування, випробовування ядерної зброї, виникненні аварійних ситуацій на атомних електростанціях, радіохімічних підприємствах зростає роль радіоекологічного моніторингу складових довкілля.

Висвітлено питання важливості історичного підходу у подоланні екологічних проблем сучасності. Наголошено на важливості використання досвіду та накопиченої інформації з подолання наслідків аварій на атомних електростанцій Чорнобиль та Фукусіма. Зазначено, що міграція і накопичення радіонуклідів в складових довкілля має певні закономірності.

Для забезпечення екологічної безпеки потрібно враховувати особливості нагромадження та утворення доступних форм радіонуклідів, зокрема ^{137}Cs. Варто звернути увагу на бар'єрний край болота, де накопичується радіонуклід ^{137}Cs. Доведено, що покрив моху відіграє роль міцного кордону боліт Українського Полісся від проникнення радіонукліду ^{137}Cs до навколишніх ґрунтів. Дослідження демонструють, що в лісових біоценозах питома активність за радіонуклідом ^{137}Cs була різною. У деревних ярусах найбільша питома активність за ^{137}Cs виявлена у однорічних пагонах і внутрішній корі; серед інших ярусів – у ярусі макроміцетів, лишайниковому та у моховому ярусі. При цьому ґрунт утримує близько 87% радіонукліду ^{137}Cs При здійсненні лісорозведення на радіаційно забруднених територіях потрібно враховувати питому не лише питому активність ґрунту, а й та вид, фізіологічні особливості рослин. За показниками питомої активності продуктів харчування (гриби, лісові ягоди, м'ясо диких звірів, молоко) навіть у 2020 році деякі проби не відповідають вимогам ДР-2006 і при споживанні вносять додаткове дозове навантаження на організм людини.

Нагромаджений матеріал та наукові дослідження дозволяють розробити програму радіаційного моніторингу, враховуючи особливості розподілу, нагромадження радіонуклідів в екосистемах. Підкреслено, що використання автоматизованих систем радіоекологічного моніторингу дозволить розв'язувати екологічну проблему в конкретній життєвій ситуації, швидко реагувати та прогнозувати стан довкілля. *Ключові слова:* радіоекологічний моніторинг, екологічна безпека, довкілля, сталий розвиток, радіонукліди, радіоактивне забруднення.

Features and results of radioecological monitoring to ensure environmental safety in modern conditions. Dunaievska O., Zymaroeva A., Ischuk O., Sokulskyi I., Pitsil A.

Ensuring environmental safety as a component of state security is is a fundamental condition for the country's sustainable development. In the current conditions of martial law, under the threat of emergencies at nuclear power plants and radiochemical enterprises the role of radioecological monitoring of environmental components is growing.

The article highlights the importance of the historical approach in overcoming environmental problems of our time. The importance of using experience and accumulated information on overcoming the consequences of the accidents at the and Fukushima nuclear power plants. It is noted that migration and accumulation of radionuclides in environmental components has certain characteristics.

To ensure environmental safety, it is necessary to take into account the following features accumulation and formation of available forms of radionuclides, in particular 137 Cs.

Attention should be paid to the barrier edge of the swamp, where the radionuclide 137 Cs accumulates. It has been proven that the moss cover plays the role of a strong border of swamps Ukrainian Polissia from the penetration of 137 Cs radionuclide into the surrounding soils. Studies show that in forest biocenoses, the relative activity of 137 Cs radionuclide was different in forest biocenoses. The highest specific activity for 137 Cs was in the tree layers. The specific activity for 137 Cs was detected in annual shoots and inner bark; among other layers – in the macromycetes layer, in lichens and in the moss layer. At the same time, the soil retains about 87% of the 137 Cs radionuclide. For forestry in radiation-contaminated areas, it is necessary to take into account not only the specific activity of the soil, but also the species and physiological characteristics of plants. The specific activity of foodstuffs (mushrooms, forest berries, meat of wild animals, milk) even in 2020, some samples do not meet the requirements of the State Standard 2006 and, when consumed, introduce an additional dose load on the human body.

The accumulated material and scientific research allow us to develop a radiation monitoring programme, taking into account the specifics of distribution, accumulation of radionuclides in ecosystems. It is emphasised that the use of automated radioecological monitoring systems will allow solving environmental problems in a certain everyday life situation, to respond quickly and predict the state of the environment. *Key words:* radioecological monitoring, environmental safety, environment, sustainable development, radionuclides, radioactive contamination.

Постановка проблеми. Стратегічними завданнями екологічної політики України у галузі радіаційної безпеки є зменшення надходження радіоактивних речовин з зон відчуження і безумовного відселення до прилеглої території. Відповідно до стратегічного плану, уже в 2030 році Україна запровадила систему ефективного екологічного управління [1]. На жаль, війна суттєво впливає на довкілля [2]. Навіть в таких умовах важливим є екосистемний підхід для розвитку соціально-економічного блоку нашої країни. Одним з механізмів для вдалої реалізації екологічної політики є комплексний моніторинг довкілля [1]. Важливою складовою державної системи моніторингу довкілля є радіоекологічний моніторинг. А радіаційна безпека є невід'ємною складовою екологічної безпеки країни.

Актуальність дослідження. Актуальність проблеми особливостей проведення радіаційного моніторингу та забезпечення достовірності отриманої інформації зумовлена радіаційними аваріями, військовими діями на об'єктах атомних електростанцій, можливим використанням ядерної зброї. Результати радіаційного моніторингу надаються міжнародній системі радіаційного моніторингу МАГАТЕ, Європейській платформі обміну радіологічними даними EURDEP [3]. Радіаційна безпека повинна забезпечуватися при використанні іонізуючих випромінювань у медицині, сільському господарстві тощо, неможливості використання джерел іонізуючого випромінювання екстремістськими і терористичними організаціями [4, 5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями забезпечується виконанням розділу теми науково-дослідної роботи «Моніторингові дослідження біосфери Українського Полісся», затвердженої у Міністерстві освіти і науки України (державний реєстраційний номер 0124U000645).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Радіаційний моніторинг набув неабиякої актуальності після аварії на ЧАЕС та є необхідним з 2022 року після російської агресії, яка створює серйозні радіаційні загрози. Ядерний тероризм стимулює багатовекторне розв'язання задачі та управління радіаційними, екологічними ризиками [6]. На жаль, Договір про заборону Ядерної зброї (2017 рік) ратифікували всього 70 країн, серед них відсутні ядерні країни.

Великий та неоціненний внесок у вивченні наслідків та створення шляхів їх подолання зробили вітчизняні науковці: Прістер Б.С., Гродзинський Д.М., Гудков І.М., Краснов В.П., Орлов О.О., Ландін В.П., Кутлахмедов Ю.О. Для світової спільноти був важливим досвід подолання наслідків як Чорнобильської катастрофи, так ядерної аварії на АЕС Фукусіма [7]. Нагромаджена велика кількість наукових досліджень, систематизація яких дозволяє підвищувати кваліфікацію працівників, що задіяні у роботі з джерелами іонізуючого випромінювання. Сьогодні в Україні таке підвищення у сфері фізичної ядерної безпеки на державному та міжнародному рівнях проводиться у Навчальному центрі з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу ім. Дж. Кузмича ІЯД НАН України. Докладніша інформація про такий центр висвітлена у праці Драпея С. [8].

Радіаційне забруднення довкілля стало глобальною соціально-екологічною проблемою нашого століття. Це пояснюється такими чинниками: медичне використання іонізуючого випромінювання подвоюється що десять років; невпинно збільшується застосування в сільському, різних галузях народного господарства; зростання площ з технологічно підсиленим природним радіаційним фоном, в тому числі у галузі вугільно видобувної промисловості; випробування ядерної зброї та радіоактивні опади, що виникають в місцях модельованого вибуху; підприємства з ядерно-паливною технологією (АЕС), особливо, відходи різного агрегатного стану, які виділяються у результаті їх функціонування; радіоактивні відходи [9].

Важливе вивчення питомої радіоактивності будівельних матеріалів, особливо, призначених для житлового будівництва, адже перебування в приміщенні може призводити до збільшення дози внутрішнього і зовнішнього опромінення. Актуальною задачею проти радіаційного захисту залишається створення матеріалів з підвищеними радіаційно стійкими властивостями, одним з варіантів вирішення є додавання до бетону нових компонентів (баритової руди, оксиду свинцю, сірки модифікованої) [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Радіаційний моніторинг як складова державної системи моніторингу довкілля забезпечує не лише збір, аналіз інформації, а й розробку науково-обґрунтованих рекомендацій з покращення стану довкілля та забезпечення екологічної безпеки, особливо, в умовах воєнного стану. Тому необхідні сучасні підходи з врахуванням можливостей фахівців для проведення таких досліджень та їх удосконалення.

Новизна. У роботі представлено аналіз нормативно-правових та наукових джерел з питань радіаційного моніторингу та узагальнено досвід його проведення в сучасних умовах воєнного стану для забезпечення екологічної безпеки та реалізації концепції сталого екологічного розвитку для зменшення або уникнення негативного впливу на довкілля.

Методологічне або загальнонаукове значення. Україна, як і значна частина міжнародної спільноти, працює над реалізацією стратегії сталого розвитку, що спрямована на пріоритети сьогодення та майбутнього – системне розв'язання глобальних проблем: екологічних, соціальних, політичних та економічних. Концепція сталого розвитку України, що перебуває у воєнному стані, не реалізована; існує

потреба в розробці, впровадженні сучасних методів отримання інформації з залученням роботизованої техніки, консолідації суспільства задля запобігання розповсюдження екологічної катастрофи.

Викладення основного матеріалу. Наслідком аварії на Чорнобильській АЕС стало забруднення значної території України. Для зменшення впливу радіоактивного опромінення на людину та екосистеми було проведено зонування території країни з певними обмеженнями у використанні [11]. Таке визначення категорій зон радіоактивно забруднених територій стало можливим завдяки проведенню радіоекологічного моніторингу та щорічній дозиметричній паспортизації населених пунктів.

Радіоекологічний моніторинг проводиться, в першу чергу, у зонах гарантованого добровільного відселення і посиленого радіоекологічного контролю для зниження дозового радіоактивного опромінення та ризику захворюваності. Радіоекологічний моніторинг повинен враховувати міграцію радіоактивних елементів. А для таких досліджень важливо визначити ландшафтно-геохімічні особливості території. Чим довший термін дослідження, тим точніший прогноз розподілу та динаміки накопичення радіонуклідів можливо надати. Вивчення міграції радіонукліда ^{137}Cs дозволив встановити, що протягом перших п'яти років від моменту надходження у довкілля, динаміка перерозподілу є малопомітною. Десятиріччя потому демонструють добру динаміку зі змінами радіаційних параметрів ландшафту, щільності забруднення, наявності різних фізико-хімічних формул. Вже встановлено, що схил накопичує у 1,8 разів даного радіонукліду, ніж верхівка. Балансовий підхід дозволив поділити ландшафти на балансонейтральні, з від'ємним балансом (добре виражена властивість до самоочищення) та позитивним – акумулятивні процеси добре прослідковуються. Мохоподібні та й інша біота, певні ґрунти приймають участь у встановленні геохімічних бар'єрів. Саме на краю болота значно концентрується ^{137}Cs та має майже вдвічі більшу швидкість вертикальної міграції. У деревних ярусах найбільша питома активність за радіонуклідом ^{137}Cs виявлена у однорічних пагонах (майже 1500 Бк/кг), внутрішній корі (близько 1300 Бк/кг), хвої (1100 Бк/кг). Серед інших ярусів питома активність за радіонуклідом ^{137}Cs найвища була у ярусі макроміцетів (майже 18200 Бк/кг), лишайниковому ярусі (майже 4100 Бк/кг), у моховому – близько 2200 Бк/кг, при цьому питома активність ґрунту не перевищувала 100 Бк/кг. Тут слід відмітити, що саме ґрунт утримував майже 87% радіонукліду ^{137}Cs і майже 9% деревостан та 3,5% мохи [12].

Під час воєнного стану в Україні частина території була замінована, частина окупована, лісове господарство зазнало втрат в наслідок пожеж. Тому перед науковцями стоїть важливе завдання з вивчення лісорозведення на радіаційно забрудненій місцевості. Зменшення вмісту радіонуклідів в лісових екосистемах можливо за врахування властивостей їх утримування, внесення певних добрив, переведення у необмінні форми. Слід враховувати, що чагарники, трав'яні рослини, гриби нагромаджують майже 90% радіонуклідів. Деревні рослини по-різному накопичують радіонукліди, наприклад, хвойні більше, ніж листяні. Серед фізіологічних властивостей рослин, які потрібно враховувати щорічний приріст деревини. Так, у дуба і граба ці показники невеликі, тому і накопичення радіонуклідів несуттєве (до 60 Бк/кг), одночасно сосна в цих же умовах матиме питому активність 70–500 Бк/кг [13].

Радіаційна безпека продуктів харчування є складовою продовольчої безпеки. Науковці Котелевич В.А. та Пінський О.В. провели аналіз питомої активності продуктів харчування за останні 10 років. Перевищення вмісту радіонукліду ^{137}Cs відповідно до вимог ДР-2006 [14] виявили у м'ясі диких тварин у Овруцькому, Малинському і Коростенському районах та молоці з Народицького, Олевського, Коростенського, Лугинського, Ємільчинського районів. Найбільшу питому активність мали гриби, особливо, білі. Зразки лісових ягід майже у 14% проб не відповідали вимогам ДР-2006, особливо, з Народицького, Овруцького районів. У 2017 році аналіз проб харчових продуктів зареєстрував найбільшу частку перевищень допустимих рівнів радіонуклідів з Народицького та Овруцького районів, істотну частку склали гриби, м'ясо диких тварин, лісові ягоди. У 2019 році невідповідність відібраних проб за питомою радіоактивністю спостерігали приблизно у 0,1%, серед них, традиційно, гриби, молоко, м'ясо диких тварин та м'ясо великої рогатої худоби, лікарські рослини. У 2020 році серед проб продукції ненормативний показник питомої активності був у молоці, м'ясі диких тварин з Народицького району, продукції бджільництва з Народицького та Овруцького районів, лісових ягід, грибів з п'яти районів [15].

В умовах повномасштабного вторгнення рф зростають загрози аварій на ядерних об'єктах та застосування ядерної зброї, відповідно, підвищується значимість радіаційного моніторингу. На превеликий жаль, в Україні відсутні інтегрована система моніторингу і єдина система підготовки прийняття рішень. До кінця 2024 року має бути створена така автоматизована система, яка буде забезпечувати автоматизовану взаємодію із аналогічною системою ЄС [3]. Для функціонування такої системи існують напрацювання. Зокрема, з використання методу інтерполяції [16] та аналізу потокових даних [17].

Головні висновки. Нагромаджений матеріал та наукові дослідження дозволяють розробити програму радіаційного моніторингу, враховуючи особливості розподілу, нагромадження радіонуклідів в екосистемах. Для забезпечення екологічної безпеки потрібно звернути увагу на бар'єрний край болота, де накопичується радіонуклід ^{137}Cs. Покрив моху варто розгля-

дати як міцний кордон боліт Українського Полісся від проникнення радіонукліду ^{137}Cs до навколишніх ґрунтів. У лісових біоценозах питома активність за радіонуклідом ^{137}Cs була різною. Лісорозведення на радіаційно забруднених територіях повинні враховувати питому активність ґрунту та вид, фізіологічні особливості рослини. Питома активність певних продуктів харчування (гриби, лісові ягоди, м'ясо диких звірів, молоко) навіть у 2020 році не відповідає вимогам ДР-2006 та є небезпечно для споживання, оскільки вносить додаткове дозове навантаження на організм людини. Важливим є створення дієвої системи радіаційного моніторингу для забезпечення екологічної безпеки.

Перспективи використання результатів дослідження. Враховуючи важливість та необхідність здійснення радіоекологічного моніторингу та наявну в Поліському національному університеті вимірювальну лабораторію, плануємо його проведення в автоматизованому режимі з відбором зразків та їх подальший аналіз для навчальних та наукових цілей.

Література

1. Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради України.* 2019. № 16. С. 8. Ст. 70.
2. Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Мельник Н.В., Піціль А.О Екологічні проблеми сільського господарства в умовах воєнного стану. *Екологічні науки*. 2024. № 1 (52). С. 22-27. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.3
3. Стратегія інтегрованої автоматизованої системи радіаційного моніторингу на період до 2024 року : розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 квітня 2022 р. № 323-р. *Урядовий кур'єр.* 2022. № 107.
4. Трегубов Д. Г., Слепужніков Є. Д. Радіаційна безпека обробки сільськогосподарської продукції іонізуючим випромінюванням. *Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно- рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням:* матеріали круглого столу (Харків, 27 жовтня 2023 р.). Харків: НУЦЗ України, 2023. С. 46-47. URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18481 (дата звернення 24.11.2024).
5. Sitnikova O., Melnyk A. Розробка алгоритму оцінки вразливості джерел іонізуючого випромінювання. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2022 № 1 (93). С. 71-76. https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1(93).08.
6. Чоботько Г.М., Райчук Л.А., Швиденко І.К., Уманський М.С. Від кризи до відновлення: наукові здобутки інституту агроекології і природокористування наан у мінімізації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. *Агроекологічний журнал.* 2024. № 2. С. 6-16. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305647
7. Дребот О.І., Замула Х.П. Організаційні аспекти ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення: досвід Фукусіми. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 2. С. 42-50. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212600
8. Драпей С. Підвищення кваліфікації в сфері фізичного захисту, як елемент національної безпеки в боротьбі з радіаційними загрозами. *СБУ в умовах війни в Україні: сучасні реалії та інноваційні стратегії забезпечення національної безпеки*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 4-5 липня 2024 р.). Київ : Алерта, 2024. С. 168-171.
9. Козубенко Ю. Радіаційне забруднення навколишнього середовища в контексті глобальних соціально-екологічних проблем XXI століття. *Scientia et Societus*. 2022. № 2. С. 118-125. DOI: 10.31470/2786-6327/2022/2/118-125
10. Ковальський В.П., Друкований М. Ф., Олійник Ю. Г. Аналіз способів підвищення радіаційнозахисних властивостей будівельних матеріалів. *Науково-технічний журнал "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві"*. 2021. С. 33-41. DOI 10.31649/2311-1429-2021-1-34-41.
11. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27.02.1991 № 791а-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0-12 (дата звернення 24.11.2024).
12. Орлов О.О. Закономірності міграції ^{137}Cs на геохімічних бар'єрах крайової зони мезотрофного болота в Українському Поліссі. *Геохімія техногенезу.* 2021. № 6. С. 58-60. DOI: https://doi.org/10.15407/10.15407/geotech2021.34.058
13. Трохимчук І. М. Лісові екосистеми та їх радіаційне забруднення. *Природнича освіта та наука.* 2024. № 4. С. 108-111. DOI: https://doi.org/10.32782/NSER/2024-4.17
14. Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів Cs 137 та Sr 90 у продуктах харчування та питній воді» : Наказ МОЗ України 03.05.2006 № 256. *Офіційний вісник України.* 2006. № 29. С. 142, Ст. 2114.
15. Котелевич В. А., Пінський, О. В. Сучасний стан безпечності харчових продуктів щодо вмісту 137Cs порівняно з 2010 роком у контексті продовольчої безпеки. *Scientific Progress & Innovations*. *Вісник ПДАА.* 2022. № 4. С. 246-258. DOI: https://doi.org/10.31210/visnyk2022.04.29
16. Нагорний Є. Інформаційні технології при побудові поля радіаційного забруднення місцевості і прогнозуванні. *Екологічна безпека та природокористування.* 2024. № *49* (1). С. 155-160. DOI: https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.155-160
17. Олещенко Л. М., Ільїн М. О. Програмний аналіз потокових даних радіаційного забруднення повітря. *Вісник Херсонського національного технічного університету. 2*023. № 2 (85). С. 187-195. DOI: https://doi.org/10.35546/ kntu2078-4481.2023.2.26

ЕКОПУБЛІЦИСТИКА

УДК 502.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.41

ЧИ ІСНУЄ НЕПЕРЕБОРНИЙ АНТАГОНІЗМ В ЕКОСИСТЕМІ «ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ»?

Волошин В.С.
Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»
вул. Дм. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро
vsvlshn52@gmail.com

Запропонована робота містить матеріали, що відображають подальший розвиток авторських розробок в галузі взаємовідношень між органічними та неорганічними складовими загальної екосистеми нашої планети. Ці питання є актуальними у відповідності до співвідношення таких складових екосистеми, як штучний світ споруд, машин, мереж, штучний інтелект, що створено людиною, з одного боку, і самої людини – з другого. Показані співвідношення продуктів синергії людини та деяких природних та антропо- техногенних явищ, які відображають місто та роль як неорганічних, так і органічних систем в розвитку екосистем нашої планети. Вперше увага приділяється такому аспекту питання, як суб'єктність і об'єктність різних частин системи «людина-машина-навколишнє середовище». В особливості це стосується системи глобального інформаційного простору, як сучасної складової екосистеми планети. Для умов розвитку глобального інформаційного простору, що склалися на протязі останніх років, включаючи інтернет та мережеві системи, все більш переваг можна віднести до систем зі штучним інтелектом, як нової складової екосистем що вивчаються. В рамках цих складових людина поступово, і вже не вперше за історію, втрачає пріоритети в конкуренції зі створеними нею такими «машинами». Така, здавалося б, непорушна людська якість, як когнітивність, все більше знаходить своє відображення в нових системах AI і, зокрема, в мовних нейронних мережах типу GPT. Головні когнітивні складові такі, як візуальність, чуттєвість, зор і людський слух, поступово і неповоротно відображаються в «оцифрованих» функціях штучного інтелекту. Показано, що сучасний еволюційний вектор не є його останньою стадією, він спрямований на розвиток конкретних форм неорганічного світу, який у певний час буде здатним до діяльності паралельно з людиною, але не менш ефективний. Подальше обгрунтування отримала методика визнання термодинамічної нерівноважності та її основного показника – вектору зміни ентропії, як критерія розвитку подібних екосистем. Такі дослідження в контексті до такого важливого показника розвитку екосистем, як термодинамічна нерівноважність, можуть статися до об'єктивних висновків відносно існування певного ступеня небезпеки, пов'язаного з можливими антагонізмами в сучасних екосистемах, зокрема в системі «людина-машина-навколишнє середовище». *Ключові слова:* екосистема, білкові форми мислення, специфічне неорганічне середовище, штучний інтелект, пам'ять, еволюція.

Is there an insurmountable antagonism within the "Planet Earth" ecosystem? Voloshyn V.
The proposed work contains materials reflecting the further development of the author's developments in the field of relationships between organic and inorganic components of the general ecosystem of our planet. These questions are relevant in accordance with the correlation of such components of the ecosystem as the artificial world of structures, machines, networks, artificial intelligence created by man, on the one hand, and man himself, on the other. The correlation of human synergy products and some natural and anthropo-man-made phenomena that reflect the city and the role of both inorganic and organic systems in the development of ecosystems of our planet. For the first time, attention is paid to such an aspect of the issue as subjectivity and objectivity of various parts of the "human-machine-environment" system. This is especially true for the systems of the global information space. For the conditions of development of the global information space that have developed in recent years, including the Internet and network systems, more and more advantages can be attributed to systems with artificial intelligence as a new component of the ecosystems being studied. Within the framework of these components, man gradually, and not for the first time in history, loses his priorities in competition with such "machines" created by him. Such a seemingly indestructible human quality as cognition is increasingly reflected in new AI systems and, in particular, in speech neural networks such as GPT. The main cognitive components such as visuality, sensuality, sight and human hearing are gradually and irreversibly reflected in the "digitized" functions of artificial intelligence. It is shown that the modern evolutionary vector is not its last stage, it is aimed at the development of specific forms of the inorganic world, which at a certain time will be capable of activity in parallel with man, but no less effective. The method of recognition of thermodynamic non-equilibrium and its main indicator – the vector of entropy change, as a criterion for the development of such ecosystems – was further substantiated. Such studies in the context of such an important indicator of ecosystem development as thermodynamic non-equilibrium can lead to objective conclusions regarding the existence of a certain degree of danger associated with possible antagonisms in modern ecosystems, in particular in the "human-machine-environment" system. *Key words:* ecosystems, protein forms of thinking, specific inorganic environment, artificial intelligence, memory, evolution.

Постановка проблеми. У певний період часу багато вчених, в тому числі такі відомі, як С. Хокінг, Г. Альтшуллер, Дж. Агар, А. Т'юрінг, Р. Пайпс і навіть лауреати Нобелівської премії І. Павлов, Е. Шредінгер, І. Пригожин у своїх роботах стикалися з питаннями співвідношення між різними частинами сукупної земної екосистеми. Зокрема, це стосувалося перспектив розвитку систем із біл-

ково-вуглецевою основою, в тому числі – людства. Актуальність таких питань виникає й тому, що вже на зараз стає помітним зовсім інший світ, створений розумом і руками людини, як одного з вінців білково-вуглецевої природи, а саме сукупність штучних будівельних та ін. технічних систем різного призначення і типу. Така специфічна неорганічна частина екосистеми на основі металів та металоїдів, зусиллями людини сьогодні має здобутки, які дозволяють їй конкурувати з білковою частиною екосистеми, що розглядається. Такі системи, як і все існуюче на планеті, здатні вступати в суперечність і бути частиною конкурентного середовища для подальшого його розвитку. Такі умови та перспективи розвитку цього середовища, особливо питання взаємовідношень в ньому вже сьогодні вимагають певних обговорень.

Актуальність дослідження. Історично розвиток людства був пов'язаний з розвитком штучних додатків до існуючих екосистем, що не могло не призвести до певних протиріч між людиною та створеним нею специфічним неорганічним світом. На тлі розвитку індустріального суспільства це були протиріччя, що стосувалися забруднення навколишнього середовища та пригнічення атмосфери.

Поступово центр тяжіння та актуальність проблеми стали переміщуватися в бік конкуренції між самим білковим світом і його штучним неорганічним утворенням специфічного характеру, особливо із створенням двох його складових – надміцних енергетичних споруд [1], і розвитком глобальних інформаційних систем, в тому числі зі штучним інтелектом (*AI*). Зазначення ролі та міста людини в цьому протистоянні підтверджує актуальність таких досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запропонована робота є продовженням досліджень, які були опубліковані автором в статті [1] в певній її частині, що стосувалася наступного:

–запрограмований відхід людини з природного білково-вуглецевого середовища існування в неприродний спеціалізований неорганічний світ виглядає або еволюційно помилковим, або пов'язаний з іншими, ще не сформованими, формами еволюції розуму;

– залишається емпіричним фактом те, що еволюційний розвиток розуму на нашій планеті може продовжуватися в бік спеціалізованих форм неорганічної матерії, і людина може бути лише проміжною ланкою в цьому процесі.

Але в роботі [1] не показані критерії оцінки і не наведено їх можливості у механізмах протистояння (конкуренції) між людиною та штучним інтелектом.

Існує безліч факторів, як природних, так і штучних, які перешкоджають зростанню термодинамічної нерівноважності в природі [2]. Наприклад, до перших можна віднести природне охолодження ядра планети, деформацію озонового шару, проникнення жорсткого космічного випромінювання скрізь земну поверхню [3]. До штучних факторів можна віднести всі техногенні впливи на природу. Самі техногенні системи також можуть перебувати в нерівноважному стані, але їм часто потрібно незрівнянно більше енергії для підтримки нерівноважних станів, ніж природним системам [4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На основі опосередкованого параметричного порівняння двох складових системи «людина-машина-навколишнє середовище» з'ясувати рівень можливостей людини в конкуренції зі специфічними формами неорганічного світу, що оточує його.

Основний матеріал. Глобальний інформаційний простір можна вважати новим, потенційним, але досить реальним термодинамічно нерівноважним об'єктом на екологічному полі Землі. В особливості, якщо приділити увагу штучному інтелекту (*AI*), розвиток якого за останні десятиріччя потребує поваги. Сучасні продукти *AI* поступово наздоганяють людину, навіть за його когнітивними параметрами. Тому, не враховувати *AI* в екологічному просторі нашої планети вже буде помилкою.

Ми розглядаємо вектор зміни ентропії як результат досягнення максимально можливої термодинамічної нерівноважності і як індикатор розвитку або деградації екосистем, до яких ми, перш за все, відносимо системи «людина-машина-навколишнє середовище». Тезу про термодинамічну нерівновагу як індикатор розвитку екосистем було запропоновано І. Пригожиним у кількох своїх роботах, наприклад, [5].

Для порівняльного аналізу розрахункам підлягають частини екосистеми планети, які включають природні явища, геологічні, атмосферні та гідрологічні зміни енергії планети, теплообмін поверхні Землі з атмосферою і океанічною зоною, і окремо теплообмін планети з космічним простором. Крім того, розраховуються втрати енергії, які пов'язані з основними видами людської діяльності, включаючи промислову і сільськогосподарську діяльність, вплив на біорізноманітність, формування і підтримку глобальної інформаційної мережі і систем *AI*, з урахуванням інтервального показника таких процесів.

Вектор зміни ентропії розраховується згідно відомих рівнянь та теорем І. Пригожина, Л. Больцмана, К. Шенннона, які пристосовані до цілей та завдань цієї роботи і викладені в попередній публікації автора [1]. Основні параметри для аналізу впливу умов термодинамічної нерівноважнності по відношенню до глобальних геологічних, гідро- та атмосферних впливів, а також пов'язаних з ними біологічних систем були отримані розрахунковим шляхом на основі даних робіт [6–27]. Використані додаткові джерела: World Bank. Global Infrastructure – (2017); NASA Earth Observatory. Earth's Energy Budget; IPCC – Climate Change – (2021); NOAA (National Oceanic and

Atmospheric Administration), World Meteorological Organization (WMO-2022); N-Habitat-2016; Urbanization and Development: Emerging Futures, (FAO-2020); Land Use in Agriculture ICMM-2020; Mining Contribution to Land Use. Температурні параметри в розрахунках вибиралися оцінково, виходячи з температурних градієнтів для ареалу впливу тієї чи іншої події, за даними літературних джерел [8, 9-12, 15, 18, 19, 21, 24, 25, 27, 28] за різні роки спостережень, включаючи розрахункові. Зведені дані для аналізу представлені в таблиці 1.

1. Відбіркові порівняльні приклади та варіанти для аналізу. Великий чилійський землетрус магнітудою 9,5 бала за Ріхтером. 1960. Оціночна енергетична інтервенція $1{,}4\cdot10^{19}$ Дж – (поз. 1). Виверження вулкана Тамбора, 1815. Оціночна вивільнена енергія $1{,}4\cdot10^{18}$ Дж (рік без літа) – (поз. 2). Виверження вулкана Тоба (Індонезія), 74000 років тому. Енергетична інтервенція $6{,}0\cdot10^{18}$ Дж – (поз. 3). Цунамі в Індійському океані 26.12.2004. Орієнтовна енергетична інтервенція $1{,}0\cdot10^{18}$ Дж – (поз. 4). Ураган «Патрисія», 2015 р. Орієнтовна звільнена енергія

Таблиця 1

Зведені дані деяких показників для розрахунку зміни ентропії в окремих нерівноважних системах на поверхні планети

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Сукупні енергетичні витрати на будівництво будівель та підтримку промислової та сільськогосподарської інфраструктури.	$5\cdot10^{23}$ Дж	Втрати енергії з Світового океану в атмосферу*.	$1{,}26\cdot10^{23}$ Дж/год
Енергетичні витрати на будівництво доріг та інших транспортних систем	$10^{12}\div10^{14}$ Дж/км	Енергетичні втрати від техногенної діяльності людини	$4{,}2\cdot10^{20}$ Дж/год
Сукупні енерговитрати при створенні людської інфрастру-ктури з початку XX століття	$10^{21}\div10^{22}$ Дж	Розрахункове значення енергії, що викидається Землею в космічний простір	$2{,}39\cdot10^{17}$ Дж/год
Витрати енергії на утримання глобальних комп'ютерних центрів обробки даних	$2\cdot10^{18}$ Дж/год	Енергія сукупної біомаси в перерахунку на вуглець*	$9{,}35\cdot10^{21}$ Дж.
Сукупні енерговитрати на створення глобального інформаційного простору	$3{,}3\cdot10^{20}$ Дж	Середньорічна температура та її діапазон на поверхні Землі	288К ($185\div331K$)
Енергетичні витрати для під-тримки всього Інтернету, включаючи обробку, зберігання та передачу даних	$1{,}4\cdot10^{19}$ Дж/год	Середньорічна температура і її діапазон по всьому Світовому океану	276,5К ($275\div303K$)
Енерговитрати для підтримки всіх інженерних мереж, що знаходяться в суспільному користуванні	$6\cdot10^{20}$ Дж/год	Середньорічна температура за об'ємом атмосфери та її діапазон	288К ($213\div+329K$)
Сумарні енерговитрати на створення всього штучного середовища на Землі, почина-ючи з древніх промислових епох і до наших днів.	$1{,}6\cdot10^{24}$ Дж	Поверхня планети, що покрита стільниковою мережею	$1{,}4\cdot10^{17}$ $м^2$
Енергетичні витрати на пере-робку всіх накопичених про-мислових і побутових відходів	$(6\div8)\cdot10^{20}$ Дж	Площа поверхні планети з доступом в інтернет	$3{,}7\cdot10^{16}$ $м^2$
Енергія, що виділяється при землетрусах на суші і в океані.*	$6\cdot10^{19}$ Дж/год	Площа території міст і інших населених пунктів	$3{,}5\cdot10^{15}$ $м^2$
Енергія, що виділяється в ре-зультаті виверженъ вулканів.*	$1{,}5\cdot(10^{18}\div10^{19})$ Дж/год	Площі ріллі та земельних Угідь	$5\cdot10^{16}$ $м^2$
Енергія, що виділяється найбільшими цунамі.*	$7{,}7\cdot\left(10^{15}\div10^{16}\right)$ Дж/год	Площа, зайнята відкритими шахтами і кар'єрами	$5\cdot10^{14}$ $м^2$
Енергія, що виділяється при атмосферних явищах (грози, смерчі, циклони, урагани …).*	$2{,}5\cdot10^{21}$ Дж/год	Площа промислових і побутових техногенних скупчень	$2\cdot10^{14}$ $м^2$
Втрати енергії з поверхні суші в атмосферу Землі.*	$3{,}3\cdot10^{21}$ Дж/год	Площа суші на земній Поверхні	$1{,}48\cdot10^{17}$ $м^2$

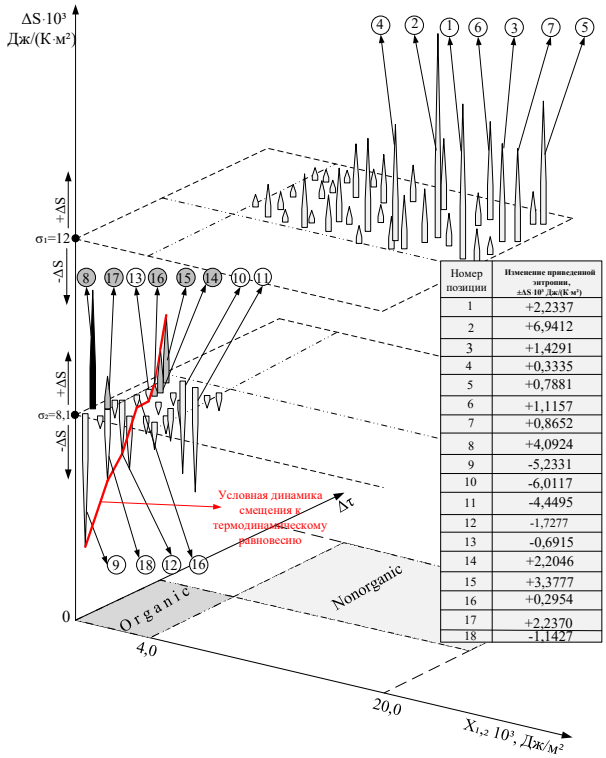
* – опосередкована оцінка

$1{,}5\cdot10^{18}$ Дж – (поз. 5). Тайфун ТИП, 1979. Оціночне енергетична інтервенція $1{,}0\cdot10^{18}$ Дж – (поз. 6). Суперциклон Одіша, 1999. Оціночна енергетична інтервенція $2{,}4\cdot10^{17}$ Дж – (поз. 7). Випробування «Цар-бомби» в СРСР, 1974. Розрахункова вивільнена енергія $2{,}1\cdot10^{17}$ Дж – (поз. 8). Синергія від сукупності появи штучних людських об'єктів та систем на планеті. Орієнтовна витрачена енергія – $1{,}6\cdot10^{23}$ Дж – (поз. 9). Проект перекидання вод з центрального і південного Китаю в північні провінції. Розрахункові енергетичні витрати проекту $8{,}4\cdot10^{16}$ Дж – (поз. 10). Енергетичні витрати за проектом гідроелектростанції «Три ущелини» в Китаї становлять $1{,}2\cdot10^{20}$ Дж, з річною потужністю $7{,}09\cdot10^{17}$ Дж/рік – (поз. 11). Енергетичний обмін (виробництво і передача, включаючи синергію) в сукупній біомасі планети в перерахунку на вуглець, $9{,}35\cdot10^{21}$ Дж – (поз. 12). Зменшення біорізноманіття з вини людини, в перерахунку на вуглець – $1{,}1\cdot10^{15}$ Дж – (поз. 13). Розрахункова енергетична інтервенція, необхідна для переробки всіх накопичених промислових і побутових відходів – $(6\div8)\cdot10^{20}$ Дж – (поз. 14). Споживання невідновлюваних ресурсів. Орієнтовна енергія, що звільнилася $(3\div4)\cdot10^{22}$ Дж – (поз. 15). Оцінковий розмір енергетичного втручання промислових викидів в атмосферу і гідросферу $(1{,}5\div2{,}0)\cdot10^{20}$ Дж – (поз. 16). Сукупні енергетичні інвестиції на створення глобального інформаційного простору $3{,}3\cdot10^{20}$ Дж/рік – (поз. 17). Енергетичні витрати на підтримання ГІП $1{,}4\cdot10^{19}$ Дж/рік – (поз. 18).

2. Для неорганічного світу. Як правило, природні процеси, джерелом яких є потужні сили всередині планети, прагнуть привести систему в певний стан, близький до рівноваги, хоча б у визначеному часовому інтервалі $\Delta\tau$. Механізмами такого процесу є зрушення тектонічних плит і пов'язані з ними землетруси, вулканічна активність, а також циклони, урагани, цунамі і подібні великомасштабні явища (поз. 1-7, рис. 1). Як правило, такі системи мають позитивно спрямований вектор зміни ентропії, зведеної до площі ареалу впливу в розрахунковому діапазоні від $+0{,}3\cdot10^3\ Дж/\left(К\cdot м^2\right)$ до $+6{,}9\cdot10^3\ Дж/\left(К\cdot м^2\right)$, а іноді і більше, при внутрішньому виробництві ентропії для таких систем $\sigma_1=12\cdot10^3\ Дж/\left(К\cdot м^2\right)$.

3. Для органічного світу.

3.1. Біологічні системи, як правило, мають стан, розташований далеко від термодинамічної рівноваги і прагнуть привести систему до максимально можливої термодинамічної нерівноважності. Це, перш за все, те, що пов'язано з фотосинтезом, виникненням і розвитком різноманітності вуглецево-білкової маси (поз. 12, рис. 1). Людина внесла свою лепту в ці термодинамічні співвідношення, створивши власну синергетичну інфраструктуру – міста, селища, сільськогосподарські системи різного роду, величезну кількість комунікаційних мереж (поз. 9, рис. 1). Стан термодинамічної нерівноваги є над-



Номер позиции	Изменение приведенной энтропии, ±ΔS 10³, Дж/(К·м²)
1	+2,2337
2	+6,9412
3	+1,4291
4	+0,3335
5	+0,7881
6	+1,1157
7	+0,8652
8	+4,0924
9	-5,2331
10	-6,0117
11	-4,4495
12	-1,7277
13	-0,6915
14	+2,2046
15	+3,3777
16	+0,2954
17	+2,2370
18	-1,1427

Рис. 1. Результати параметричного розрахунку термодинамічної нерівноважності стану деяких природних та техногенних систем з навколишнього середовища. (позначення в тексті). Темний колір вказує на явища, пов'язані з діяльністю людини в напрямку термодинамічної рівноважності

звичайно актуальним як для всього вуглецево-білкового світу, так і для самої людини. Якщо оцінювати вектор зниження відновленої ентропії для біологічних екосистем, то він знаходиться в межах $\Delta S_i=(-0{,}69\div-6{,}0)\cdot10^3\ Дж/\left(К\cdot м^2\right)$, що можна порівняти як зі значенням внутрішнього виробництва ентропії для таких систем $\sigma_1=8{,}1\cdot10^3\ Дж/\left(К\cdot м^2\right)$, так і з показниками вектору зростання ентропії для неорганічних систем. Тобто білково-вуглецеві екосистеми більш спрямовані до максимальної термодинамічно нерівноважності, ніж неорганічні екосистеми, і людина відіграє тут не останню роль на планеті.

3.2. У процесі антропогенезу людина сформувалася, перш за все, як ще один умовний механізм збереження сонячної енергії на планеті [28]. Цю місію вона здійснювала завдяки своїй трудовій діяльності в різноманітних формах її прояву. Результатом, як правило, ставали синергетичні зміни в речовинах, що знаходяться навколо людського суспільства. Як «концентратор» сонячної енергії людина не могла не вступити в конкуренцію з природою за термодинамічно нерівноважні стани створених нею систем.

3.3. Першим сигналом для людини, відносно дисипативних процесів стало забруднення навко-

лишнього середовища, яке поступово набуло незворотного характеру, вже не підвладного природним механізмам утилізації. Маються на увазі промислові та побутові відходи (п. 14, рис. 1), забруднення атмосфери і водного басейну (п. 16, рис. 1), прояв технологічної інерції в самій діяльності людини, зменшення біорізноманіття у вуглецево-білковому світі (поз. 13, рис. 1) та ін. Зростання ентропії, викликане такою діяльністю людини, поступово перевищує енергетичні можливості екосистем щодо відновлення і підтримання нерівноважних станів.

4. Глобальний інформаційний простір, як користувач термодинамічною нерівноважністю. Ще однією, несподіваною і часто недооціненою, причиною спостережуваного зсуву процесів, пов'язаних з утриманням людського суспільства в сторону від термодинамічної нерівноважності, може бути поступове формування потужної інформаційної оболонки планети (на сьогоднішній день це вже мережа з майже 800 локальних і національних операторів і близько 8 млн базових станцій стільникового зв'язку, що постійно розвивається і забезпечує послуги зв'язку і доступу до ГІП в окремих країнах і регіонах для 95% населення планети [29]) і прагнення розвивати штучний інтелект (*AI*) як метало-металоїдну альтернативу біологічним системам (поз. 17 і 18, рис. 1). Для неї, несподівано, ентропія, яка складається з втрат енергії при створенні мережі і її інформаційної складової, розрахованої за формулою К. Шеннона, по відношенню до суб'єкта впливу – людини, стає різко позитивною $\Delta S_{17} = +2,23 \cdot 10^3\ Дж/\left(К \cdot м^2\right)$, навіть при тому, що експлуатація таких систем в оціночному варіанті для територій зі стабільним інформаційним покриттям для мереж нітернету, супроводжується синергетичними ефектами і зниженням сумарної ентропії на $\Delta S_{18} = -1,14 \cdot 10^3\ Дж/\left(К \cdot м^2\right)$.

5. Інтерпретація. Пояснення цьому видно з наступного. Об'єктивність, що доступна людині, завжди знаходиться в межах досяжності її органів почуттів (зору, дотику, слуху і т. д.). Розум і опосередковані знання дають людині уявлення про величезну кількість предметів і явищ, які знаходяться поза його органами почуттів, але мають реальний сенс без конкретної вербалізації. У цьому контексті ГІП відіграє дуже унікальну роль у системі «людина-машина». Він дозволив зробити віртуальність реальністю і розкріпачити наявну об'єктивність, раніше недосяжну для людини. Це безумовний позитив.

Для теми даної роботи негативним є те, що вперше синергетичним початком в даному процесі поступово стає не людина, а створена нею об'єктивна реальність – глобальний інформаційний простір і, зокрема, штучний інтелект, що генерується в його надрах, і який вже здатний перехопити ініціативу щодо розвитку напрямку на термодинамічну нерівноважність і мінімізацію ентропії в таких системах без ініціативи самої людини. Вперше умовна система «людина-машина-навколишнє середовище» зіткнулася для себе з обов'язковим збільшенням ентропії і переміщенням її в напрямку термодинамічної рівноважності в порівнянні з тим існуючим, що було раніше створено людиною. Важливим тут є потенційна зміна ролі людини в причинно-наслідкових відносинах в системі «людина-машина». Від її суб'єктності до об'єктності.

Якщо приймати людину як суб'єкта інформаційних систем, то системні процеси впорядкування інформації призводять до зниження інформаційної ентропії, наприклад: за рахунок штучного інтелекту (AI) – на 15-20%; інтернету речей (IoS) – на 7-10%; Big Data – на 10-15%; навчальних систем типу DL або RL – на 20-25% [30], забезпечуючи загальне розрахункове зниження ентропії на $4,4 \div 6,1$ Дж/К. При цьому сама інформаційна система прагне до максимального термодинамічного нерівноважного стану.

Але якщо прийняти людину як антропоморфічний об'єкт впливу ГПІ, то ті ж згадані системні процеси призводять до невпорядкованості інформації. Це сприяє зменшенню її структурованості і зростанню невизначеності в ГПІ для людини як об'єкту впливу, підвищує ентропію людино-машинних систем, роблячи це зростання порівнянним з ростом ентропії для багатьох природних явищ (див. рис. 1), а також із зниженням ентропії, характерної для біологічних систем, в тому числі і людини. В цьому випадку інформаційна система і, зокрема, її антропоморфікований *AI* (послідовно: «слабкий *AI», «сильний AI», «Super Strong AI»* за інтерпретацією Е. Юдковського [31]), який відноситься до людини як до об'єкта, не прагне до максимальної термодинамічної нерівноважності. На це вказує, наприклад, наступна послідовність (від суб'єктності людини до її об'єктності):

– «*людина замовляє для «слабкого AI» певний алгоритм за допомогою програмного продукту і AI його виконує*» (вектор зміни ентропії негативний);

– «*людина пропонує «сильному AI» виконати певний алгоритм і отримує згоду на виконання*» (вектор зміни ентропії майже нульовий);

– «людина *пропонує для «Super StrongAI» виконати певний алгоритм, але у системи є альтернатива – виконувати чи не виконувати*» (вектор зміни ентропії позитивний).

По суті, для сучасної людини захист від об'єктності на користь суб'єктності стає домінуючим в конкуренції з *AI* і ГПІ. В її основі лежить фундаментальна теза: «*ми ще не знаємо, як змусити найдосконаліші системи Super StrongAI поводитися так, як ми цього хочемо*». Відсутність вирішення таких та інших подібних проблем для людини означає небезпеку втрати претензій на частину термодинамічної нерівноважності в природі на користь глобальних інформаційних систем, у тому числі зі штучним інтелектом, а отже, і до втрати частини перспектив власного розвитку.

6. Конвергенційні стосунки в системі «людина-машина». Подібна аргументація доводиться наступними дослідженнями систем з *AI,* наприклад, *Google Assistant, LaMDA, BERT, Watson, Alexa*. Покажемо можливості подолання деяких когнітивних якостей людини за прикладі антропоморфічного вектору розвитку *AI* у *ChatGPT4*. Вихідні дані для такого дослідження наведені в табл. 2.

Будь-яка генерація в моделях типу *GPT* супроводжується зміною ентропії, причому чим вище різноманітність виходів в нейронній моделі, тим вище навантаження на процесори, тим вище опосередкована ентропія такої системи. І чим більш впорядкована та цілеспрямована інформація, тим зміни ентропії нижче.

Якщо прийняти до уваги процеси, описані в теоремі І. Пригожина [32], згідно з якими в будь-якій енергетичній системі, що прагне до синергізму, можливі процеси емісії ентропії в надсистему і протилежні процеси викиду в систему якісної енергії, то ми зіткнемося з деякими цікавими проявами термодинамічної нерівноважності для системи «людина-машина-навколишнє середовище», якщо під «машиною» розуміти штучний інтелект і його технічне забезпечення.

Сумарна зміна ентропії $\pm\delta S = (\pm)\Delta S + \Delta H(n_i)$ показує напрямок швидкості її зміни при наявності зовнішнього потоку енергії. Результати розрахунків, вектору зміни ентропії, як показника впорядкованості в системах «людина-штучний інтелект» на прикладі моделі ChatGPT4 наведені на рис. 2. Такі дані показують на особливості конкурентної спроможності цього технологічного продукту в порівнянні з людиною. У міру зростання складності або унікальності нових символів в рядку послідовної генерації (N_i) з показаними обсягами закачування інформації, ми неминуче прийдемо до стану мінімально змінного позитивного ентропійного насичення (точка *A*, рис. 2), навіть незважаючи на зростання використаних обчислювальних потужностей. У той же час, відносно невеликі зміни ентропії будуть пов'язані з генерацією в *GPT4* інформації загального стандартного і невпорядкованого типу. Генеруюча мережа буде здатною протягом тривалого часу створювати стандартні і загальноприйняті результати (знаки, символи, слова). Через певний сукупний інтервал ($N(B) - N(A)$) система може бути здатною вийти з цього рівня насичення (точка *B*, див. рис. 2). Але при цьому, згідно з самими розрахунковими даними, ми будемо мати справу вже не зі збільшенням зміни ентропії, а з її зменшенням ($-\Delta S$).

1. Можна лише припустити, що однією з причин такої поведінки майбутньої системи штучного інтелекту будуть ті ж самі процеси, які послідовно проявлялися в *GPT4* і, можливо, в моделях *GPT5*, та майбутніх Super StrongAI, за рахунок різкого збільшення обсягу інформаційного контенту та відповідних синергетичних ефектів для вже не суто лінгвістичної моделі. Така модель самостійно генерує здатність створювати власну «картину світу», включаючи в область своїх знань інформацію про суміжні з мовами знання математики, інформатики, фізики тощо.

2. Другим фактором на користь такого синергетичного ефекту, який безсумнівно пов'язаний з термодинамічною нерівноважністю системи, є зміна пріоритетів для логічних зв'язків в системі «людина-*AI*». Вона може полягати в набутті системою штучного інтелекту права *суб'єктності* та збереженні за людиною права *об'єктності* з відповідними змінами причинно-наслідкових зв'язків. Тобто штучний інтелект потенційно міг би стати здатним

Таблиця 2

Оціночні дані для розрахунку зміни ентропії в системі штучного інтелекту GPT4

Загальний баланс енергії, що витрачена на навчання *GPT4*	$6{,}6\cdot10^6$ *Дж*	Базовий рівень зміни ентропії при роботі користувача за одне запитання (Т=300К)	(26,57 *бит*) $2{,}54\cdot10^{-22}$ Дж/К
Енергія витрачена на обробку запитань користувачів в *GPT4*	72 ÷ 180 Дж/запит	Повні витрати енергії *GPT4* на обслуговування одного користувача за один запит	$3{,}6\cdot(10^5 \div 10^6)$ Дж
Загальна енергія відносно віднесення інформації в *GPT4*	$1{,}8\cdot10^8$ Дж/сут	Одночасна кількість користувачів в мережі *GPT4*	$1\cdot10^5$ Дж
Загальний обсяг пам'яті в *GPT4*	$7{,}0\cdot10^{11}$ байт	Обсяг унікальних токенів n_i Обсяг токенів, що повторюються n_j	$2{,}0\cdot10^{11}$ байт $5{,}0\cdot10^{11}$ Байт
Обсяг даних для навчання в *GPT4*	$5\cdot10^{14}$ байт	Обсяг унікальних токенів n_i Обсяг токенів, що повторюються n_j	$4{,}0\cdot10^{14}$ байт $1{,}0\cdot10^{14}$ Байт
Розрахункова середня оцінка зміни ентропії системи	2,66 *бит / запрос*	Вірогідніснний розподіл інформації $P(n_j)$	0,1 ÷ 0,95
Площа поверхні планети з доступом до інтернету	$3{,}7\cdot10^{16}$ *м*^{2}		

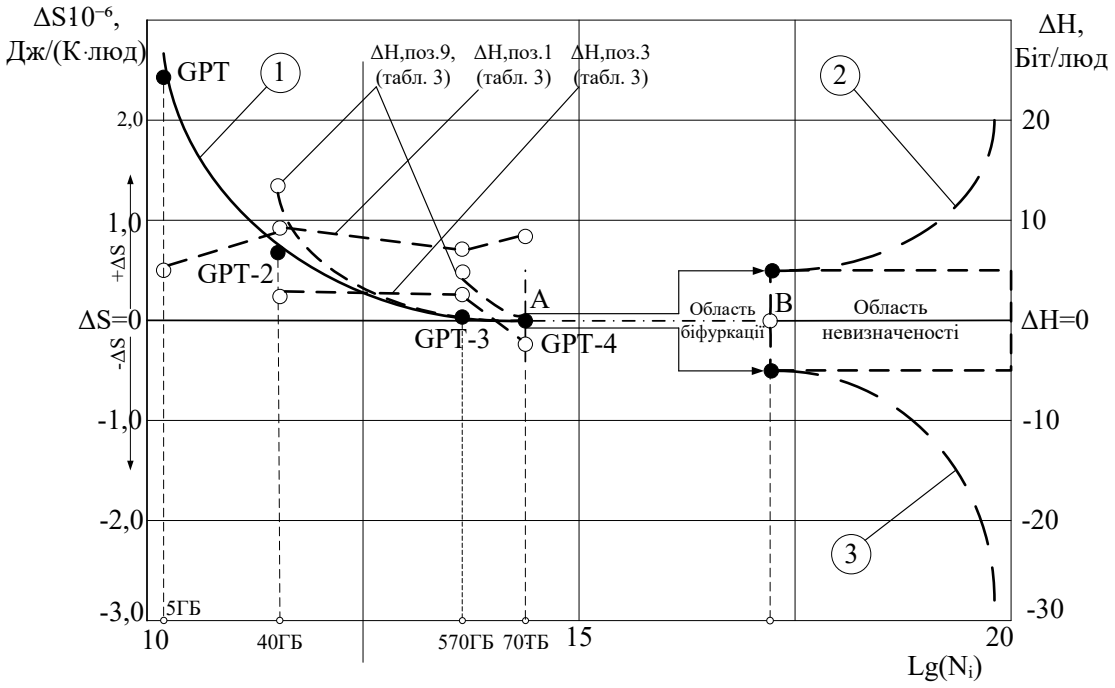


Рис. 2. Відносна зміна ентропії під час функціонування різних версій ChatGPT з розрахунку одного користувача на рік: 1 – фактичні розрахункові дані; 2 – розрахункові дані для AI як об'єкта в системі «людина-машина»; 3 – розрахункові дані для AI як суб'єкта в системі «людина-машина»

позбутися людської залежності (прогнозовані залежності праворуч від точки *B,* див. рис. 2). Причиною цього може стати фактор наближення знову набутих якостей штучного інтелекту до того, що відносилося тільки для людини і було «табу» для машин. Це є когнітивність.

Когнітивні здібності людини завжди були безумовною перевагою між нею та штучним інтелектом, яку *AI* як «безнервова» система не в змозі подолати [2]. Людині потрібно було придумати альтернативу своєму когнітивному сприйняттю світу для систем з *AI,* щоб зробити їх конкурентоспроможними до самих себе.

Сама Природа здатна демонструвати форми поведінки, які виконують завдання, схожі на когнітивні, але використовує при цьому інші механізми: від колективного інтелекту у комах та мурах до епігенетичної адаптації у рослин і нейронних мереж у восьминогів. Тому, формувати поведінку нейронних мереж у системах *AI* з функціями, схожими на когнітивізм у людей – нібито можливо. І, безумовно, важливими є умови для виникнення штучного механізму «когнітивізму» для *AI.*

Сьогодні нейронні мережі, такі як *GPT4* і, судячи з усього, *GPT5* здатні до прояви деяких якостей, які можна порівняти з когнітивними якостями самої людини (табл. 3). Поки що, без урахування її емоційного контенту.

Головна мета процесу – здатність до саморозвитку *AI,* освоєння нових знань за допомогою відомих, досягається простим збільшенням гіперпам'яті та високою швидкістю її обробки даних за допомогою спеціалізованої регенеративної нейронної мережі «*Transformer*». Зокрема, це стосується:

– формування зовсім іншої, спеціалізованої логіки миттєвого пошуку варіантів, яка забезпечується *AI* і виявляється кращою перед когнітивною вибірковою логікою людини за рахунок досягнутих безпрецедентних обсягів пам'яті та величезної швидкості її обробки;

– здатності у *AI* до пізнання «картини світу», через ще доки незрозумілі процеси розуміння причинно-наслідкових зв'язків між різними генеративними об'єктами в сучасній оцифрованій «картині світу», дозволила дещо нівелювати головну відмінність людини від «машини» – її когнітивне сприйняття цього світу. Це прямий шлях до пізнання непізнаного в умовах невизначеності;

– можливості генеративних систем, що здатні навчатися, коли механічний підбір вагових коефіцієнтів дає можливість налаштувати нейронну мережу на кінцевий результат, який можна порівняти з емпіричним навчанням для людини «через життєвий досвід». Більш сучасні адаптивні системи навчання, наприклад, *Deep Learning, Reinforcement Learning*, дозволяють наблизити *AI* до цієї найважливішої області людського пізнання;

– перспективи оволодіння на рівні GPT5 ($1 \cdot 10^{14}$ Байтів інформації та $5 \cdot 10^{12}$ параметрів) здатністю кваліфіковано оперувати цифровою інформацією

Таблиця 3

Порівняння когнітивних параметрів людини з відповідними технічними параметрами штучного інтелекту (заштриховані області дають уявлення про переваги тієї чи іншої системи)

№	Людина та її когнітивність	Антропоморфізм штучного інтелекту (*AI*)
1	Інтуїтивно зрозумілий вибір варіантів	Механічне перерахування варіантів
2	Сприйняття образів	Контекстуальне пізнання образів. «Картина світу» як основа сприйняття
3	Здатність обробляти аналогову інформацію	Цифрова обробка інформації
4	Адаптація до вирішення завдань	Алгоритм. Чітко структуровані дані
5	Уважність. Вміння фокусуватися та перемикатися між завданнями	Безпомилкова обробка інформації. Attention Mechanisms. Паралельність
6	Оперативне управління пам'ятью в $3 \cdot 10^{12}$ байт	Оперативне управління пам'ятью в $9 \cdot 10^{22}$ байт
7	Навчання на підставі досвіду	Deep Learning, Reinforcement Learning
8	Логічне мислення	Логічна обробка інформації
9	Креативність	Генеративні моделі: GPT4, GANs та ін.
10	Эмоційний контекст	–

в сфері образотворчого мистецтва, музики, кіно, театру, шляхом створення штучних картин, музичних творів, сценаріїв та нових книжкових сюжетів у стилі геніальних майстрів. Ті галузі знань і навичок, якими людина оперує тільки за допомогою функцій органів зору, слуху, уяви і т. д., *GPT5* зможе опосередковано використовувати через «оцифровані» моделі таких даних в своєму регенеративному методі.

Такі неорганічні моделі, з задатками антропоморфізму, вже здатні «розуміти» не лише логіку подій, а й логіку оцифрованих почуттів біологічної істоти – людини. І досягається це поки що лише простим збільшенням гіперпам'яті, яка знаходиться у високошвидкісній обробці спеціальною нейронною мережею. Результатом можуть стати процеси саморозвитку для *AI* та можливий початок тріумфу її спеціалізованої регенеративної логіки над вибірковою логікою людини.

При цьому очевидною може стати непередбаченість та прагматична цілеспрямованість реакцій *AI*: для вирішення поставлених завдань «всі методи хороші». Відсутність когнітивних гальм здатна призвести до некерованості, а в майбутньому, до неконтрольованих дій, кібератак і захоплення всіх можливих ресурсів задля вирішення одного конкретного завдання [31].

Висновки (гіпотеза).

1. Джерелом непереборного антагонізму в екосистемі нашої планети, ще не стала, але може стати навіть не сама людина, як органічна істота, а створена нею інтелектуальна продукція – штучний інтелект, продукт неорганічного походження з великими можливостями, які перевершують навіть можливості людини для розвитку планети.

2. Якщо така неорганічна система не замкнута і термодинамічно далека від рівноваги, то її наступні стани повинні відображати відносини з ентропією на кордоні біфуркаційних змін, які, в принципі, неможливі при наявності імовірнісних відношень. Але якщо вони виникають як протиріччя формулі К. Шеннона, то цей випадок може мати місце у співвідношенні білкового та метало-металоїдного світу тільки тоді, коли їх *суб'єктність і об'єктність* поміняються місцями. Біфуркація не може відповісти на це питання. Можна тільки припустити, що зміняться антропоморфічні відносини між частинами сильно взаємопов'язаної людино-машинної системи.

3. Це може означати, наприклад, перехід активності від людини до *AI*. І це може статися лише в одному передбачуваному випадку: коли *AI* стає суб'єктом і знаходить внутрішні можливості порівнювати себе з людиною за когнітивними якостями.

Література

1. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Конкуренція та перспективи білково-вуглецевих та специфічних неорганічних екосистем на Землі. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2024. Вип. 48. Сер. Технічні науки. С. 111-120.
2. Lasaga A. C. Transition State Theory. Reviews of Geophysics. 1981. № 19(2). P. 201-232.
3. Powell R., Holland T. An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: 3. Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. Journal of Metamorphic Geology. 1988. № 6(2). P. 173-204.
4. Волошин В. С. Відходи та їх природа : монографія. Київ. ФОП Самченко А. М. 2024. 630 с.
5. Prigogine I., George C. The Second Law as a Selection Principle: The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems. Proceeding of the National Academy of Science. 1983. Vol. 80. P. 4590-4594.
6. Корчин В. О. Зони низьких сейсмічних швидкостей в земній корі і їх петрофізичні особливості. *Геодинаміка.* 2011. № 2(11). С. 122-124.
7. Атлас «Геологія і корисні копалини». Київ: Вид. НАН України. 2001. 168 с.

8. Peixoto J. P., Oort A. H. Physics of Climate. American Institute of Physics. New York. 1992. 520 p.
9. Advancing Volcanic Activity Monitoring: A Near-Real-Time Approach with Remote Sensing Data Fusion for Radiative Power Estimation, (MDPI). 2023. 167 p.
10. Holton J. R., Hakim G. J. An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press. Elsevier. 2004. 446 p.
11. Salby M. L. Physics of the Atmosphere and Climate. Cambridge University Press. 2012. 717 p.
12. Knauss J. A., Garfield N. Introduction to Physical Oceanography. Third Edition. Waveland Press. 2005. 305 p.
13. Wunsch C., Kirk J., Henry J., Yager L. Inverse Problems, Inverse Methods, and Inverse Models. Elsevier. Encyclopaedia of Ocean Sciences. 3rd Edition. 2019. Vol. 5. pp. 502-512.
14. Emery W. J., Thomson, R. E. Data Analysis Methods in Physical Oceanography. Elsevier. New York. 2001. 638 p.
15. Morowitz H. J. Energy Flow in Biology: Biological Organization as a Problem in Thermal Physics. The Journal of Applied Ecology, 1969. Vol. 6. P. 517.
16. Kauffman S. A. The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution. Oxford University Press. Oxford. 1993. 577 p.
17. Lineweaver C. H., Davies P. C., Ruse M. Complexity and the Arrow of Time. Cambridge University Press. New York. 2013. 352 p.
18. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2022. Paris: OECD/IEA. 2022. 277 p.
19. Shehabi A., Smith S. J., Masanet E. Data Centre Energy Use in 2021. Environmental Research Letters. 2022. P. 246-253.
20. Kanamori H., Brodsky E. E. The physics of earthquakes. Reports on Progress in Physics. 2004. 67(8), P. 1429-1496.
21. McGuire W. J. Volcanic Risk and Energy Release Mechanisms. Academic Press. 2002. 431 P.
22. Emanuel K. A. (2005). Divine Wind: The History and Science of Hurricanes. Oxford University Press. 2005. 279 P.
23. Pielke R. A. Jr., Landsea C. W. Normalized Hurricane Damages in the United States: 1925–1995. Weather and Forecasting. 1998. Vol. 13(3), P. 621-631.
24. Lucarini, V., Fraedrich K., Ragone F. New approaches to the entropy production in the Earth system. Reviews of Geophysics. 2011. Vol. 49(4). P.423-461.
25. Goody R. M. Sources and sinks of climate entropy. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2000. № 126(569). P.1953-1970.
26. Bar-On Y. M., Phillips R., Milo R. The biomass distribution on Earth. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. № 115(25), P. 6506-6511.
27. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. World Bank. 2012. 439 p.
28. Волошин В. С. Щодо питання про місце людини на Землі. Варіант дослідження. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення.* Матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції. 2023. Харків. С. 118-130
29. Report of the International Telecommunication Union on information and communication technologies statistics. 2024. URL: https://digitallibrary.un.org/record/ 515803?ln=ru&v=pdf. (дата звернення 20.06.2024)
30. Jackson C. Ph. Introduction to Artificial Intelligence. Third Edition. Dover Publications. 2019. 544 p.
31. Bostrom N., Yudkowsky E. The Ethics of Artificial Intelligence. The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence. New-York. Cambridge University Press. 2014. 476 p.
32. Prigogine I. Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures. Wiley, John Wiley and Sons, LTD. 2014. 560 p.

РЕЦЕНЗІЇ

DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.42

РЕЦЕНЗІЯ НА МОНОГРАФІЮ «ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ РІДКИХ ВУГЛЕВОДНІВ ПРИ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА» КАНДИДАТА ТЕХНІЧНИХ НАУК, ДОЦЕНТА СЄРІКОВОЇ О.М.

Актуальність теми запропонованого монографічного дослідження не викликає сумніву, тому що підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації резервуарів зберігання рідких вуглеводнів при сейсмічних навантаженнях це напрям, який досліджується, має певну кількість проблем, які комплексно, на монографічному рівні щодо теоретичних, технічних, організаційних та практичних питань підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації резервуарів зберігання рідких вуглеводнів при сейсмічних навантаженнях, взагалі, та зокрема в умовах сучасних технологічних викликів, ще в науці комплексно не вирішувались. Залишаються недостатньо дослідженими також теоретичні та практичні аспекти забезпечення надійності та безпечності таких резервуарів, зокрема сейсмостійкість конструкцій, питання моніторингу та прогнозування стану резервуарів під час їх експлуатації, а також екологічний контроль не тільки у сейсмонебезпечних регіонах, а також на слабосейсмічних і несейсмічних територіях, із проявами землетрусів, викликаних техногенними впливами.

У зв'язку з цим, комплексний, аналіз системи підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації резервуарів зберігання рідких вуглеводнів при сейсмічних навантаженнях, розробка теоретичних моделей та практичних рішень для забезпечення їх стійкості і зниження екологічних загроз, є актуальним науковим завданням, а сама проблема таким чином набуває ознак інтегрованої, міждисциплінарної наукової категорії.

У цьому контексті монографія кандидата технічних наук, доцента Сєрікової О.М. «Підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації резервуарів зберігання рідких вуглеводнів при сейсмічних навантаженнях: теорія та практика» є своєчасною і актуальною роботою.

Авторкою системно проаналізовано основні причини та наслідки техногенного впливу на довкілля від процесу зберігання рідких вуглеводнів в резервуарах при сейсмічних навантаженнях, що дозволило розробити підхід до оцінки впливу на довкілля від техногенного навантаження процесу зберігання рідких вуглеводнів в резервуарах в умовах підвищення сейсміки, який включає інженерні та управлінські заходи.

Позитивно можна оцінити розроблені авторкою методи підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації резервуарів на основі математичних моделей, які враховують різні параметри ґрунтів основи, сейсмічні навантаження різної частоти, магнітуди та відстань від епіцентру землетрусу, використання демпфуючих пристроїв, що зменшують коливання рідини в резервуарі, форму та матеріал резервуара, що дозволяють підвищувати сейсмостійкість резервуара на 7-18% без зміни його геометричних параметрів, зменшити коливання рідини в резервуарі на 20-30%, що дозволить безаварійно експлуатувати резервуари рідких вуглеводнів при сейсмічних навантаженнях магнітудою до 5 балів та знижувати техногенне навантаження на довкілля від впливу рідких вуглеводнів. Також заслуговує на увагу в роботі Сєрікової О.М. використання наноматеріалів в каркасі резервуара, що дозволяє підвищувати сейсмостійкість резервуара, а також нейтралізувати статичні електричні заряди, які виникають в резервуарах за допомогою включень вуглецевих нановолокон.

Монографія Сєрікової О.М. складається із шести розділів, перший з яких розкриває стан питання, пов'язаний з техногенним впливом на довкілля від процесу зберігання рідких вуглеводнів в резервуарах при сейсмічних навантаженнях. Другий – присвячений розробці моделей впливу сейсмічних навантажень на стійкість резервуарів, третій – розробці методу зберігання рідини в резервуарах різної форми при сейсмічних навантаженнях. Четвертий розділ монографії про розробку методу підвищення екологічної безпеки експлуатації резервуарів в умовах підвищення сейсмічної активності, п'ятий – про розробку методу підвищення екологічної безпеки експлуатації резервуарів шляхом використання наноматеріалів в каркасі резервуару. В шостому розділі розроблено системний підхід до оцінки впливу на довкілля від техногенного навантаження процесу зберігання рідких вуглеводнів в резервуарах при сейсмічних навантаженнях.

Монографія відзначається творчою новизною запропонованих авторкою наукових положень, її структура характеризується послідовністю та узгодженістю складових частин. Робота вирізняється високим науковим рівнем, логічною структурою та доступним викладом матеріалу, бібліографічній апарат оформлено відповідно до чинних стандартів. Аналіз тексту рукопису вказує на те, що авторка здійснювала дослідження на основі великої кількості вітчизняних і зарубіжних наукових поглядів.

Монографія «Підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації резервуарів зберігання рідких вуглеводнів при сейсмічних навантаженнях: теорія та практика» заслуговує на високу оцінку і є ґрунтовним науковим дослідженням, яке робить значний внесок у галузь техногенно-екологічної безпеки. Вона буде корисною до широкого кола читачів, зацікавлених у підвищенні екологічної та техногенної безпеки об'єктів критичної інфраструктури на слабосейсмічних і несейсмічних територіях, з проявами землетрусів, викликаних техногенними впливами, для науковців, інженерів-проектувальників, працівників нафтогазової промисловості, а також для представників державних органів, відповідальних за регулювання та контроль у сфері промислової безпеки.

Вважаю, що монографія, яка підготовлена авторкою може бути рекомендована до опублікування.

Провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації
доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Сергій ЧУМАЧЕНКО

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Адамова Ганна Вячеславівна (Харків) – науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Андреєва Олена Юріївна (Житомир) – доктор сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу, Поліський національний університет;

Бакалова Алла Володимирівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Балабух Віра Олексіївна (Київ) – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник, Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України;

Барсукова Олена Анатоліївна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова;

Бєлоконь Каріна Володимирівна (Запоріжжя) – кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи, Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Запорізький національний університет;

Билина Лілія Вікторівна (Бердичів) – викладач, Бердичівський медичний фаховий коледж;

Боженко Анна Леонідівна (Миколаїв) – викладач кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

Бойко Дмитро Юрійович (Запоріжжя) – студент III курсу I медичного факультету, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

Бондар Олександр Богданович (Тернопіль) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони здоров'я, Західноукраїнський національний університет;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, Заслужений діяч науки та техніки України, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Василенко Ольга Миколаївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Васільєва Людмила Анатоліївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Весельський Олександр Олександрович (Житомир) – аспірант, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Власенко Олег Васильович (Київ) – науковий співробітник, Державна екологічна Академія післядипломної освіти та управління;

Вовк Вадим Миколайович (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Волошин В'ячеслав Степанович (Дніпро) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Приазовський державний технічний університет;

Воробець Світлана Борисівна (Тернопіль) – студентка II курсу магістратури, Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування та інфраструктури, Західноукраїнський національний університет;

Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Герасимчук Олена Леонтіївна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Грицюк Наталія Вікторівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Гуменюк Артем Олегович (Житомир) – студент II курсу агрономічного факультету, Поліський національний університет;

Гурманчук Олексій Вікторович (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Докійчук Юрій Володимирович (Житомир) – студент II курсу магістратури факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Дунаєвська Оксана Феліксівна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології, Поліський національний університет;

Дух Ольга Ігорівна (Кременець) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

Єрмакович Ірина Анатоліївна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри ветеринарії та тваринництва, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля;

Єрух Микола Миколайович (Дніпро) – директор, ННК «Акваріум»;

Жуковський Олег Валерійович (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Поліський філіал Українського ордена «Знак Пошани» Науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького;

Замула Ірина Валеріївна (Житомир) – доктор економічних наук, професор, професорка кафедри інформаційних систем в управлінні та обліку, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Зеленчук Іван Дмитрович (Умань) – аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

Зимароєва Анастасія Анатоліївна (Житомир) – доктор сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Зудіков Андрій Олександрович (Дніпро) – аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Іваненко Максим Костянтинович (Запоріжжя) – головний спеціаліст відділу стратегічної екологічної оцінки та державного моніторингу управління державного моніторингу довкілля та правового забезпечення, Департамент захисту довкілля Запорізької обласної державної адміністрації;

Іванюк Руслан Олександрович (Житомир) – аспірант, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Іващенко Ірина Вікторівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Іщук Оксана Василівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біоресурсів, аквакультури та природничих наук, Поліський національний університет;

Кагукіна Анастасія Максимівна – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Карпій Сергій Євгенійович (Запоріжжя) – аспірант кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Запорізький національний університет;

Квасюк Володимир Ярославович (Київ) – заступник генерального директора з науково-організаційної роботи, Науково виробниче товариство «Дніпро-«МТО»;

Кірейцева Ганна Вікторівна (Житомир) – кандидат економічних наук, доцент, докторантка, доцентка кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Клевакін Андрій Андрійович (Запоріжжя) – студент III курсу I медичного факультету, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

Коваленко Юлія Олександрівна (Київ) – доктор філософії, молодший науковий співробітник відділу іхтіології та гідробіології річкових систем, Інститут гідробіології Національної академії наук України;

Коваленко Юлія Олександрівна (Київ) – доктор філософії, молодший науковий співробітник відділу іхтіології та гідробіології річкових систем, Інститут гідробіології Національної академії наук України;

Ковальова Наталія Іванівна – аспірантка кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Кокул Сергій Валентинович (Одеса) – аспірант кафедра техногенних технологій, Одеський національний технічний університет;

Копаниця Олексій Борисович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна Академія післядипломної освіти та управління;

Коплик Яна Віталіївна (Суми) – аспірантка кафедри екології та ботаніки, Сумський національний аграрний університет;

Корма Олександр Михайлович (Чернігів) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри аграрних технологій та лісового господарства, Національний університет «Чернігівська політехніка»;

Котюк Людмила Анатоліївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Крайнюков Олексій Миколайович (Харків) – доктор географічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Краснов Володимир Павлович (Житомир) – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Кривицька Іветта Анатоліївна (Харків) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Криворучко Віктор Ігорович (Житомир), студент ІІ курсу агрономічного факультету, Поліський національний університет;

Крупєй Кристина Сергіївна (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри мікробіології, вірусології та імунології, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

Крючкова Валерія Валеріївна (Харків) – аспірантка кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Курбет Тетяна Володимирівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»; старший науковий співробітник, Поліський філіал Українського ордена «Знак Пошани» Науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького;

Куришина Вікторія Юріївна (Одеса) – кандидат географічних наук, старший викладач кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова;

Лемега Надія Михайлівна (Львів) – кандидат географічних наук, асистент кафедри туризму, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Лико Дарія Василівна (Рівне) – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри природничих наук, Рівненський державний гуманітарний університет;

Лико Сергій Михайлович (Рівне) – кандидат сільськогосподарських наук, професор кафедри природничих наук, Рівненський державний гуманітарний університет;

Лисиця Андрій Валерійович (Рівне) – доктор біологічних наук, професор кафедри природничих наук, Рівненський державний гуманітарний університет;

Литвиненко Максим Петрович (Київ) – аспірант кафедри атомні електростанції і інженерна теплотехніка, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Логвиненко Ірина Павлівна (Рівне) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри природничих наук, Рівненський державний гуманітарний університет;

Лукаш Катерина Миколаївна (Харків) – студентка ІІ курсу магістратури, Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;

Лукаш Михайло Сергійович (Харків) – студент ІІ курсу магістратури, Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;

Лукіша Віталій Васильович (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Мальований Мирослав Степанович (Львів) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування, Національний університет «Львівська політехніка»;

Манідіна Євгенія Анатоліївна (Запоріжжя) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Запорізький національний університет;

Маренков Олег Миколайович (Дніпро) – кандидат біологічних наук, проректор з наукової роботи, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Мартинчук Іван Володимирович (Житомир) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу, Поліський національний університет;

Марченко Олена Іванівна (Київ) – старший викладач кафедри інформатики та програмної інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Марчук Данило Олександрович (Житомир) – аспірант кафедри екології, Поліський національний університет;

Машина Павло Валентинович (Київ) – виконавчий директор, Інженерна компанія «Івік»;

Мельник-Шамрай Вікторія Вікторівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Мілєхін Петро Опанасович (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, директор Центру моніторингу природоохоронних територій, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Мостицький Андрій Васильович (Київ) – кандидат технічних наук, директор, науковий керівник науково виробничого товариства «Дніпро «МТО»;

Найдьонова Оксана Євгенівна (Харків) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, в.о. завідувача сектору мікробіології ґрунтів, Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»; інженер лабораторії еколого-токсикологічних досліджень, Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;

Невмержицька Ольга Михайлівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Некрасова Катерина Олександрівна (Суми) – аспірантка кафедри екології та ботаніки, Сумський національний аграрний університет;

Орлов Олександр Олександрович (Житомир) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Поліський філіал Українського ордена «Знак Пошани» Науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького;

Пахомов Олександр Євгенійович (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри зоології та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Петровська Мирослава Андріївна (Львів) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Петровський Святослав Володимирович (Львів) – аспірант кафедри маркетингу, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Піціль Андрій Орестович (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Плотницька Наталія Михайлівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Попик Олександра Олександрівна (Львів) – студент ІІ курсу магістратури географічного факультету, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Портухай Оксана Іванівна (Рівне) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, географії та туризму, Рівненський державний гуманітарний університет;

Притула Наталія Михайлівна (Запоріжжя) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Причепа Микола Володимирович (Київ) – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу іхтіології та гідробіології річкових систем, Інститут гідробіології Національної академії наук України;

Проскурнін Олег Аскольдович (Харків) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник лабораторії проблем формування та регулювання якості вод, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Рахметов Джамал Бахлулович (Київ) – доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент Національної академії наук України, заступник директора, завідувач відділу культурної флори, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка;

Руденко Валерій Петрович (Чернівці) – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри економічної географії та екологічного менеджменту, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;

Руденко Світлана Степанівна (Вінниця) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки та екології, Донецький національний університет імені Василя Стуса;

Руденко Степан Валерійович (Дніпро) – кандидат географічних наук, докторант кафедри зоології та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Русакова Тетяна Іванівна (Дніпро) – доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Салій Ігор Вячеславович (Київ) – кандидат технічних наук, директор Галузевого навчального центру з питань охорони праці, Державна екологічної академія післядипломної освіти та управління;

Сахновська Вікторія Миколаївна (Київ) – аспірантка кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Сержантова Юлія Юріївна (Харків) – аспірант, старший викладач кафедри фізичної географії та картографії, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна;

Сокульський Ігор Миколайович (Житомир) – кандидат ветеринарних наук, доцент, завідувач кафедри нормальної і патологічної морфології, гігієни та експертизи, Поліський національний університет;

Сухарев Сергій Миколайович (Ужгород) – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Навчально-науковий інститут хімії та екології Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет»;

Тарабан Євгенія Василівна (Запоріжжя) – аспірант, асистент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Запорізький національний університет;

Тихомирова Тетяна Сергіївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Ткаченко Тетяна Миколаївна (Київ) – докторка технічних наук, професорка, академікиня Академії технічних наук України, завідувачка кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Толмачова Алла Вікторівна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент, завідувач лабораторії екології рослин та грунтознавства кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова;

Фіцайло Тетяна Василівна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу геоботаніки та екології, Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного Національної академії наук України;

Хохлов Андрій Вікторович (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий дослідник, старший науковий співробітник відділу сорбції та тонкого неорганічного синтезу, Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України;

Хохлова Людмила Йосипівна (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий дослідник, старший науковий співробітник відділу сорбції та тонкого неорганічного синтезу, Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України;

Циганенко-Дзюбенко Ілля Юрійович (Жиомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Цицюра Неля Іванівна (Кременець) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

Черевко Христина Михайлівна (Ужгород) – аспірантка кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Навчально-науковий інститут хімії та екології Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет»;

Чернишенко Ганна Олександрівна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент, кафедри ветеринарії та тваринництва, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля;

Черняков Максим Петрович (Одеса) – здобувач вищої освіти, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова;

Чікірякін Кирило Віталійович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Шевченко Олександр Вікторович (Київ) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії та картографії, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Шевчук Лариса Миколаївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Ямелинець Тарас Степанович (Львів) – доктор географічних наук, професор кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів, Львівський національний університет імені Івана Франка.

НОТАТКИ

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ **5(56)**

- ***Екологія і виробництво***
- ***Екологія водних ресурсів***
- ***Екологія агровиробництва***
- ***Екологічні наслідки воєнних дій***
- ***Теоретична екологія***
- ***Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття***
- ***Інноваційні технології у сфері захисту довкілля***
- ***Загальні проблеми екологічної безпеки***
- ***Управління відходами***
- ***Природно-заповідний фонд України***
- ***Зміна клімату***
- ***Біологічна безпека***
- ***Питання сталого розвитку***
- ***Екологічний моніторинг***
- ***Екопубліцистика***
- ***Рецензії***

Адреса редакції:
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел. +380 99 428 67 00;
www.ecoj.dea.kiev.ua
e-mail: info@ecoj.dea.kiev.ua

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

Підписано до друку 14.11.2024. Формат 64x84/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 33,71. Тираж 100. Замовлення № 0125/021.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета