

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

6(51)



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2023. – № 6(51). – 258 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

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.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

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

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО	7
Бондар О.І., Риженко Н.О., Четвериков В.В., Коваль С.М., Россоха А.В. Утворення та емісія стійких органічних забруднювачів у чорній та кольоровій металургії України.....	7
Васільсва Л.А., Шевчук Л.М., Герасимчук О.Л. Передумови виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру на території Житомирської області.....	14
Кірейцева Г.В., Хоменко С.В., Устименко В.І., Андрєва О.Ю., Палій О.В. Звітність підприємств зі стійкого розвитку як інструмент розвитку екологічної відповідальності.....	18
Шибанова А.М., Руда М.В., Джумеля Е.А., Панчук П.Г. Відновлення ґрунтового покриву і рослинних угруповань посттехногенних ландшафтів сірчаного кар'єру.....	25
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	33
Valerko R., Herasymchuk L., Patseva I., Pokshevnytska T., Lukianova V. Environmental safety of drinking water supply in rural settlement areas.....	33
Домбровський К.О., Єременко Т.С. Оцінка компонентів екосистеми ставка рибогосподарського призначення.....	39
Копилов В.П., Попович В.В. Аналіз фізико-хімічних досліджень гідрографічної мережі ріки Стир в межах міста Луцьк.....	44
Суходольська І.Л., Ковальова І.В. Вміст сполук нітрогену у воді річки Стубелка та його вплив на фітопланктон.....	50
Улицький О.А., Пашкевич Л.П. Використання штаму мікрободорості <i>Chlorella vulgaris Polikarp</i> для очищення прісних водойм від техногенних забруднень.....	58
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	68
Васенко О.Г., Ієвлева О.Ю., Міланіч Г.Ю., Божко Т.В., Мельніков А.Ю., Клочко Т.О. Результати комплексного екологічного моніторингу довкілля української частини дельти Дунаю у 2022 році.....	68
Васенко О.Г., Карлюк А.А., Черба О.В. Сучасний стан системи моніторингу довкілля в Україні.....	73
ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ	78
Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацева І.Г., Пацев І.С. Землеустрій як інструмент управління земельними ресурсами в умовах екологізації землекористування.....	78
Rudenko S., Rudenko V. Nature-resource potential of natural regions of Ukraine in present-day figures.....	84
БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	90
Боброва М.С., Голодаєва О.А. Особливості зміни стану прооксидантно-антиоксидантної системи тканин насіння <i>Zea mays L.</i> залежно від тривалості зберігання.....	90
Vradii O. Intensity of heavy metal contamination of fodder grain obtained in the conditions of the Right Bank Forest Steppe.....	95
Гришко В.М., Лисенко О.І., Ахмедова В.В. Вплив іонів кадмію, нікелю, хрому та цинку на стійкість гібридів кукурудзи на початку ювенільного етапу розвитку рослин.....	100
Льїна В.Г., Нікітін П.С. Динаміка виносу біогенних елементів з площ, зайятих під зернові та зернобобові культури в умовах Одеської області.....	107
Liashenko O., Khromykh N., Lykholat Yu. Resource potential of the genus <i>Sorbus L.</i> plants as source of metabolites with anti-inflammatory activity.....	113
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	117
Микитась Д.О., Білоус М.А., Полушкін Ю.Ю., Іващенко Т.Г., Гунько С.О., Рець Є.Ю. Розробка системи захисту навколишнього середовища від радіоактивно забруднених матеріалів (на прикладі колишнього ВО «ПХЗ»).....	117
Натяжний Я.М., Лапінський А.В. Екологічні аспекти застосування полігексаметиленгуанідин сукцинату.....	126

Серікова О.М. Підвищення рівня екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин при сейсмічних навантаженнях.....	130
ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ	136
Диняк О.В., Кошлякова І.Є. Потенційна небезпека для довкілля та населення від нафтохімічного забруднення геологічного середовища в наслідок бойових дій.....	136
Спрягайло О.В., Безсмертна О.О., Гаврилюк М.Н., Ілюха О.В., Осипенко В.В., Спрягайло О.А., Шевчик В.Л. Перші кроки до оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду та їхнє біорізноманіття.....	142
ЗМІНА КЛІМАТУ	148
Грабко Н.В., Сафранов Т.А. Особливості біокліматичних умов холодного періоду року на території Одеси.....	148
Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини.....	156
Пічура В.І., Потравка Л.О. Просторово-часові закономірності формування кліматичних умов на території басейну річки Случ.....	160
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	170
Beznosko I., Mudrak O., Havryliuk L., Gorgan T. Exometalobite of the varieties of cultural plants in allelopathic relationships with micromycetes of <i>Fusarium</i> Link Genus.....	170
Гетьман П.А., Фіцайло Т.В. Екологія придорожніх лісосмуг Кіровоградської області.....	175
Гулай В.В. Вплив жуків виду <i>Cerambyx cerdo</i> на стан збереження об'єктів природно-заповідного фонду м. Знам'янка Кіровоградської області.....	180
Іванець О.Р. Фауністична характеристика і таксономічна структура коловерток (<i>Rotifera : Rotatoria</i>) торф'яних боліт Галичини у дослідженнях Людвіга Козара.....	183
Красовський В.В., Черняк Т.В. Слива солодка <i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A.Webb в інтродукційних дослідженнях Хорольського ботанічного саду.....	191
Суслова О.П., Бойко Л.І. Життєвий стан видів роду <i>Acer</i> L. в урбосистемах Степової зони України.....	196
Фіцайло Т.В. Чагарникові угруповання з участю глідів.....	202
ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	207
Кононов О.О. Використання штучного інтелекту в методах біоіндикації та моніторингу антропогенного навантаження на прикладі Chat GPT та MS Copilot.....	207
Хрутьба Ю.С., Пацева І.Г., Хрутьба О.В. Розробка наукових методів дослідження комплексної оцінки використання інформаційних технологій для управління взаємодіями в екопроектах.....	211
ПИТАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	217
Петровська М.А., Петровський С.В. Органічне виробництво в Україні як пріоритетна складова сталого розвитку.....	217
Радкевич В.О., Кравець С.Г., Салій І.В., Радкевич О.П. Сучасні професійні кваліфікації для сталого розвитку зеленої економіки.....	224
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	231
Жицька Л.І., Хоменко О.М., Аліфанова Г.В., Бондаренко Ю.Г. Екологічна оцінка ризиків для довкілля та динаміки використання стійких органічних забрудників у Черкаській області.....	231
Свердленко Д.О., Горбань В.В., Терещенко О.О. Енергетичний аналіз функціонування екосистем м. Запоріжжя.....	241
Снітко Д.І., Золотарьова О.В. Аналіз статистичних показників кримінальних правопорушень проти довкілля за 2018–2022 роки (за матеріалами Офісу Генерального прокурора України).....	245
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	252

CONTENTS

ECOLOGY AND PRODUCTION	7
Bondar O., Ryzhenko N., Chetverykov V., Koval S., Rossokha A. Formation and emission of POPs in ferrous and non-ferrous metallurgy of Ukraine.	7
Vasilieva L., Shevchuk L., Herasymchuk O. Preconditions for the emergence of emergency situations of a natural and technological nature in Zhytomyr oblast.	14
Kireitseva H., Khomenko S., Ustymenko V., Andreieva O., Paliy O. Enterprise sustainability reporting as a tool for developing environmental responsibility.	18
Shybanova A., Ruda M., Dzhumelia E., Panchuk P. Restoration of the soil cover and plant communities of the post-technological landscapes of the sulphur quarry.	25
ECOLOGY OF WATER RESOURCES	33
Valerko R., Herasymchuk L., Patseva I., Pokshevnytska T., Lukianova V. Environmental safety of drinking water supply in rural settlement areas.	33
Dombrovskiy K., Yeremenko T. Assessment of the ecosystem components of recreational and fishery ponds.	39
Kopylov V., Popovych V. Analysis of physical and chemical investigations of the hydrographic network of the Styr river within the city of Lutsk.	44
Sukhodolska I., Kovalova I. The content of nitrogen compounds in the water of river Stubelka and its effect on phytoplankton.	50
Ulytsky O., Pashkevich L. Use of <i>Chlorella vulgaris</i> Polikarp microalgae strain for purification of freshwaters from technological pollution.	58
ENVIRONMENTAL MONITORING	68
Vasenko O., Ievleva O., Milanic G., Bogko T., Melnikov A., Klochko T. Results of integrated ecological monitoring of the environment of the Ukrainian part of the Danube delta in 2022.	68
Vasenko O., Karliuk A., Cherba O. Current state of the environmental monitoring system in Ukraine.	73
ECOLOGY AND ECONOMICS OF NATURAL RESOURCE USE	78
Melnyk-Shamrai V., Shamrai V., Patseva I., Patsev I. Land structure as a land resource management tool in the conditions of ecologization of land use.	78
Rudenko S., Rudenko V. Nature-resource potential of natural regions of Ukraine in present-day figures.	84
BIOLOGICAL SAFETY	90
Bobrova M., Holodaieva O. Features of changes in the state of the prooxidant-antioxidant system of seed tissues <i>Zea mays L.</i> , depending on the duration of storage.	90
Vradii O. Intensity of heavy metal contamination of fodder grain obtained in the conditions of the Right Bank Forest Steppe.	95
Gryshko V., Lysenko O., Akhmedova V. The effect of cadmium, nickel, chromium and zinc ions on the stability of maize hybrids at the beginning of the juvenile stage of plant development.	100
Ilna V., Nikitin P. Dynamics of biogeochemical element removal from areas under grain and legume crops in the Odesa region.	107
Liashenko O., Khromykh N., Lykholat Yu. Resource potential of the genus <i>Sorbus L.</i> plants as source of metabolites with anti-inflammatory activity.	113
ECOLOGICAL SAFETY	117
Mykytas D., Bilous M., Polushkin Yu., Ivashchenko T., Hunko S., Rets Ye. Establishment of a system of environmental protection from radioactively contaminated materials (on the example of former PCHP).	117
Natyazhnyi Ya., Lapinskyi A. Ecological aspects of the application of polyhexamethylene guanidine succinate.	126

Sierikova O. Increasing the environmental safety level of poisonous and flammable liquid storage tanks under seismic loads.	130
ENVIRONMENTAL IMPLICATION OF MILITARY ACTIONS	136
Dyniak O., Koshliakova I. Potential danger to the environment and population from petrochemical pollution of the geological environment as a result of military operations	136
Spriahailo O., Bezsmertna O., Gavrilyuk M., Ilyuha O., Osypenko V., Spriahailo O., Shevchyk V. First steps towards assessing the impact of warfare on the state of nature reserve fund objects and their biodiversity.	142
CLIMATE CHANGE	148
Hrabko N., Safranov T. Bioclimatic conditions for the cold period of the year in Odesa territory.	148
Patseva I., Kahukina A., Lunova O. Climate change trends in the Zhytomyr region.	156
Pichura V., Potravka L. Spatio-temporal patterns of the formation of climate conditions in the Sluch river basin.	160
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	170
Beznosko I., Mudrak O., Havryliuk L., Gorgan T. Exometalobite of the varieties of cultural plants in allelopathic relationships with micromycetes of <i>Fusarium</i> Link Genus.....	170
Hetman P., Fitsailo T. Ecology of roadside protective shelterbelts of Kirovohrad region.	175
Hulai V. The influence of beetles of the species <i>Cerambyx cerdo</i> on the state of preservation of the objects of the nature reserve fund of the city of Znamyanka, Kirovohrad region	180
Ivanets O. Faunistic characteristics and taxonomic structure of rotifers (<i>Rotifera</i> : <i>Rotatoria</i>) of peat swamps of Galicia in the research of Ludwig Kozar	183
Krasovsky V., Chernyak T. <i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A. Webb in the introductory studies of the Khorol Botanical Garden.	191
Suslova O., Boyko L. Vital state of species of the genus <i>Acer</i> L. in the urban systems of the steppe zone of Ukraine.	196
Fitsailo T. Shrub communities with the participation of hawthorns.	202
INNOVATIVE RESEARCH METHODS	207
Kononov O. The use of artificial intelligence in methods of bioindication and monitoring of anthropogenic load on the example of Chat GPT and MS Copilot.....	207
Khrutba Yu., Patseva I., Khrutba O. Development of scientific methods for researching a comprehensive assessment of the use of information technology to manage interactions in eco-projects.	211
THE ISSUE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT	217
Petrovska M., Petrovskiy S. Organic production in Ukraine as a priority component of sustainable development.	217
Radkevych V., Kravets S., Sali I., Radkevych O. Modern professional qualifications for sustainable development of the green economy.	224
GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES	231
Zhitska L., Khomenko O., Alifanova G., Bondarenko Yu. Ecological risk assessment for the environment and the dynamics of the use of persistent organic pollutants in the Cherkassy region.	231
Sverdlenko D., Horban V., Tereshchenko O. Energy analysis of the functioning of Zaporizhzhia ecosystems.	241
Snitko D., Zolotarova O. Analysis of statistical data on criminal offenses against the environment for 2018–2022 (based on the materials of the Office of the Prosecutor General of Ukraine)	245
AUTHORS' CREDENTIALS	252

УТВОРЕННЯ ТА ЕМІСІЯ СТІЙКИХ ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ У ЧОРНІЙ ТА КОЛЬОРОВІЙ МЕТАЛУРГІЇ УКРАЇНИ

Бондар О.І.¹, Риженко Н.О.¹, Четвериков В.В.², Коваль С.М.², Россоха А.В.²

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

²Інститут газу Національної академії наук України
вул. Дегтярівська, 39, 03113, м. Київ
chvvingas@gmail.com, alsko2011@ukr.net

За результатами інвентаризації, проведеної у 2003 році, та експертної оцінки у 2020 році, обсяги емісії стійких органічних забруднювачів (СОЗ) металургійним комплексом становлять близько 90% від загального обсягу емісії СОЗ в Україні. Відповідний внесок до цього обсягу емісії додали агломераційне виробництво та переплавлення металобрухту в електродугових печах.

У праці запропоновані як організаційні, так і технологічні заходи, що дозволять запобігти утворенню та забезпечать ефективне видалення СОЗ в металургійних процесах. Зниженню емісії СОЗ мають сприяти зміни в структурі виробництва сталі з поступовою заміною технологій агломерації залізної руди на технології пряме відновлення заліза. Під час електродугового переплавлення (ЕДП) брухту особлива увага має приділятися контролю за вмістом у металобрухті хлорвмісних компонентів.

Здійснені науково-практичні дослідження підтверджують висновки, що використання вторинної сировини у процесах виплавлення сталі, міді та алюмінію обумовлює значно більші коефіцієнти емісії СОЗ ніж використання вихідної сировини.

Технологічне вдосконалення існуючих виробництв агломерації залізної руди та переплавлення брухту в електродугових печах має здійснюватися з використанням таких ефективних заходів, як рециркуляція газів, здійснення їх внутрішнього або зовнішнього доопалення.

Значна кількість діоксинів може виходити з електродугового процесу разом з пилом в разі застосування сорбентів для його вловлювання. За подальшого перероблення пилу з метою рециклінгу металів, або в разі його додавання до сировини у виробництві будівельних матеріалів необхідно застосовувати технічні рішення, спрямовані на деструкцію/імобілізацію залишків діоксинів. *Ключові слова:* стійкі органічні забруднювачі, агломераційне виробництво, електродугове переплавлення, найкращі доступні методи та практики.

Formation and emission of POPs in ferrous and non-ferrous metallurgy of Ukraine. Bondar O., Ryzhenko N., Chetverykov V., Koval S., Rossokha A.

According to the results of an inventory conducted in 2003 and an expert assessment in 2019, the volumes of persistent organic pollutants (POPs) emissions by the metallurgical complex make up about 90% of the total volume of POPs emissions in Ukraine. Approximately the same contribution to this volume of emissions was made by agglomeration production and remelting of scrap metal in electric arc furnaces.

The article proposes both organizational and technological measures that will prevent the formation and ensure effective removal of POPs from metallurgical processes. Changes in the structure of steel production with the gradual replacement of iron ore agglomeration technologies with direct iron recovery technologies should contribute to the reduction of POP emissions. During electric arc remelting (EDP) of scrap, special attention should be paid to control the content of chlorine-containing components in the composition of scrap metal. The scientific and practical studies carried out confirm the conclusions, that the use of secondary raw materials in the processes of smelting steel, copper, and aluminum results in significantly higher POP emission factors than the use of fossil raw materials.

Technological improvement of the existing production of iron ore agglomeration and remelting of scrap in electric arc furnaces should be carried out using such effective measures as gas recirculation, their internal or external reheating.

A significant dioxin amount may come out of the electric arc process together with dust in the case of using sorbents for its removal. In the further processing of dust for the purpose of metal recycling or in the case of its addition to raw materials in the production of building materials, it is necessary to apply technical solutions aimed at the destruction/immobilization of dioxin. *Key words:* persistent organic pollutants, sinter production, electric arc melting, best available methods and practices.

Згідно з вимогами Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі кожна країна – сторона конвенції, має розробити та реалізувати план дій щодо запобігання або зменшення їх емісії антропогенними джерелами. В Україні за результа-

тами експертної оцінки у 2020 році найбільшими джерелами викидів ПХДД/ПХДФ у повітря були чорна і кольорова металургія – 882,5 г ТЕQ/рік та виробництво теплової та електричної енергії – 144,2 г ТЕQ/рік [1]. Огляд досліджень емісії СОЗ

в світі засвідчує, що в більшості промислово розвинутих країн світу металургія та енергетика також є найбільшими за обсягами джерелами емісії CO₂ [2]. Під час інвентаризації джерел емісії CO₂ за методикою UNEP [3] найбільші коефіцієнти емісії CO₂ зазначені для агломераційного виробництва та виробництва сталі з вторинних ресурсів.

Виробництво агломерату. Агломерація залізної руди визнана одним з головних джерел стійких органічних забруднювачів. Визначено два базових механізми утворення діоксинів в агломераційному виробництві: синтез з прекурсорів і синтез «de novo» [4]. Прекурсорами можуть бути органічні молекули подібні до діоксинів (хлорфеноли, хлордифеніли). Синтез de novo здійснюється у гомогенному середовищі (500 – 800 °C) або гетерогенному середовищі з каталізатором (200 – 400 °C) з макромолекулярного вуглецю або поліциклічних ароматичних вуглеводнів [5]. На кількість утворених діоксинів впливає склад шихти, зокрема, вміст органічних компонентів, сполук хлору та каталізаторів синтезу діоксинів.

У залізних рудах зазвичай містяться невеликі кількості органічних матеріалів. Значна їх кількість може з'явитися при додаванні в шихту металеві стружки, прокатної окалини з залишками мастильних матеріалів та емульсій. З рудою, коксом і флюсами до шихти можуть потрапляти неорганічні сполуки хлору (NaCl, KCl, CaCl) та сполуки міді, що є каталізаторами синтезу діоксинів [6]. З коксовим дріб'язком до шихти можуть потрапляти хлорфеноли і ПХД, які є власне прекурсорами утворення ПХДД/Ф.

Вивчення процесів формування CO₂ під час агломерації залізної руди свідчать, що утворення діоксинів здійснюється головним чином всередині шару агломерату, коли через нього проходять гарячі гази, а також в газоходах на дрібнодисперсних частинках пилу. Отже, щоб мінімізувати утворення ПХДД/ПХДФ процес агломерації має вестися максимально стабільно за такими параметрами як склад шару агломерату, швидкість його переміщення, висота шару; а також має забезпечуватися щільність газоходів та фільтрів.

Під час ідентифікації джерел емісії CO₂ [3] в агломераційному виробництві означені такі класи:

Перший клас передбачає установки з високим використанням відходів, зокрема, металеві стружки з емульсією для різання або іншим хлорованим забрудненням, з обмеженим контролем технологічного процесу, а також з відсутньою або обмеженою системою очищення газів. Для розрахунків використовується коефіцієнт емісії – 20 мг ТЕQ/т.

Другий клас передбачає установки з якісним контролем технологічного процесу, в якому мало використовують відходи, зокрема емульсії. Для розрахунків використовується коефіцієнт емісії – 5 мг ТЕQ/т.

Третій клас включає установки, на яких вжито комплексних заходів щодо контролю за ПХДД/

ПХДФ у відповідності до Керівних принципів з найефективніших доступних методів (НДМ)[4]. Для розрахунків встановлено коефіцієнт емісії 0,3 мг ТЕQ/т.

Щодо інших CO₂, то доведено, що існує висока кореляція між концентраціями в димових газах ПХДД/Ф та 12 діоксиноподібних поліхлорованих дифенілів і це дає підстави припускати, що механізми утворення ПХД і ПХДД/Ф взаємопов'язані [4]. ПХД можуть бути присутніми в агломераційній сировині. Концентрації ПХД в коксового дріб'язку і залізній руді може становити близько 1 – 1,6 мг/т. Більша частина вихідних ПХД руйнується в зоні спікання. Керівним документом щодо ідентифікації та оцінки емісії CO₂ [3] для розрахунків визначені такі коефіцієнти емісії ПХД: для забрудненої шихти 1 мг ТЕQ на тонну агломерату, а для незабрудненої шихти – 0,2 мг ТЕQ на тонну агломерату.

Агломераційне виробництво України. В 2005 році в Україні в експлуатації було 52 агломераційні машин загальною продуктивністю 43600 тис. тон агломерату на рік. У 2021 за даними Держстату України виробництво агломерованого концентрату залізної руди склало 53479300 т [7] Найширшого застосування в Україні набули агломераційні машини стрічкового типу. Аглофабрики України не мають сучасних засобів очищення агломерації газів від CO₂. Частина аглофабрик України використовує мокрі технології очищення аглогазів (труба Вентурі, скруббер-краплевловлювач). Інша частина аглофабрик використовують сухі методи (циклони та електрофільтри) Інколи сухі системи очищення газів вдосконалюються додаванням другої ступені очищення на рукавних фільтрах.

За останні роки спостерігається тенденція до скорочення агломераційних виробництв та їх заміни більш екологічно прийнятними виробництвами котунів та рудного концентрату. Можна прогнозувати, що при відновленні металургійної інфраструктури країни, зруйнованої під час військових дій, агломераційне виробництво замінюватиметься більш сучасними екологічно ефективними технологіями прямого відновлення заліза. Але, зважаючи на економічні чинники, такий перехід не завжди може бути здійсненим швидко. Тому вдосконалення старих виробництв залишається актуальним.

Перш за все, вдосконалення має здійснюватися завдяки більш ретельній підготовці шихти. Зокрема, до зниження утворення CO₂ може призвести заміна, наприклад, коксового дріб'язку антрацитом. Для мінімізації органічних речовин в шихті може застосовуватися сортування, прокалювання або знежирення вторинної сировини. Для придушення каталітичних реакцій на поверхні агломерату до складу шихти можуть додаватись сполуки азоту, зокрема карбамід. Використання карбаміду також мінімізує викиди хлористого та фтористого водню. Згідно з дослідженнями, проведеними у Великобританії [8], додавання сечовини дозволило скоротити утворення

ПХДД/ПХДФ приблизно на 50%. Однак слід врахувати, що такі заходи можуть призвести до збільшення пилу та NO_x в димових газах.

Наступними технологічними прийомами, що можуть призвести до скорочення емісії діоксинів, – це застосування рециркуляції відхідних газів [3] та/або зовнішнього доопалювання. Рециркуляція агломераційних газів знижує викиди діоксинів через їх деструкцію в агломераційному шарі. При цьому скорочуються обсяги димових газів та вміст в них твердих часток, що полегшує подальше очищення газів у системі очищення газів.

В Україні в деяких випадках об'єкти металургії та енергетики знаходяться в єдиному промисловому комплексі і в разі об'єднання систем обробки димових газів в один комплекс можна отримати синергетичний ефект. Зокрема, про це свідчать дослідження, що проводилися у Інституті газу НАН України на початку 80-х років минулого століття, як наслідок, були розроблені технічні пропозиції щодо знешкодження агломераційних газів шляхом подачі їх у топку котлів ТЕЦ, прилеглих до комбінатів «Міттал Стіл» та «Азовсталь». Результатами досліджень була доведена ефективність такого методу для зниження емісії CO , NO_x , SO_x та зменшення витрат на експлуатацію систем очищення газів. Дослідження емісії CO_2 промисловим комплексом на той час не проводилися. Введення аглогазів в топку котла є варіантом зовнішнього доопалювання, але при цьому відсутні капітальні витрати на доопалювач, а є лише незначні витрати на забезпечення транспортування аглогазів до ТЕЦ. Також може бути досягнута економія капітальних витрат на апаратах сіркоочищення через їх використання тільки апаратів за котлами ТЕЦ. Окрім зниження сумарних капітальних витрат забезпечується зниження експлуатаційних витрат: споживання атмосферного повітря котлами ТЕЦ зменшується на 30–40% та витрата палива на ТЕЦ внаслідок надходження додаткового тепла від аглогазів знизиться на 3–5%.

Дослідження підтвердили, що внаслідок введення аглогазів в топку котла в результаті баластування зони горіння інертними компонентами агло-

газів викид оксидів азоту від котлів ТЕЦ можна зменшити у 2 рази.

Основні показники ефективності застосування спалювання аглогазів в топці котла ТЕЦ наведені в таблиці 1.

Для підвищення ефективності видалення діоксинів з відхідних газів агломашин необхідно існуючі системи доповнити засобами сорбційного очищення, зокрема, перед рукавними або електрофільтрами необхідно організувати введення в газовий потік активованого вугілля, бурого вугілля або цеолітів. Системи селективного каталітичного відновлення, які, в деяких випадках, засвідчили високу ефективність видалення діоксинів, для аглогазів з високим вмістом пилу можуть не забезпечити належний каталітичний ефект.

Виробництво чорних та кольорових металів з вторинної сировини в Україні. Використання вторинної сировини для виплавлення сталі, міді та алюмінію обумовлює значно більші коефіцієнти емісії CO_2 ніж використання вихідної сировини.

Переплавлення сталевих брухту та інших залізовмісних вторинних матеріалів переважно здійснюється у електродугових печах. В Україні кількість сталі, що виробляється у електроплавильному виробництві складає понад 7%. Забруднення металобрухту регулюється ДСТУ 4121-2002. «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови». Кількість домішок та мастил в брухті за стандартом має не перевищувати 3–5%.

Під час виробництва вторинної сталі в електродугових печах ПХДД/Ф утворюються за двома механізмами: з прекурсорів, джерелом для яких є органічні сполуки, що присутні в шихті, а також шляхом синтезу de novo за каталітичної участі металів [4]. Для реалізації першого механізму до печі з металобрухтом надходять металева стружка із залишками змащувально-охолоджуючих рідин, лом електричного та гідравлічного обладнання із залишками оливої та інший лом, що був у контакті з хлорорганічними сполуками. Для синтезу de novo джерелом вуглецю можуть бути графітові електроди, слідові кількості хлору можуть бути присутніми в деяких завантажу-

Таблиця 1

Основні показники ефективності застосування спалювання аглогазів в топці котла ТЕЦ

№ п/п	Найменування величин	до подачі аглогазів у котли ТЕЦ	після подачі аглогазів у котли ТЕЦ
	Продуктивність аглофабрики, млн. т /рік	1,9	1,9
	Сумарний обсяг газів, що відходять, від аглофабрики й ТЕЦ, млрд. nm^3 /рік	15,0	9,5
	Сумарний викид від аглофабрики та ТЕЦ, тис. т/рік:		
	пил	4,5	3,0
	окис вуглецю	91,4	11,9
	сірчистий ангідрид	6,0	6,0
	окисли азоту	3,85	1,9

вальних матеріалах і флюсах. В якості каталізатору може виступати низка металів, що надходять з шихтою, а також безпосередньо залізо.

При ідентифікації джерел емісії CO₃ [3] в сталеплавильному виробництві для електродугових печей з попереднім підігрівом брукху і недосконалою системою очищення газів встановлено коефіцієнт викидів діоксинів 10 мг ТЕQ/т сталі, а для комплексів, що мають системи доопалювання та рукавні фільтри він складає вже 3 мг ТЕQ/т сталі. Для електродугового переплавлення металобрукху характерна висока кореляція між концентраціями ПХДД/Ф та 12 конгенерами ПХД [9]. Вірогідність надходження ПХД в процес плавлення разом з шихтою є високою за ймовірного попадання в шихту елементів електротехнічного та гідравлічного обладнання, контактуючого з ПХД.

Керівним документом щодо ідентифікації та оцінки емісії CO₃ [3] для розрахунків викидів ПХД при переплавленні брукху в електродугових печах з доопалюванням та рукавними фільтрами в разі використання забрудненої шихти встановлений коефіцієнти емісії 0,2 мг ТЕQ на тонну сталі.

Найліпші доступні методи запобігання емісії CO₃ в процесах плавлення металобрукху можна поділити на такі, що впливають безпосередньо на базові технологічні операції та ті, що впливають на ефективність видалення CO₃ з продуктів технологічного процесу.

Першочерговими заходами для зменшення емісії діоксинів при електродуговому переплавленні є [10]:

- контроль за складом металобрукху та, за необхідності, його попереднє очищення;
- здійснення внутрішнього або зовнішнього доопалювання відхідних газів.

Останнім часом все більше нових і існуючих електродугових печей обладнані системами попереднього нагрівання брукху відхідними газами з метою підвищення ефективності використання енергії. Попереднє нагрівання брукху призводить до переходу у газову фазу органічних забруднювачів без повного розкладання, які стають прекурсорами утворення ПХДД/Ф. Для запобігання утворенню прекурсорів організовують доопалення газів після підігріву шихти, але додаткова енергія необхідна на доопалення може бути співставною з енергією, використаною на попереднє нагрівання шихти [4].

Для зниження концентрації ПХДД/ПХДФ у викидах до значень менш ніж 0,1 нг ТЕQ/нм³ наведені першочергові заходи мають передбачити й вдосконалення системи очищення газів. Для діоксинів ці заходи полягають у введенні сорбентів перед рукавним фільтром. В якості адсорбенту може використовуватися активоване вугілля, буровугільний кокс. Слід зауважити, що сорбенти не руйнують, а лише видаляють діоксини з димових газів, і проблема їх знешкодження у складі шлаків з систем газоочищення потребує окремого вирішення.

Виробництво вторинної міді в Україні здійснюється переважно у шахтних печах, а для виробництва вторинного алюмінію використовуються відбивні та обертові печі. Для очищення газів використовуються багатоступеневі системи очищення газів, які складаються із скрубєрів, рукавних та електрофільтрів. Поточну емісію CO₃ під час виплавлення вторинної міді та алюмінію оцінити складно за відсутності даних щодо змін в структурі галузі та обсягах виробництва за останній час.

Джерелом прекурсорів для синтезу діоксинів при переплавленні брукху міді та алюмінію є відходи електротехнічних виробів з залишками органічних матеріалів. Утворенню діоксинів сприяють каталітичні властивості міді.

Заходи щодо зменшення емісії діоксинів під час переплавлення вторинної міді та алюмінію такі ж як і у випадку з переплавленням брукху чорних металів [11]:

- контроль за складом металобрукху та, за необхідності, його попереднє очищення;
- здійснення зовнішнього доопалювання відхідних газів або подача кисню у вихідну зону печі.

Вторинними заходами можуть стати, зокрема, введення сорбентів (активоване вугілля) перед рукавними фільтрами та застосування засобів каталітичного розкладання діоксинів.

Феросплавне виробництво. Феросплавні підприємства України у 2021 році виготовили 858,7 тис. т феросплавів. Виробництво феросплавів – це багатостадійний процес, що може мати стадії агломерації та плавлення в електродугових печах. Відповідно під час визначення обсягів емісії діоксинів має бути окреслена можливість їх утворення за розглянутими вище механізмами. Системних досліджень викидів діоксинів у феросплавному виробництві небагато, тому керівні документи з ідентифікації та кількісної оцінки емісії рекомендують використовувати коефіцієнти емісії, визначені для більш досліджених виробництв (виплавка сталі в електродугових печах та спікання агломерату), але базовим чинником залишається ступінь забруднення шихти. Для розрахунку емісії процесів з використанням забрудненої шихти з нескладними системами очищення газів рекомендованим є досить високий коефіцієнт – 100 мкг ТЕQ/ т продукту, а згідно з Висновками щодо найефективніших доступних технологій [12], затверджених рішенням Європейської комісії № 2016/1032 від викиди від 13.06.2016, викиди для печей, що виробляють феросплави, мають бути на рівні $\leq 0,05$ нг I-ТЕQ/нм³.

З трьох найбільших феросплавних заводів України, що використовують електропечі (Нікопольський, Запорізький, Побужський) тільки Запорізький використовує в шихті металеву стружку, що може стати джерелом прекурсорів для утворення діоксинів. Для інших заводів необхідно розглядати механізми синтезу de novo із сполук хлору, які може вмішувати руда.

Емісія CO₂ з продуктами очищення димових газів. Агломераційне виробництво та переплавлення брухту в дугових печах – це не тільки найпотужніші джерела викидів CO₂ в металургії, але й значні джерела емісії CO₂ з пилом та шламами, що видаляються з систем очищення газів. Для 2 та 3 класів агломераційних установок визначені доволі високі коефіцієнти емісії залишками 1 та 2 мг TEQ на тонну агломерату. Для електродугового переплавлення брухту коефіцієнт емісії з шламами становить 15 мг TEQ на тонну сталі. З огляду на це, внесок в емісію діоксинів з викидами та залишками в загальну емісію може бути співставним. Реальна емісія CO₂ із залишками залежить від того, яка частка пилу та шламів спрямовується на подальше перероблення з метою рециклінгу металів, а яка розміщується у шламонакопичувачах. Останнім часом набули розвитку технології, що забезпечують перероблення пилу та шламів з метою рециклінгу заліза та інших металів (цинк, свинець) та скорочення обсягів відходів [13]. Пил з установок електродугового переплаву може мати у своєму складі до 5 мас.% хлору переважно у формі хлоридів лужних металів [14], а також містити вловлені сорбентом діоксини, тому для здійснення таких процесів важливо проаналізувати умови для деструкції та синтезу de novo діоксинів. Технології рециклінгу металів побудовані головним чином на пірометалургійних процесах. У таблиці 2 наведені характеристики базових технологій перероблення пилу електродугових печей.

Головними чинниками, що впливають на можливість емісію діоксинів у наведених процесах, – це температурний режим обробки, спосіб заванта-

ження пилу в зону обробки та наявність холодних зон у робочому просторі печі. Можна припустити, що в процесах з твердим відновленням та більш низькими температурами обробки ефективність деструкції залишків діоксинів буде меншою, ніж у високотемпературних процесах, але нерівномірний розподіл температур у робочому просторі високотемпературної печі може знівелювати таку перевагу. У найбільш розповсюдженому Waelz-процесі є відносно холодні зони обертової печі, де діоксини можуть перейти у газову фазу і покинути піч не досягнувши температури їхньої деструкції. На можливість емісії діоксинів у Waelz-процесі зазначено у праці [15]. Забезпечити проходження газифікованих діоксинів зонами високих температур можна шляхом використання зануреної фурми (наприклад, Ausmelt-процес), або конструкцією самої печі, що не передбачає наявності «холодних» застійних зон, (наприклад, багатоподові печі). розробляючи заходи щодо запобігання емісії діоксинів, у процесах рециклінгу металів з пилу електродугових печей має приділятися особлива увага зазначеним вище чинникам. Для остаточно знешкодження шлаків та летючої золи з процесів рециклінгу металів застосовуються технології іммобілізації залишків шляхом додавання до спеціальних бетонів та оскловування, шляхом виплавлення склоподібних гранул та керамічних виробів [16, 17, 18]. Підвищення ефективності іммобілізації при виготовленні бетонів може досягатися шляхом додавання до вихідної суміші відходів пластику [17], а при вітрифікації – відходів склобою [19]. При оскловуванні летючої золи в суміші зі склобомом у співвідношенні 7:3 за температури 1450 °C було

Таблиця 2

Пірометалургійні процеси рециклінгу металів з пилу електродугових печей [13]

Процес	Тип печі	Температура, °C	Продукти	Масштаб	Енергоефективність	Режим відновлення
Waelz	Обертова піч	1150-1200	ОЦН*, ЗВШ**	Промисловий	Низька	Тверде відновлення
RHF	Піч з оберто-вим подом	1250-1300	ОЦН, ЗПВ***	Промисловий	Низька	Тверде відновлення
PRIMUS	Багатоподова піч	1000-1150	ОЦН, ЗПВ	промисловий	Високий	Тверде відновлення
PIZO	Індукційна піч	1300-1500	ОЦН, чавун, шлак	Промисловий	Високий	Відновлювальне плавлення
Занурена плазма	Плазмовий реактор	1400-1600	ОЦН, рідкий чавун і шлак	промисловий	Низька	Відновлювальне плавлення
OXYCUP	Вагранка	1450-1600	ОЦН, чавун і шлак	Промисловий	Низька	Відновлювальне плавлення
Ausmelt	Піч з зануреною фурмою	1250-1350	ОЦН, рідкий чавун і шлак	Промисловий	Висока	Відновлювальне плавлення
ESRF	Електро-плавильна піч	1400-1600	ОЦН, рідкий чавун і шлак	Промисловий	Низький	Відновлювальне плавлення

* ОЦН – оксид цинку неочищений

** ЗВШ – залізовмісний шлак

*** ЗПВ – залізо прямого відновлення

досягнуто ефективність видалення/деструкції ПХДД/Ф на рівні 91–92% [19].

Гранульовану летюча золу також доцільно додавати в шахту при застосуванні технологій деструкції/оскловування інших токсичних відходів. Зокрема, в Україні є технології та обладнання для знешкодження небезпечних відходів у розплавах з використання доменного шлаку шляхом іммобілізації токсичних компонентів відходів у склоподібної матриці [20]. Технологія продемонструвала високу ефективність у знешкодженні 20%-порошкових препаратів ДДТ та шлаків, що містять важкі метали. Варто очікувати, що додаючи до шихти летючої золи та шлаків така технологія забезпечить високу ефективність деструкції/іммобілізації стійких органічних забруднювачів.

Висновки

1. Експертна оцінка підтвердила, що найбільший внесок в емісію СО₂ металургійним комплексом України додають агломераційне виробництво та переплавлення металобрухту в електродугових печах.

2. Базовим організаційним засобом скорочення емісії СО₂ агломераційним виробництвом в Україні – це перехід на альтернативні процеси, зокрема, на пряме відновлення заліза.

3. Використовуючи метод електродугового переплавлення брухту, базовим організаційним заходом скорочення емісії СО₂ має стати контроль за складовою вмісту у металобрухті та, за не необхідності, його попереднє очищення від хлорвмісних компонентів.

4. Найбільш ефективними заходами з технологічного вдосконалення існуючих виробництв агломерації залізної руди та переплавлення брухту в електродугових печах будуть з використанням рециркуляції газів, здійснення їх внутрішнього або зовнішнього доопалення.

5. Для остаточного видалення СО₂ з димових газів металургійних установок доцільно оснастити системи очищення газів засобами сорбційного очищення в комбінації з рукавними фільтрами.

6. При проектуванні виробництв з утилізації компонентів пилу електродугових печей необхідно враховувати вимоги до технологічних та конструктивних параметрів установки, що витікають з необхідності максимальної деструкції діоксинів та створення умов для запобігання їх синтезу de novo.

7. Залишкові кількості діоксинів в летючій золі та шлаках можуть бути знешкоджені в технологіях вітифікації токсичних компонентів небезпечних відходів.

Література

1. Четвериков В.В., Россоха А.В., Сігал І.Я. Ідентифікація джерел емісії стійких органічних забруднювачів в Україні та шляхи скорочення викидів з найбільш проблемних джерел. Енерготехнології та ресурсозбереження, 2023 № 3, стор. 91–102. DOI: 10.33070/etars.3.2023.08
2. Khushbu Salian, Vladimir Strezov, Tim J. Evans, Mark Taylor, Peter F. Nelson. Application of national pollutant inventories for monitoring trends on dioxin emissions from stationary industrial sources in Australia, Canada and European Union. *PLOS ONE*. 2019. № 10. p. 224–328. DOI: 10.1371/journal.pone.0224328.
3. Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs. UNEP, 2013.
4. Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Iron and Steel. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. European Commission 2013. https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/IS_Adopted_03_2012.pdf
5. De novo synthesis in iron ore sintering. *International Journal of Environment and Pollution*. January 2016.
6. Kawaguchi et al., Promoter material and inhibitor material for dioxins formation in sintering process. *Tetsu-to-Hagané*, Vol. 88, No. 7, 2002, pp. 12–19.
7. Виробництво промислової продукції за видами за 2021 рік. Держстат України, 1998–2022.
8. Development of UK Cost Curves for Abatement of Dioxins Emissions to Air, Final Report. Draft for consultation, Entec UK Ltd. 2003.
9. Fisher et al., Effects of operational factors on the formation of toxic organic micropollutants in EAF steelmaking, European Commission. Technical Steel Rresearch. Final Report. 2005.
10. Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices Relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, 2021.
11. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. European Commission, European IPPC Bureau, Joint Research Centre, 2017.
12. Commission Implementing Decision (EU) 2016/1032 of 13 June 2016 establishing best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council for the non-ferrous metals industries.
13. Thottempudi Kiran Kumar, Gour Gopal Roy. A Review on Processing of Electric Arc Furnace Dust (EAFD) by Pyro-Metallurgical Processes. *Transactions of the Indian Institute of Metals/ 2022 Volume 75*, pages 1101–1112 DOI: 10.1007/s12666-021-02465-6
14. Pedro Jorge Walburgakeglevich De Buzin, N.C. Heck, C. Heck, Antônio Cezar Faria Vilela. EAF dust: An overview on the influences of physical, chemical and mineral features in its recycling and waste incorporation routes. *Journal of Materials Research and Technology* Volume 6, Issue 2, April–June 2017, Pages 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2016.10.002>
15. K. Mager, U. Meurer & J. Wirling Minimizing dioxin and furan emissions during zinc dust recycle by the waelz process. *JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society* 2003 volume 55, pages 20–25. DOI: 10.1007/s11837-003-0099-6
16. Carlos Mauricio Fontes Vieira, Rubén Sanchez, Sergio Neves Monteiro, Nicolás Lallac, Nancy Quarantac Recycling of electric arc furnace dust into red ceramic. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 2, Issue 2, April–June 2013, Pages 88–92. DOI: 10.1016/j.jmrt.2012.09.001

17. Utilization of Electric Arc Furnace Dust as Raw Material for the Production of Ceramic and Concrete Building Products. *Journal of Environmental Science and Health Part A Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering* 2006, 41(9):1943-54. DOI: 10.1080/1093452060077924
18. Taisir Khedaywi¹, Tareq Al-Kattab, Mohammad A.T. Alsheyab International Effect of Electrical Arc Furnace Dust (EAFD) on the Properties of Asphalt Cement and Asphalt Concrete Mixtures: State of the Art *Journal of Engineering, Science, Technology and Innovation* Vol 3, Issue 1, 2023. <https://www.ijesti.com>
19. Yi-Ming Lin¹, Shao-Qi Zhou¹, Shun-I Shih, Sheng-Lun Lin, Lin-Chi Wang⁴, Zong-Sian Wu. Fate of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans during the Thermal Treatment of Electric Arc Furnace Fly Ash. *Aerosol and Air Quality Research*, 11: 584–595, 2011. DOI: 10.4209/aaqr.2011.07.0099
20. Деклар. пат. на корисну модель 16042 Укр., МПК (2006) F 23 G 7/00. Плавильна піч для знешкодження токсичних речовини. В. М. Олабін, О. Б. Максимук, В. В. Четвериков. Заявл. 16.02.2006 № u200601625. Опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.

ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО І ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Васільєва Л.А., Шевчук Л.М., Герасимчук О.Л.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
knz_vla@ztu.edu.ua, knz_shlm@ztu.edu.ua, kgt_gol@ztu.edu.ua

У роботі представлено характеристику небезпек різного походження, а також надзвичайних ситуацій, що трапилися на території Житомирської області протягом 2021 року. Зазначено, що область не є регіоном з підвищеним ризиком небезпек, проте, в області реєструють надзвичайні ситуації природного, техногенного та соціально-політичного, а у даний час ще і військового характеру. Серед причин виникнення надзвичайних ситуацій виділяють зміну довкілля внаслідок природокористування (забруднення). На території Житомирської області функціонують: 25 небезпечних об'єктів, які є основними забруднювачами навколишнього природного середовища; 13 підприємств скидають у поверхневі водні об'єкти стічні води з порушенням встановлених нормативів гранично-допустимого скиду; 40 великих гірничо-видобувних та гірничо-переробних підприємств провокують поступове накопичення твердої некондиційної мінеральної сировини, шламо-муловідходів, які практично не використовуються, а є забруднювачами земель; відходи, що зосереджені на шести полігонах та 822 сміттєзвалища становлять суттєву загрозу довкіллю та безпеку населенню. Основними забруднювачами атмосферного повітря за видами економічної діяльності є сільське, лісове та рибне господарство – більше 28,9% від загального; переробна промисловість – 28,1%, добувна промисловість і розроблення кар'єрів – 18,7%, транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність – 9%, викиди забруднюючих речовин яких становлять більше майже 85% від загального обсягу викидів в атмосферне повітря у Житомирській області. Житомирщина посідає 19 місце в Україні за кількістю викидів в атмосферне повітря стаціонарними джерелами. З'ясовано, що протягом 2021 року 13 підприємств скидали у поверхневі водні об'єкти стічні води з порушенням встановлених нормативів гранично-допустимого скиду. На території області поширені у незначній мірі зсуви та просідання земної поверхні. На території Житомирської області протягом 2021 року спостерігалось 81 небезпечне метеорологічне явище I рівня небезпечності. *Ключові слова:* безпека, надзвичайні ситуації, Житомирська область.

Preconditions for the emergence of emergency situations of a natural and technological nature in Zhytomyr oblast. Vasilieva L., Shevchuk L., Herasymchuk O.

The work presents a description of dangers of various origins, as well as emergency situations that occurred in Zhytomyr Oblast during 2021. It is noted that Zhytomyr Oblast is not a region with an increased risk of dangers, however, emergency situations of a natural, man-made, socio-political, and currently a military nature are registered. Among the causes of emergency situations, there is a change in the environment as a result of nature use (pollution). In Zhytomyr Oblast there are 25 dangerous objects that are the main polluters of the natural environment; 13 enterprises discharge wastewater into surface water bodies in violation of established standards of maximum permissible discharge; 40 large mining and processing enterprises provoke the gradual accumulation of solid, substandard mineral raw materials, sludge and sludge waste, which are practically not used, but pollute the land; waste concentrated in six landfills and 822 landfills pose a significant threat to the environment and danger to the population. The main polluters of atmospheric air by types of economic activity are agriculture, forestry and fishing – more than 28.9% of the total; processing industry – 28.1%, extractive industry and quarrying – 18.7%, transport, warehousing, postal and courier activities – 9%, the emissions of which polluting substances constitute more than almost 85% of the total volume of emissions in atmospheric air in the Zhytomyr Oblast. Zhytomyr Oblast ranks 19th in Ukraine in terms of the number of emissions into the atmosphere by stationary sources. It was found that during 2021, 13 enterprises discharged wastewater into surface water bodies in violation of the established standards of maximum permissible discharge. Landslides and subsidence of the earth's surface are common to a minor extent in the region. In 2021, 81 dangerous meteorological phenomena of the 1st level of danger were observed in the territory of the Zhytomyr Oblast. *Key words:* danger, emergency situations, Zhytomyr Oblast.

Постановка проблеми. Життя людини, її здоров'я визнані найвищою цінністю, а тому питання безпеки населення у мирний, а тим паче у військовий час є важливими та ніколи не втрачають своєї актуальності. Ситуації, які порушують нормальні умови життєдіяльності населення, спричинені катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, до великої кількості

загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності названо надзвичайними. Моніторинг і система прогнозування надзвичайних ситуацій, що виникають (або можуть виникнути) на території населених пунктів різного рівня, окремих регіонів, України в цілому – вкрай необхідна справа для розуміння причин виникнення надзвичайних ситуацій, їх динаміки та попередження, а також обґрунтування рекомендацій

щодо прийняття ефективних управлінських рішень під час ліквідації надзвичайних ситуацій.

Актуальність дослідження. В Житомирській області реєструють надзвичайні ситуації природного, техногенного та соціально-політичного, а у даний час ще і військового характеру. Нині в Україні дуже гостро стоїть питання потрапляння забруднюючих речовин у навколишнє середовище, особливо спричинене активними бойовими діями, що створює передумови розвитку надзвичайних ситуацій. Тому метою даної роботи було з'ясувати ризики небезпек різного характеру, що присутні на території Житомирщини, а також проаналізувати надзвичайні ситуації, що трапилися протягом 2021 року в області.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Аналіз надзвичайних ситуацій, що реєструються на території Житомирщини є важливим у розумінні причин їх виникнення та осмисленні питань щодо розробки заходів запобігання небезпек, збереженню життя і здоров'я населення області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням надзвичайних ситуацій в Україні, їх аналізом, особливо регіонів промислового спрямування займаються багато вітчизняних науковців. Ряд робіт присвячені прогнозуванню впливів від надзвичайних ситуацій [8, 10], оцінці ризиків надзвичайних ситуацій [1, 7], та управлінням ризиків [12]. Питання оцінки рівня екологічної безпеки територій та оцінки рівня техногенного навантаження Житомирської області висвітлені у численних роботах Герасимчук Л. О. та Валерко Р. А. [3–5].

Викладення основного матеріалу. Зазначимо, що до надзвичайних ситуацій техногенного характеру відносять суттєві транспортні аварії, пожежі, неспровоковані вибухи чи їхню загрозу, аварії із вибухом чи загрозою викиду різних речовин, раптові руйнування споруд, будівель, інженерних споруд і мереж, гідродинамічні аварії на греблях, дамбах тощо. Надзвичайні ситуації природного характеру – це ті, які виникли в результаті прояву небезпечних природних явищ – подій природного походження, які за своєю інтенсивністю, масштабом поширення і тривалістю можуть впливати на життєдіяльність населення та території.

Серед багатьох причин виникнення надзвичайних ситуацій виділяють і зміну довкілля внаслідок природокористування (забруднення). Зупинимось дещо ближче на особливостях екопаспорту Житомирщини адже це дає розуміння передумов виникнення надзвичайних ситуацій в області [6, 9, 11, 12].

У Житомирській області налічують 25 екологічно-небезпечних об'єктів. Найбільшими забруднювачами повітря визнані п'ять підприємств (як державної, так і приватної форм власності), три підприємства (добування руд та інших кольорових металів) завдають особливо значної шкоди земельним ресурсам, 11 – водним ресурсам та виділено

шість підприємств, які пов'язані з збиранням, зберіганням та утилізацією відходів [6].

Основними забруднювачами атмосферного повітря за видами економічної діяльності є сільське, лісове та рибне господарство – більше 28,9% від загального; переробна промисловість – 28,1%, добувна промисловість і розроблення кар'єрів – 18,7%, транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність – 9%, викиди забруднюючих речовин яких становлять більше майже 85% від загального обсягу викидів в атмосферне повітря у Житомирській області [6]. Житомирщина посідає 19 місце в Україні за кількістю викидів в атмосферне повітря стаціонарними джерелами [11].

Щодо обласного центру (місто Житомир), на його території визначено три хімічно-небезпечних об'єкти (ПАТ «Житомирський маслозавод», Житомирське ККП «М'ясомолторг» Житомирської обласної ради, Виробничий структурний підрозділ ДП «Старокостянтинівський молочний завод» зі ступенями хімічної небезпеки 4, 3, 3 відповідно) [9]. Об'єкти ядерно-паливного циклу на території міста відсутні, проте три об'єкти мають джерела іонізуючого випромінювання (ТОВ «Житомирський картонний комбінат», Житомирський обласний онкологічний диспансер, ДУ «Житомирський обласний лабораторний центр МОЗ України», категорія радіаційної небезпеки – III). 14 об'єктів міста Житомира віднесено до підприємств з пожежовибухонебезпечними речовинами (паливно-мастильні матеріали – ПММ, кисень, пропан, хлоридна кислота, вуглекислота). На території міста функціонує 34 автозаправні станції (кількість ПММ варіює від 15 до 174 т) та 15 газозаправних станцій (від 2,7 до 9,9 м³ пропану) [9].

Для Житомирщини є актуальним радіоактивне забруднення атмосфери радіоактивними елементами чорнобильського походження, що нині відбувається лише внаслідок лісових пожеж на радіоактивно-забруднених і радіаційно-небезпечних територіях [6, 11]. Щороку в Україні кількість пожеж зростає. Основною причиною пожеж, що трапляються у природних екосистемах, є порушення протипожежної безпеки (низька свідомість людей, що перебувають у лісі). Кліматичні зміни, незадовільна готовність ліквідувати пожежі на початкових етапах, пізнє виявлення осередку займання лише збільшують масштаби наслідків від лісових пожеж. Протягом 2021 року було зареєстровано 57 випадків пожеж у лісі (51,2 га) на території Житомирської області [6, 11].

У області є проблема із водокористуванням, наприклад скидання зворотних вод у поверхневі об'єкти без очистки, забруднених вод: без очищення та недостатньо очищених (щороку їх об'єм зростає). У всіх досліджених водних об'єктах (річки Тетерів, Ірша, Возня, Случ, Уж, Гнилоп'ять, Уборть) зареєстровані перевищення ГДК по ХСК, у більшості – по Залізу, Марганцю та БСК₅. З'ясовано, що протя-

гом 2021 року 13 підприємств скидали у поверхневі водні об'єкти стічні води з порушенням встановлених нормативів гранично-допустимого скиду [6, 11].

У обласному центрі гідродинамічну небезпеку може становити Житомирське водосховище (водопідйомна гребля), з можливою площею затоплення території 15 м². У місті працює чотири хвостосховища та шламосховища, які містять твердий осад мулу, шлам каменеобробки, осад очисних споруд каналізації та відходи гальванічного виробництва (законсервовані) [9].

У Житомирській області не проводяться заходи з рекультивації, консервації порушених земель (5,7 тис. га є порушеними, які потребують рекультивації, а 29,958 тис. га техногенно забруднені і не зазнали консервації) [11].

Суттєву загрозу довкіллю та безпеку населенню несуть відходи, що накопичуються на території області, де налічується шість полігонів та 822 сміттєзвалища [6]. В основному це відходи сільськогосподарського, лісового та рибного господарства, переробної промисловості, відходи видобувної промисловості розроблення кар'єрів, відходи домогосподарств. Відходи I-III класу небезпеки у 2020 році становили 1038,2 тонн. У Житомирській області є 127 складів для зберігання заборонених та непридатних до використання пестицидів, 106 з яких є у незадовільному стані. На території області є п'ять суб'єктів господарювання, що здійснюють діяльність у сфері поводження з небезпечними відходами та 32 суб'єкти господарювання, що здійснюють збирання, заготовку відходів як вторинної сировини (осад промислових стоків, шлами та рідкі відходи очисних споруд, відходи чорних металів, паперові та картонні відходи, пластикові відходи, відходи рослинного походження, тваринні екскременти, мінеральні відходи будівництва та знесення об'єктів, у тому числі змішані) [6, 11].

На західних околицях міста Житомира зосереджене сховище твердих побутових відходів (3207,703 тис. т) площею 0,201 м². Звалище переважане, стоїть гостра необхідність виконання заходів щодо попередження скиду фільтратних вод [9].

Житомирщина – область, де функціонує понад 40 великих та вагомих за обсягами виробництва гірничо-видобувних та гірничо-переробних підприємств, що провокують поступове накопичення твердої некондиційної мінеральної сировини, шламо-му-

ловідходів, які практично не використовуються, а є забруднювачами земель [6, 11].

На території області поширені у незначній мірі зсуви та просідання земної поверхні (0,2 тис. га). Найбільш виражені ці процеси на Словечано-Овруцькому кряжі. У межах обласного центру є шість зон, де відмічені зсувні процеси (0,95 км², мешкає понад 2800 чол.), 15 місць зазнають підтоплення (2,3 км²) [6].

На території Житомирської області протягом 2021 року спостерігалось 81 небезпечне метеорологічне явище I рівня небезпечності: 18 випадків туману, 7 – посилення вітру, 36 грози, 5 – значного дощу, 1 – граду, 7 – шквалів, 1 – заморозки, 2 – налипання мокрого снігу, 4 – значного снігу; 2 стихійних метеорологічних явища II рівня небезпечності: сильні заморозки на території області та сильний тривалий дощ у м. Житомирі; 1 стихійне метеорологічне явище III рівня небезпечності – надзвичайний дощ у м. Житомирі [6]. Навесні пожежна небезпека на території області підвищувалась до високого або надзвичайного рівня. Влітку в області спостерігалися зливи, інколи – значні дощі, численні грози, локально – град та шквали. Протягом літа відбувалось зростання пожежної небезпеки на всій території області або в окремих її частинах до високої (4 класу) і надзвичайної (5 класу). Тепла стійка погода протягом вересня-жовтня та першого тижня листопада сприяла збереженню надзвичайної (5 класу) та високої (4 класу) пожежної небезпеки на території області [6, 9].

Спостерігається збільшення смертності потерпілих у транспортних нещасних випадках, утопленнях, від наслідків нападу з метою вбивства чи нанесення ушкоджень, внаслідок коронавірусної інфекції COVID-19.

В обласному центрі зареєстровано 97 випадків смерті осіб від нещасних випадків (зокрема пов'язані з транспортом – 7, випадкові падіння – 9, утоплення – 5, пов'язані з дією диму, вогню – 4) [6, 9].

Висновки. Отже, на території Житомирської області встановлені основні ризики виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, які пов'язані перш за все з особливостями функціонування промислових об'єктів, які є забруднювачами навколишнього природного середовища та особливостями клімату та геологічної будови. Для області характерні зсуви та просідання земної поверхні та достатньо висока пожежна небезпека у сухий жаркий період року.

Література

1. Васютинська К. А., Барбашев С. В. Оцінка ризиків надзвичайних ситуацій у регіонах України під впливом урбанізаційного процесу. *Екологічні науки*. 2020. № 5 (32). С. 51–57.
2. Довкілля України 2021: статистичний збірник / за ред. О. Прокопенка. К.: Державна служба статистики України, 2022. 149 с. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/11/zb_dovkilla_2021.pdf
3. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Оцінка рівня техногенного навантаження Житомирської області. *Вісник ЖНАЕУ*. 2017. № 1(58), т. 1. С. 39–48.
4. Герасимчук Л., Валерко Р., Залужна Є. Оцінка рівня екологічної безпеки території Житомирської області за обсягами утворення відходів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 1. С. 3–9.

5. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Довбаш В.В. Регіональний аспект поводження з відходами у Житомирській області в контексті сталого розвитку. *Екологічні науки*. 2022. № 1(40). С. 104–109.
6. Екологічний паспорт Житомирської області (за 2021 рік). URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Ecopasport%202022.pdf>
7. Іванець Г. В., Іванець М. Г., Богатов О. І., Наконечний О. А., Шарапа І. А. Аналіз та кількісна порівняльна оцінка ризиків надзвичайних ситуацій техногенного характеру на території України. *Вісник ХНАДУ*. 2021. Вип. 92, т. 1. С. 206–214.
8. Курта І. В., Лагун А. Е., Кухарська Н. П. Прогнозування впливів від надзвичайних ситуацій на основі алгоритмів нечіткої логіки. *Вісник ЛДУБЖД*. 2023. № 27. С. 32–40.
9. Паспорт ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на території м. Житомира. URL: <https://zt-rada.gov.ua/files/upload/sitefiles/doc1550148503.pdf>
10. Поляк К.Ю. Статистичний аналіз надзвичайних ситуацій та їх наслідків для господарської діяльності в Україні та світі. *Інвестиції: практика та досвід*. 2017. № 5. С. 63–70.
11. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-ZHytomyrska-ODA-2021.pdf>
12. Скакун В. О., Рак Ю. П. Методи та моделі управління ризиком в проектах модернізації потенційно небезпечних об'єктів. *Управління проектами та розвиток виробництва*: Зб. наук. пр. Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2009. № 1(29). С. 11–17.

ЗВІТНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ ЗІ СТІЙКОГО РОЗВИТКУ ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

Кірейцева Г.В.¹, Хоменко С.В.¹, Устименко В.І.¹, Андреева О.Ю.², Палій О.В.¹

¹Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

²Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10002, м. Житомир
gef_kgv@ztu.edu.ua, org_hsv@gmail.com, ke_uv@ztu.edu.ua,
andreeva-lena15@ukr.net, asp_pov@student.ztu.edu.ua

У статті визначено необхідність переходу до циркулярної економіки на принципах стійкого розвитку, а також окреслені основні переваги впровадження екологічної культури та відповідальності в умовах циркулярної економіки. Сьогодні, як звітність зі стійкого розвитку, так і звітність з корпоративної соціальної відповідальності (КСВ) мають високий рівень популярності серед бізнесу, але з акцентами на різні аспекти. Звітність зі стійкого розвитку зосереджується на екологічній стійкості та інтеграції з фінансовими показниками, тоді як КСВ має сильніші зв'язки з корпоративною етикою, впливом на спільноту та внутрішньою культурою компаній. Обидва підходи важливі для сучасних компаній, що прагнуть відповісти зростаючим очікуванням споживачів. Сучасні споживачі та інвестори все більше цікавляться екологічними та соціальними аспектами діяльності підприємств. Саме стійка звітність дозволяє підприємствам краще ідентифікувати та управляти екологічними ризиками та можливостями, що підвищує їх загальну ефективність та стійкість. Встановлено, що Звіт зі стійкого розвитку охоплює ширший спектр тем, включаючи екологічну, соціальну та економічну стійкість. Він зосереджений на довгострокових цілях та впливі діяльності підприємства на стійкість розвитку. Саме Звіт зі стійкого розвитку може бути спрямований на більш специфічну аудиторію, яка включає інвесторів, регуляторів, суспільство та інших учасників ринку, які зацікавлені в довгостроковій стійкості та економічній ефективності компанії. На основі аналізу даних встановлено зростаючу тенденцію усвідомлення та інтеграції стійкого розвитку в українському бізнесі, а також збільшення кількості компаній, які публікують звіти у цій сфері. Так, українські підприємства реалізують значну кількість ініціатив і проєктів з корпоративної соціальної та екологічної відповідальності, які роблять посильний внесок у реалізацію цілей стійкого розвитку. Встановлено, що переважна їх частина спрямовується на вирішення соціальних проблем громад, в яких працює бізнес, і переважно, це ініціативи локального характеру. Також, дослідження свідчать про зростання усвідомлення та застосування екологічних ініціатив серед українських компаній. Але, відсутність більш конкретної співставної інформації не дозволяє провести прозорий аналіз екологічної діяльності компаній. Запропоновані інструменти, які можуть допомогти українським компаніям підвищити рівень прозорості та довіри до їх звітності зі стійкого розвитку. Саме прозорість таких звітів має допомагати бізнесу вигравати довіру інвесторів та споживачів. *Ключові слова:* циркулярна економіка, цілі стійкого розвитку, нефінансова звітність, екологічна безпека, нормування, декарбонізація, екоменеджмент.

Enterprise sustainability reporting as a tool for developing environmental responsibility. Kireitseva H., Khomenko S., Ustylenko V., Andrieva O., Paliy O.

The article identifies the need for transition to a circular economy based on the principles of sustainable development and outlines the main advantages of introducing environmental culture and responsibility in a circular economy. Today, both sustainability reporting and corporate social responsibility (CSR) reporting are very popular among businesses, but with different emphases on different aspects. Sustainability reporting focuses on environmental sustainability and integration with financial performance, while CSR has stronger links to corporate ethics, community impact and internal company culture. Both approaches are important for modern companies seeking to meet growing consumer expectations. Consumers and investors are increasingly interested in the environmental and social aspects of businesses. Sustainable reporting allows companies to better identify and manage environmental risks and opportunities, which increases their overall efficiency and sustainability. It is established that the Sustainability Report covers a wider range of topics, including environmental, social and economic sustainability. It focuses on long-term goals and the impact of the company's activities on sustainability. It is the Sustainability Report that can be targeted at a more specific audience, including investors, regulators, society and other market participants interested in the long-term sustainability and economic performance of the company. Based on the data analysis, we have identified a growing trend of awareness and integration of sustainable development in Ukrainian business, as well as an increase in the number of companies that publish reports in this area. Thus, Ukrainian enterprises are implementing a significant number of corporate social and environmental responsibility initiatives and projects that make a significant contribution to the implementation of sustainable development goals. It has been established that the vast majority of them are aimed at solving social problems of the communities in which the business operates, and these are mainly local initiatives. The research also shows an increase in the awareness and application of environmental initiatives among Ukrainian companies. However, the lack of more specific and comparable information does not allow for a transparent analysis of companies' environmental performance. The article proposes tools that can help Ukrainian companies increase the level of transparency and credibility of their sustainability reporting. It is the transparency of such reports that should help businesses win the trust of investors and consumers. *Key words:* circular economy, sustainable development goals, sustainability reporting, environmental safety, regulation, decarbonization, environmental management.

Постановка проблеми. В умовах нестабільності, динамічності, конкуренції на світовому та внутрішньому ринках, інтеграції до Європейського Союзу та враховуючи сучасну екологічну ситуацію підприємствам необхідно постійно вдосконалювати свою роботу та впроваджувати заходи для зменшення свого впливу на довкілля. Світова спільнота все більше усвідомлює необхідність дій щодо зміни клімату. На світовому ринку у 2022 році кількість компаній, які частково вимірюють та звітують про викиди парникових газів, зросла на 19% в порівнянні з 2021 року (з 34% до 53%). Також, більше респондентів вказали, що встановили цілі зменшення викидів парникових газів – зростання на 12% порівняно з кількістю компаній у 2021 року (з 23% до 35%) [1]. Загальновідомо, що Україна взяла на себе зобов'язання щодо Паризької угоди і має цілі зменшення викидів. Український бізнес, імовірно, відіграє роль у досягненні цих цілей, але інформації про відсоток компаній, які взяли на себе зобов'язання зменшувати свої викиди CO₂ та інших парникових газів, відсутня.

Сучасні споживачі та інвестори все більше цікавляться екологічними та соціальними аспектами діяльності підприємств. Звітність у сфері стійкого розвитку є важливою частиною соціальної відповідальності бізнесу, демонструючи зобов'язання компаній до підтримки здоров'я спільноти та навколишнього природного середовища. Саме стійка звітність дозволяє підприємствам краще ідентифікувати та управляти екологічними ризиками та можливостями, що підвищує їх загальну ефективність та стійкість. Сьогодні інвестори все більше орієнтуються на ESG-фактори (екологічні, соціальні та управлінські критерії) у своїх інвестиційних рішеннях. Згідно з Global Sustainable Investment Alliance [2], у 2020 році глобальні стійкі інвестиції досягли понад 35 трлн. доларів США, що становить близько 36% усіх управляючих активів у п'яти великих регіонах світу.

Також слід зазначити, що у всьому світі посилюються регуляторні вимоги щодо сталості. Звітність допомагає компаніям демонструвати відповідність цим вимогам. Стійка звітність може поліпшити корпоративну репутацію та бренд, що є важливим фактором для залучення нових клієнтів і збереження вірності існуючих, також надати компаніям конкурентні переваги, особливо в індустріях, де екологічна стійкість є критичною. За даними Глобального звіту про корпоративну соціальну відповідальність (2018) 70% покупців в Україні готові платити більше за продукцію тих компаній, які проявляють соціальну відповідальність щодо суспільства та навколишнього середовища [3].

Таким чином, звітність підприємств зі стійкого розвитку є важливим інструментом, який може сприяти розвитку екологічної відповідальності бізнесу та переходу до зеленої, циркулярної економіки.

Актуальність дослідження. В наш час все більшої актуальності набувають відносини суспільства

та довкілля, а особливо їх гармонізація, яка можлива за умови розвитку екологічної свідомості, екологічного виховання та дбайливого ставлення до навколишнього природного середовища. Екологічна свідомість та виховання формують екологічну відповідальність, яка сприяє вирішенню важливих екологічних проблем сьогодення. Саме екологічна відповідальність є складовою соціальної відповідальності підприємств та організацій. Сьогодні, як звітність зі стійкого розвитку, так і звітність з корпоративної соціальної відповідальності (КСВ) мають високий рівень популярності серед бізнесу, але з акцентами на різні аспекти. Звітність зі стійкого розвитку зосереджується на екологічній стійкості та інтеграції з фінансовими показниками, тоді як КСВ має сильніші зв'язки з корпоративною етикою, впливом на спільноту та внутрішньою культурою компаній. Обидва підходи важливі для сучасних компаній, що прагнуть відповідати зростаючим очікуванням споживачів.

Але, якщо порівнювати світові тренди, то майже всі компанії зі списку 250 найбільших у світі (G250) звітують про сталість. У 2022 році рівень звітності серед G250 залишився на рівні 96%, як і у 2020 році. Інтегрована звітність, яка поєднує фінансові та нефінансові дані в одному щорічному звіті, набула поширення: 55% компаній N100 на Близькому Сході та 30% компаній N100 в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні використовують цей підхід (рис. 1). Використання стандартів GRI: GRI (Global Reporting Initiative) залишається найбільш домінуючим стандартом у світі, прийнятим 68% компаній N100 та 78% G250, особливо в США [4].

Встановлено, що звіт зі стійкого розвитку охоплює ширший спектр тем, включаючи екологічну, соціальну та економічну стійкість. Він зосереджений на довгострокових цілях та впливі діяльності підприємства на стійкість розвитку. Саме Звіт зі стійкого розвитку може бути спрямований на більш специфічну аудиторію, яка включає інвесторів, регуляторів, суспільство та інших учасників ринку, які зацікавлені в довгостроковій стійкості та економічній ефективності компанії.

Отже, звітність підприємств зі стійкого розвитку сприятиме розвитку екологічної відповідальності бізнесу в Україні в наступних напрямках: формування у бізнес-спільноті розуміння важливості екологічної відповідальності, тобто поширенню екологічних знань та цінностей, впровадження екологічно чистих технологій та виробництв, а також дозволить компаніям відстежувати свої екологічні показники та оцінювати ефективність заходів, які вони впроваджують для зменшення свого впливу на навколишнє природне середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання формування екологічної відповідальності суспільства у своїх працях піднімали З. Абдуллаєв, Т.С. Вайда, Н.П. Єфіменко, О.С. Лазоренко,

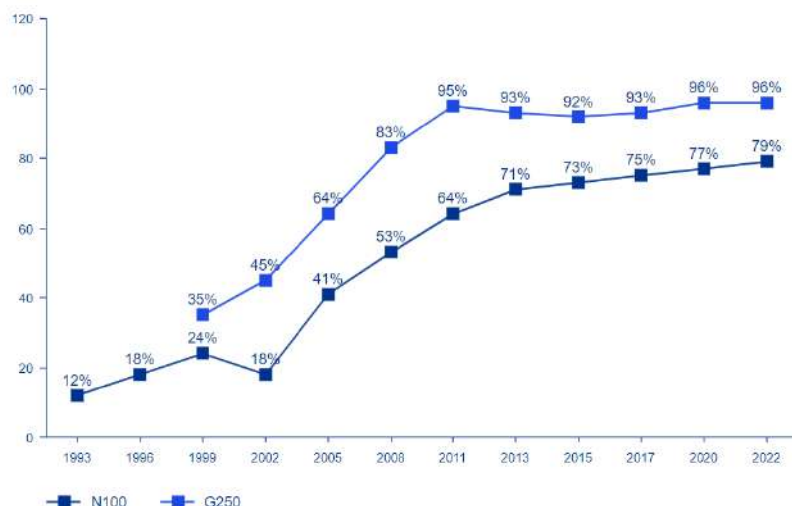


Рис. 1. Глобальні показники звітності зі стійкого розвитку (1993–2022) [4]

Г.С. Лозко, Л.Б. Лук'янова, Н.А. Негруца, Н.Ю. Олійник, В.А. Петрицький, Г.Ф. Пономарьова та інші. Згадані автори приділяли увагу розкриттю змісту, завдань, форм і методів формування екологічної культури.

Про необхідність відображення екологічної інформації у звітності підприємств у свої працях зазначають такі вчені, як: Н.І. Беренда, А.І. Белоусов, В.М. Жук, Т.О. Кірсанова, Л.І. Максимів, О.А. Петрик, Н.В. Святохо, Р. Грей, Т.А. Дьоміна, Ю.А. Константінов, М.Р. Метьюс, М.А. Моторін, В. Стелман та інші [5].

Присвячують свої праці соціальній відповідальності та екологічним аспектам діяльності підприємств такі вчені як: О. Гусєва, Н. Марценюк [6], Л. Бобко, О. Гришнова [7]. У працях вчених Н. Ільченко [8], Н. Лоханової [9], М. Корягіна, Р. Костирка [10], Р. Кузіної [11] в загальному вигляді розкрито підходи до доцільності застосування інтегрованої звітності на підприємстві.

Аналізуючи останні дослідження варто відмітити, що практики корпоративної відповідальності встають все більш важливими та популярними не тільки в світі, а й в Україні, проте додаткового вивчення ще потребують ряд питань пов'язаних із запровадженням практики звітування зі стійкого розвитку.

Виклад основного матеріалу. В умовах запровадження глобальних Цілей стійкого розвитку ООН та на виконання вимог нової європейської Директиви про Корпоративний стійкий розвиток, звітність зі стійкого розвитку постає ключовим джерелом інформації для стейкхолдерів та інвесторів, а підготовка звіту про стійкий розвиток стане обов'язковою умовою для великих компаній. Підприємства, які дотримуються принципів корпоративної відповідальності та турбуються про екологічні наслідки своєї роботи мають конкурентні переваги та покращують свій імідж серед стейкхолдерів. У 2019 році Президент України своїм наказом підтримав досягнення цілей

стійкого розвитку та результатів їх адаптації з урахуванням специфіки розвитку України, викладених у Національній доповіді «Цілі стійкого розвитку: Україна» [12]. На державному рівні Цілі стійкого розвитку закріплено у якості орієнтирів для екологізації економіки. Дотримання цілей стійкого розвитку має стати добровільним зобов'язанням підприємств діяти екологічно, не лише дбати про визначене нормами закону зменшення екологічного навантаження на довкілля, а й сприяти відновленню природних об'єктів, що постраждали внаслідок антропогенного й технологічного навантаження на довкілля.

Важливим кроком на шляху до досягнення цілей стійкого розвитку є екологізація підприємств, а саме, перехід до циркулярної економіки, що спрямована на мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище та вичерпання природних ресурсів. В європейській країнах циркулярна економіка стає все більш популярною, розроблюються та впроваджуються власні національні стратегії циркулярної економіки. Саме успішні практики європейських країн та окремих підприємств можуть стати орієнтиром для розвитку програм екологічної відповідальності, циркулярного виробництва в Україні [13]. Впровадження принципів циркулярної економіки передбачає впровадження екологічних інновацій на підприємстві [14], що потребує значних інвестицій, а обмеженість фінансових можливостей обумовлює необхідність пошуку нових інструментів та методів організації інвестицій у стійкий розвиток.

Сформувати у бізнес-спільноті розуміння важливості переходу до зеленої, циркулярної економіки можна шляхом проведення екологічної освіти та виховання, запровадження екологічного законодавства та контролю за його виконанням, а також пропаганди екологічних знань та цінностей. Впровадження екологічно чистих технологій та виробництв дозволить бізнесу зменшити свій негативний вплив на навколишнє середовище та підвищити свою конку-

рентоспроможність. Розвиток екологічної культури та екологічної відповідальності бізнесу в умовах зеленої, циркулярної економіки має ряд переваг для бізнесу, суспільства та навколишнього природного середовища (рис. 2). Дотримання принципів «зеленого» підходу до ведення бізнесу дозволить: зменшити викиди вуглецю та відходів, покращити процеси їх утилізації або переробки, економити ресурси та оптимізувати виробничі процеси, покращити сприйняття компанії серед споживачів і партнерів, підвищити інтерес інвесторів до компаній з високими показниками стійкості, розвивати нові технології і підходи, а також підвищити якість життя громади та сприяти соціальному розвитку. Ці переваги відображають багатогранний вплив екологічної відповідальності на бізнес, суспільство та довкілля.

Інституційні засади формування та впровадження екологічної відповідальності підприємств в Україні визначені національним і міжнародним законодавством, що спрямовані на зменшення негативного впливу господарської діяльності на навколишнє природне середовище для забезпечення стійкого розвитку [15]. За визначенням Глобальної ініціативи зі звітності (GRI – Global Reporting Initiative) термін «звітність зі стійкого розвитку» означає звітність, яка охоплює одночасно економічні, екологічні та соціальні аспекти діяльності організації. Відповідно до нової європейської Директиви про Корпоративний стійкий розвиток (CSRD – Corporate Sustainability Report Directive) підготовка звіту про стійкий розвиток є обов'язковою для великих компаній [16]. Ця Директива є частиною Європейського зеленого курсу, метою якого є здійснення зеленого переходу в Європейському Союзі до 2050 року. Це

Директива, яку держави-члени повинні перенести в національне законодавство та яка визначає впровадження обов'язкових європейських стандартів звітності, так званих Стандартів звітності зі стійкого розвитку до 30 червня 2023 або 2024 року. Директива також вимагає від компаній «розкривати свої плани щодо забезпечення відповідності їх бізнес-моделі та стратегії переходу до сталої економіки та цілям обмеження глобального потепління до 1,5°C, відповідно до Паризької угоди та досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року» [17].

Враховуючи бажання та курс України стати членом Європейського Союзу, українським підприємствам варто вже сьогодні розпочинати роботу по впровадженню звітності по цілям стійкого розвитку. Українські компанії, які активно розвивають програми стійкого розвитку та публікують звіти з цих питань, включають як великі європейські та американські компанії, так і місцеві підприємства. Останніми роками великий бізнес в Україні все активніше впроваджує принципи ESG (екологічна, соціальна та управлінська стійкість), розробляючи нефінансові звіти, які привертають увагу інвесторів.

Програми сталого розвитку в Україні ще не набули такої поширеності, як у деяких інших країнах. Втім, деякі компанії вже почали публікувати нефінансові звіти, що відображають їхні зусилля у сфері сталого розвитку. Це стосується як підрозділів великих міжнародних компаній, так і публічних компаній, які стежать за інноваціями [18].

Ці дані свідчать про зростаючу тенденцію усвідомлення та інтеграції стійкого розвитку в українському бізнесі, а також про збільшення кількості компаній, які публікують звіти у цій сфері.



Рис. 2. Основні переваги впровадження екологічної культури та відповідальності в умовах циркулярної економіки

Джерело: розроблено авторами.

Звіт зі стійкого розвитку є важливим інструментом для оцінки ефективності діяльності компанії в сфері стійкого розвитку. Цей документ дозволяє компанії відстежувати свій прогрес у досягненні цілей стійкого розвитку та визначати нові напрямки для розвитку. Дослідження показали, що компанії, які публікують звіти зі стійкого розвитку, мають тенденцію до кращих фінансових результатів, ніж ті, хто цього не робить. Інвестори все більше звертають увагу на сталість, і звіти зі стійкого розвитку можуть допомогти організаціям:

- залучити інвестиції від інвесторів, які шукають компанії, які діють соціально та екологічно відповідально;
- покращити свою репутацію та залучити нових клієнтів та партнерів;
- підвищити обізнаність про сталість серед співробітників і сприяти розвитку корпоративної культури.

Прозорість компанії збільшує її репутацію. Оприлюднення інформації важлива не тільки для інвесторів, а і для споживачів та працівників компанії. Саме тому оприлюднення екологічної інформації

в системі корпоративного управління, постійне оновлення такої інформації, доступ для багатьох груп стейкхолдерів повинні стати основними пунктами репутаційних програм компанії.

Так, за даними Індексу ESG прозорості сайтів українських компаній за 2020 рік [19], інтегрованість Цілей сталого розвитку у стратегії компанії продемонструвало тільки 17,8% компаній (11 з 56). Як свідчать дані, рівень прозорості українських компаній потроху зростає. Середній рівень розкриття інформації компаній України за показниками ESG становить: соціальні аспекти (права людини, трудові відносини, ланцюг постачання, відповідальне споживання, розвиток громад, лідерство керівництва й компанії) – 26,4%; екологічні аспекти – 36,6%; корпоративне управління – 27,7%.

Нами було проаналізовано веб-сайти компаній та їх звіти за 2021 рік, які за даними Індексу ESG прозорості сайтів українських компаній за 2020 рік [19] мали найвищі показники розкриття ними цілей стійкого розвитку та інструментів для їх досягнення (табл. 1).

Так, українські підприємства реалізують значну кількість ініціатив і проєктів з корпоративної соці-

Таблиця 1

Аналіз цілей та інструментів для їх досягнення найбільшими соціально відповідальними компаніями в Україні, 2021 р.

Назва компанії	Цілі	Інструменти для досягнення цілей
1	2	3
Укрнаф-тогаз	Зменшення викидів парникових газів на 50% до 2030 р. Збільшення використання відновлюваних джерел енергії до 25% до 2030 р. Підвищення рівня гендерної рівності до 30% до 2030 р.	Участь у програмі Глобальної добровільної промислової ініціативи щодо посиленої системи моніторингу, звітності та зниження метанових викидів (Партнерство у боротьбі з викидами метану від нафтогазового сектору). Запуск 100 соціальних проєктів у громадах, де працює компанія.
ДТЕК	Виконання зобов'язання з охорони атмосферного повітря та захисту клімату, інвестування в розвиток відновлюваної енергетики та скорочуючи вуглецевий слід теплової генерації. Слідування принципам циркулярної економіки, зокрема використання промислових відходів. Захист біорізноманіття та сприяння збереженню екосистем. Слідування високим соціальним стандартам. Забезпечення безпечних умови праці та цілісної системи охорони здоров'я співробітників. Слідування кращим практикам корпоративного управління, ризик-менеджменту.	Програма «Зелений ДТЕК», яка спрямована на зменшення викидів парникових газів та збільшення використання відновлюваних джерел енергії. Політика охорони довкілля: збереження та відновлення біорізноманіття (проєкти з безпеки білих лелек на лініях електропередачі, моніторинг впливу вітротурбін на популяцію птахів і кажанів, захист фауни водойм на підприємствах теплової генерації). Циркулярна економіка (програма ефективного повторного використання відходів теплової генерації – великотоннажних відходів, гірської породи та золошлакових матеріалів). Декарбонізація.
АБ «Укргаз-банк»	Скорочення викидів CO ₂ в атмосферу на 100 тис. тон у 2023 р. Скорочення споживання електроенергії на 480 тис. кВт*год до 2024 та скорочення використання паперу у роботі банку на 3,2 тони до 2024 р. Відмова від фінансування вугільної промисловості. Гендерна рівність.	«Зелене» фінансування», скорочення негативного впливу від діяльності банку та оцінка і моніторинг екологічних та соціальних ризиків позичальників. Фінансування альтернативної енергетики (сонячної, гідроенергії, енергії вітру тощо). Фінансування енергозберігаючих технологій та захист довкілля.

Продовження таблиці 1

1	2	3
ПрАТ «Карлсберг Україна»	Нуль вуглецевого сліду. Нуль втрати води. Нуль безвідповідального споживання пива. Нуль нещасних випадків.	Комітет together toward zero для управління стратегією зі стійкого розвитку. Адаптація програмних цілей до реалій українського ринку, визначення коротко- та довгострокових крі. Зниження негативного впливу від діяльності пивоварень; усунення викидів вуглекислого газу за рахунок використання сприятливих для клімату технологій. Повторне використання води для сервісних цілей. Впровадження операційних активностей по управлінню використанням води для запобігання втрат.
ПрАТ «Укргідроенерго»	Підвищення суспільної довіри до діяльності компанії та перспективності розвитку гідроенергетики України. Впровадження принципу екологічної відповідальності та інновацій у виробничі процеси і проекти розвитку. Створення сприятливих умов для підвищення ефективності праці та реалізації потенціалу співробітників компанії. Підвищення рівня корпоративної соціальної відповідальності та рівня прозорості діяльності.	Впровадження технології аерації води в гідроагрегатах ГЕС. Регулярний екологічний моніторинг, здійснення незалежної екологічної інвентаризації. Підвищення енергоефективності на виробництві. Програма «Мое робоче місце», яка передбачає підвищення комфорту працівників
МХП (міжнародна компанія у сфері харчових та агро технологій)	Вуглецева нейтральність до 2030 р. Верифікація викидів парникових газів від МХП, використовуючи належним чином акредитовану незалежну службу третьої сторони Забезпечення відповідності постачальників насіння ріпаку та кукурудзи вимогам стандарту ISCC (Міжнародна сертифікація стійкого розвитку та вуглецю), а також вимогам українського законодавства. Гендерна рівність.	Реалізація програми постійного скорочення утворення відходів. Реалізація програми, яка гарантує, що скидання води не містить шкідливих забруднюючих речовин. Розробка стратегії збереження та збереження біорізноманіття на територіях діяльності МХП. Розробка плану скорочення використання енергії з невідновлюваних джерел шляхом збільшення використання відновлюваної енергії (експлуатується пілотна установка по виготовленню паливних брикетів із зерновідходів, що допомагає постачати паливо із відновлювальних джерел, а також суттєво зменшити навантаження на місцевий полігон відходів).

Джерело: сформовано авторами

альної та екологічної відповідальності, які роблять посильний внесок у реалізацію цілей стійкого розвитку. Серед пріоритетних цілей: Ціль 4 «Якісна освіта», Ціль 8 «Гідна праця та економічне зростання» та Ціль 3 «Міцне здоров'я і благополуччя». Наведений перелік практик та ініціатив компаній свідчить, що переважна їх частина спрямовується на вирішення соціальних проблем громад, в яких працює бізнес, і переважно, це ініціативи локального характеру.

Для оцінки реалізації екологічної складової у звітах зі стійкого розвитку серед українських компаній, специфічні деталі та відсотки складно надати. Однак, згідно з загальними даними, багато керівників українських компаній вже впроваджують заходи сталого розвитку, щоб зменшити свій вплив на навколишнє природне середовище. Це включає заходи, як-от використання екологічно чистих матеріалів, енергоефективних систем, технологій та

обладнання, а також ефективне використання енергоресурсів [20].

Ці дані свідчать про зростання усвідомлення та застосування екологічних ініціатив серед українських компаній. Але, відсутність більш конкретної співставної інформації не дозволяє провести прозорий аналіз екологічної діяльності компаній. Саме прозорість таких звітів має допомагати бізнесу вигравати довіру інвесторів та споживачів.

Висновки. Отже, для підвищення загального рівня прозорості звітності зі стійкого розвитку українських компаній необхідно використовувати наступні інструменти: застосування міжнародних стандартів звітності таких як GRI (Global Reporting Initiative) та SASB (Sustainability Accounting Standards Board) може допомогти стандартизувати звітність та поліпшити її порівнянність; використання цифрових платформ та інструментів для збору даних можуть

поліпшити точність і прозорість звітності; організація тренінгів та семінарів з питань стійкого розвитку та звітності для співробітників; проведення незалежного аудиту звітності може підвищити її достовірність та довіру до неї; ведення відкритого діалогу з акціонерами, споживачами, постачальниками та

громадськістю щодо практик стійкого розвитку. Ці інструменти можуть допомогти українським компаніям підвищити рівень прозорості та довіри до їх звітності зі стійкого розвитку. На державному рівні рекомендується запровадити політику підтримки та заохочення компаній, які готують такі звіти.

Література

1. Why some companies are ahead in the race to net zero. Boston Consulting Group.: веб-сайт. URL: <https://www.bcg.com/publications/2023/why-some-companies-are-ahead-in-the-race-to-net-zero-and-reducing-emissions> (дата звернення 16.11.2023).
2. Consensus ESG Ratings Big Data Technology Creates Corporate and Investment ESG Solutions. Global sustainable investment alliance: веб-сайт. URL: <https://www.gsi-alliance.org/trends-report-2020/1> (дата звернення 19.09.2023).
3. Відповідальний бізнес: як компанії підтримували одна одну та суспільство. Європейська бізнес асоціація: веб-сайт. URL: <https://eba.com.ua/vidpovidalnyj-biznes-yak-kompaniyi-pidtrymuvaly-odna-odnu-ta-suspilstvo/> (дата звернення 5.10.2023).
4. Key global trends in sustainability reporting. KPMG International: веб-сайт. URL: <https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2022/09/survey-of-sustainability-reporting-2022/global-trends.html> (дата звернення 9.10.2023).
5. Замула І. В., Кірейцева Г. В. Гармонізація корпоративної звітності з охорони атмосферного повітря. Науковий вісник Ужгородського університету. 2015. № 1 (45). Том 2. С. 291–295.
6. Гусєва О.Ю., Марценюк Н.О. Соціальна відповідальність бізнесу в Україні: поточний стан та перспективи розвитку. «Економіка. Менеджмент. Бізнес». 2018. № 4(26). С. 47–55.
7. Бобко Л., Вовк В., Корпан А. Екологічні аспекти корпоративної соціальної відповідальності. Молодий вчений. 2020. № 4(80). С. 301–305.
8. Ільченко Н. В. Світові тенденції розвитку нефінансової звітності та розкриття інформації зі сталого розвитку. Ефективна економіка. 2015. № 9.
9. Лоханова Н. О. Корпоративна звітність в Україні і світі в контексті євроінтеграції – вимоги інвесторів, проблеми, перспективи. Економіка та держава. 2014. № 10. С. 6–10.
10. Костирко Р. О. Інтегрована модель звітності компаній: передумови, принципи, складові. Економіка України. 2013. № 2(615). С. 18–28.
11. Кузіна Р. В. Корпоративний облік і звітність в Україні: сучасний стан і перспективи розвитку: монографія. Херсон, 2015. 416 с.
12. Цілі сталого розвитку та Україна. Урядовий портал: URL: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/cili-stalogo-rozvitku-ta-ukrayina> (дата звернення 12.10.2023).
13. Супрун Н. А. Екологічна відповідальність бізнесу як форма реалізації стратегії сталого розвитку. Екологічний внесок для сталого розвитку суспільства: 2020 рік: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. 10–11 грудня 2020 р. Київ; Івано-Франківськ; Дрогобич: Коло, 2020. С. 140–148.
14. Літвак О.А. Еколого-інноваційна діяльність підприємств як складова частина біоекономічного розвитку. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління. 2020. № 5 (32). С. 28–345.
15. Максим Курбет, Світлана Король. Аналіз екологічних аспектів соціальної відповідальності підприємств торгівлі та їх відображення в звітності. Фінансово-кредитна діяльність: Проблеми теорії та практики. 2023. № 1 (48). С. 206–218.
16. Amending Regulation (EU) No 537/2014, Directive 2004/109/EC, Directive 2006/43/EC and Directive 2013/34/EU, as regards corporate. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022L2464> (дата звернення 13.10.2023).
17. Пасько О.В. Від директиви з нефінансової звітності до директиви про корпоративну звітність зі сталого розвитку: орієнтири ЄС у сфері корпоративної підзвітності зі сталого розвитку для України. Обліково-фінансова наука і практика: пріоритети розвитку та місія у воєнний час: 2020 рік: матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф., 16 листопада 2022 р. м. Київ. 2022. С. 213–216.
18. Майбутнє, яке на нас чекає. Чому без програм сталого розвитку в бізнесу немає перспектив. NV new voice: веб-сайт. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/markets/maybutnye-dlya-biznesu-staliy-rozvitok-shcho-potribno-znati-pro-nogo-vzhe-sogodni-eksperti-50083754.html> (дата звернення 19.10.2023).
19. Corporate Sustainability Insights. MSCI : веб-сайт. URL: <https://csr-ukraine.org/research/indeks-esg-prozorosti-saytiv-ukrainski/> (дата звернення 23.10.2023).
20. У керівників росте занепокоєння щодо екологічних питань – Звіт зі сталого розвитку на основі дослідження серед топ менеджменту компаній за 2022 рік. Deloitte: веб-сайт. URL: <https://www2.deloitte.com/ua/uk/pages/about-deloitte/press-releases/new-deloitte-research-highlights-increasing-business-concern-about-climate-change.html> (дата звернення 25.10.2023).
21. Н. Kireitseva, L. Demchyk, O. Paliy, A. Kahukina. Toxic impacts of the war on Ukraine. International Journal of Environmental Studies. 2023. №80 (2). P. 267–276.
22. I. Kotsiuba, O. Herasymchuk, V. Shamrai, V. Lukianova, Y. Anpilova, O. Rybak, I. Lefter. A strategic analysis of the prerequisites for the implementation of waste management at the regional level. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2023. 24 (1). P. 55–66.

ВІДНОВЛЕННЯ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ І РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ ПОСТТЕХНОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ СІРЧАНОГО КАР'ЄРУ

Шибанова А.М., Руда М.В., Джумеля Е.А., Панчук П.Г.
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79000, м. Львів
alla.m.shybanova@lpnu.ua, mariia.v.ruda@lpnu.ua,
elvira.a.dzhumelia@lpnu.ua, pavlo.panchuk.pi.2022@lpnu.ua

Одним з актуальних питань є дослідження особливостей відновлення девастрованих земель після видобування сірки, їх ефективного та раціонального використання. Колишня діяльність гірничо-хімічного підприємства характеризується різноманітною дією на геологічне середовище: відбуваються зміни природного стану його компонентів поверхневих і підземних вод, ґрунтів, рельєфу, гірничих порід. Ці зміни можуть призвести до значних, непередбачених негативних наслідків. Техногенні ландшафти характеризуються повільним відновленням екологічних функцій рослинності. Під час проведення рекультивативних робіт в техногенних екотопах часто доводиться стикатися з тим, що рослинність там вже певним чином сформувалася внаслідок природних сукцесійних процесів. Необхідно оцінити рівень такого самовідновлення і на основі отриманих даних визначити необхідність і напрямок фітормеліорації щодо конкретних екотопів. Мета дослідження – визначення можливості створення фітормеліоративних лісових насаджень на посттехногенних ландшафтах сірчаного кар'єру шляхом впровадження технологій мікоризації садивного матеріалу деревних і чагарникових порід з використанням арбускулярних мікоризних (АМ) грибів. Грунтовідновні процеси на девастрованих землях зумовлені взаємодією природних чинників і техногенезу. Формування рослинності на девастрованих землях Яворівського ДГХП «Сірка» обумовлено в першу чергу інтенсивністю ґрунтоутворювальних процесів. Грунтовий покрив посттехногенних територій представлений просторовими комбінаціями різних типів ембріоземів. Визначено основні комплекси мікроміцетів, що сформувалися на зональних ґрунтах та на ембріоземах Яворівського сірчаного кар'єру. Встановлено позитивний вплив обробки проростків споровим препаратом арбускулярних мікоризних грибів на збільшення приросту у висоту досліджуваних порід та на збільшення вмісту у них азоту, фосфору та калію. *Ключові слова:* постіндустріальні ландшафти, мікоризні гриби, гірничо-хімічне підприємства, відновлення екосистеми.

Restoration of the soil cover and plant communities of the post-technological landscapes of the sulphur quarry. Shybanova A., Ruda M., Dzhumelia E., Panchuk P.

One of the urgent issues is the study of the features of restoration of devastated lands after sulphur mining, their effective and rational use. The former activity of the mining and chemical enterprise is characterized by various effects on the geological environment: there are changes in the natural state of its components of surface and underground waters, soils, terrain, and mining rocks. These changes can lead to significant, unanticipated negative consequences. Man-made landscapes are characterized by slow restoration of ecological functions of vegetation. During reclamation works in man-made ecotopes, we often have to face the fact that vegetation has already formed there in a certain way due to natural succession processes. It is necessary to assess the level of such self-restoration and on the basis of the obtained data the need and direction of phytoreclamation in relation to specific ecotopes. The purpose of the research is to determine the possibility of creating phytoremedial forest plantations on the post-technological landscapes of sulphur quarries by implementing mycorrhization technologies of planting material of tree and shrub species using arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. Soil restoration processes on devastated lands are determined by the interaction of natural factors and technogenesis. The formation of vegetation on the devastated lands of the Yavoriv SMCE «Sirka» is caused primarily by the intensity of soil-forming processes. The soil cover of post-technological territories is represented by spatial combinations of different types of embryozems. The main complexes of micromycetes that formed on zonal soils and on embryozems of the Yavoriv sulphur quarry were determined. A positive effect of treatment of seedlings with the spore preparation of arbuscular mycorrhizal fungi on increasing the growth in height of the investigated species and on increasing their content of nitrogen, phosphorus and potassium was established. *Key words:* post-industrial landscapes, mycorrhizal fungi, mining and chemical enterprises, ecosystem restoration.

Постановка проблеми. Техногенне забруднення довкілля досягло тієї межі, за якою саме існування людства поставлено під загрозу. Масштаби і спектр техногенних забруднень безперервно зростають. Однією з причин значного посилення екологічних проблем в Україні є виведення з експлуатації великої кількості родовищ самородної сірки.

Типовим прикладом є Яворівське ДГХП «Сірка», яке містить на своїй території величезну кількість промислових відходів. Колишня діяльність гірничо-хімічного підприємства характеризується

різноманітною дією на геологічне середовище: відбуваються зміни природного стану його компонентів поверхневих і підземних вод, ґрунтів, рельєфу, гірничих порід. Ці зміни можуть призвести до значних, непередбачених негативних наслідків. Техногенні ландшафти характеризуються повільним відновленням екологічних функцій рослинності. Грунтовідновні процеси на девастрованих землях зумовлені взаємодією природних чинників і техногенезу. Формування рослинності на девастрованих землях Яворівського ДГХП «Сірка» обумовлено

в першу чергу інтенсивністю ґрунтоутворювальних процесів. Перспективним є відновлення посттехногенних ландшафтів з використанням мікоризації садивного матеріалу.

Актуальність дослідження. Одним з актуальних питань є дослідження особливостей відновлення дегазованих земель після видобування сірки, їх ефективного та раціонального використання. Українськими науковцями проводились дослідження стану ґрунтового та рослинного вкриття на порушених внаслідок видобування сірчаної руди територіях [1–6]. Однак, не вирішеною частиною проблеми залишається впорядкування порушених територій сірчаних кар'єрів та покращення їх екологічного стану шляхом створення фітомеліоративних лісових насаджень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Формування рослинного покриву на дегазованих землях Яворівського ДГХП «Сірка» зумовлене насамперед інтенсивністю ґрунтоутворюючих процесів. Ландшафти територій, порушених внаслідок видобування самородної сірки, формуються внаслідок трансформації автохтонного ґрунтового покриву: механічного (накопичування розкритих порід, улаштування хвостосховищ), фізичного (деформація мезорельєфу, зміна структури ґрунту при гідромеханізації) та хімічні (забруднення відходами і викидами в місцях підземної виплавки сірки, флотації сірковмісних порід).

Усі аспекти авторського доробку спрямовано на вирішення важливих наукових і практичних завдань у галузях екології, лісового господарства, рекультивациі і відновлення природних екосистем, а також сприяють покращенню стійкості та продуктивності рослинних популяцій в умовах зміни клімату та забруднення навколишнього середовища.

Дослідження мікоризи та її вплив на ріст і приживленість рослин на техногенно-забруднених та деградованих ґрунтах є ключовим для розуміння можливостей відновлення природної продуктивності цих ґрунтів. Це важливо для покращення екологічної ситуації в областях, які піддаються антропогенному забрудненню.

Використання спорових препаратів мікоризи для інокуляції сіянців дерев і чагарників може покращити приживленість та зростання рослин, особливо на бідних ґрунтах. Це має велике значення для лісового господарства та садівництва, оскільки дозволяє підвищити врожайність та витривалість рослин.

Використання мікоризи для ревіталізації порушених ландшафтів є важливим екологічним інструментом. Цей підхід може допомогти відновити різноманітність рослин і поліпшити якість ґрунту, сприяючи відновленню природних екосистем.

Дослідження мікоризи допомагає зрозуміти, як ця симбіотична взаємодія може зробити рослини більш стійкими до стресових умов, таких як забруднення ґрунту, висихання, чи низькі температури.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Спроби активного відновлення рослинності на ландшафтах після видобутку здійснювалися з 1940-х років [7]. Однак питання створення рослинних угруповань після видобутку ландшафтів залишається проблемним до наших днів, а звичайні методи відновлення часто є недостатньо ефективними [8]. Крім того, незбалансовані методології, які зосереджуються на рослинах, але нехтують мікробіомами, пов'язаними з рослинами, були визначені як фактор, що пояснює невдачу відновлення рослинності на посттехногенних ландшафтах [9]. АМ гриби забезпечують рослини поживними речовинами [10], наприклад, фосфором та азотом [11] і підвищують їх стійкість до біотичних і абіотичних факторів [12, 13]. Мікориза покращує ріст і життєздатність рослин, а також може захистити рослини від токсичних сполук [14, 15].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета дослідження – визначення можливості створення фітомеліоративних лісових насаджень на посттехногенних ландшафтах сірчаних кар'єрів шляхом впровадження технологій мікоризації садивного матеріалу деревних і чагарникових порід з використанням арбускулярних мікоризних (АМ) грибів.

Відповідно до мети сформульовано наступні завдання: дослідити процеси природного відновлення рослинного покриву на дегазованих землях Яворівського сірчаного кар'єру; встановити мікологічні характеристики дегазованих земель; дослідити особливості трансформації сірки мікроміцетами; з'ясувати вплив мікоризаційного препарату, створеного на основі ґрунтових міксоміцетів на ефективності вирощування лісових культур на дегазованих землях.

Наукова новизна. Авторами розроблено науково обґрунтовані рекомендації з ефективного використання дегазованих земель сірчаного кар'єру шляхом застосування біоценологічних властивостей міксоміцетів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для виявлення властивостей симбіотичних грибів стабілізували едатою в умовах підвищеного вмісту в ґрунті сполук сірки. Проведено визначення особливостей локалізації та трансформації сірки в клітинах *Oidiodendron echinulatum*. Дослідний мікроміцет *Oidiodendron echinulatum* вирощували на середовищі Чапека. Склад середовища (г/л): KCl – 0,5, MgSO₄ – 0,5, KН₄PO₄ – 1,0, FeSO₄ – 0,01, (1 мл 1% розчину). Оскільки гриб виділено з територій у яких вміст сірки перевищував норму у 10 разів, було збільшено кількість FeSO₄ до 0,1 тобто 10% розчину, NaNO₃ – 2,0, сахароза – 20,0, H₂O дист.; pH – 7,0. У складі FeSO₄ введено мічений ізотоп сірки ³⁵S у середовище, де вирощувався гриб. Використовуваний метод ізотопних індикаторів базується на положеннях, що хімічні властивості різних ізотопів одного елемента практично однакові, завдяки чому їх поведінка в проце-

сах, які вивчаються, не відрізняється від поведінки інших атомів того ж елементу, а по-друге, радіоактивні ізотопи у кількостях, що застосовуються у якості мітки, не чинять біологічної дії на живі організми. Таким чином, отримано можливість спостерігати міграцію та накопичення сірки в грибній культурі. Резистентність мікроміцету *Oidiodendron echinulatum* пов'язано з наявністю меланіну, який показав діючі властивості в якості транспортера енергії для обміну. Окрім того, відмічене зростання гіф в напрямку іонізуючого випромінювання ізотопу ^{35}S . Отримані знання покладено в основу розробки способів використання гриба *Oidiodendron echinulatum* в силватизації забруднених сіркою ембріоземів ЯСК та у технології вирощування садивного матеріалу фітомеліоративних порід, для підвищення приживлюваності та ефективності вирощування лісових культур на девастованих сірчаними виробтками земель.

Виклад основного матеріалу. Ландшафти, що формуються на територіях, підданих видобутку сірки, виникають через зміни у природному покриві ґрунту. Ці зміни включають механічні аспекти, такі як складування та використання порід, будівництво хвостосховищ; фізичні зміни, такі як деформація мезорельєфу та зміна ґрунтової структури під час гідромеханізації; і хімічні зміни, які включають забруднення відходами та викидами під час обробки сірковмісних порід підземним виплавленням та флотацією.

Швидкість формування нових ґрунтів на відвалах Яворівського сірчаного кар'єру природним чином є невеликою і залежить від розподілу рослинності, який визначається різноманітністю джерел насіння, висотою відвалів, їх розмірами, складом порід, видом рослинності та іншими факторами.

Результати морфологічного обстеження пошкоджених земель ЯСК показують, що ґрунти на досліджуваній території є біогенно-нерозвинутими. Вони формуються на рихлих породах, які складаються з третинних глин, і відносяться до класу ембріоземів. Ці ґрунти утворюються природним шляхом, через самовідновлення ґрунтів та рослинного покриву.

Посттехногенний ґрунтовий покрив на цих територіях представлений різними комбінаціями емб-

ріоземів, таких як ембріоземи ініціальні, органо-акумулятивні, гумусово-акумулятивні та дернові. Основними діагностичними ознаками, які вказують на класифікаційну приналежність, є присутність у профілях відповідних діагностичних горизонтів.

У частині, що стосується ембріозему дернового, важливо відзначити фрагментарний або фронтальний дерновий горизонт Hd. Органо-акумулятивний ембріозем характеризується наявністю фронтального органогенного горизонту HO, який включає напіврозкладені і частково нерозкладені оторфовані рештки рослин. Для гумусово-акумулятивного ембріозему характерно виражений морфологічний гумусовий горизонт H товщиною 0–3 см і фрагментарний перехідний горизонт H(h)D товщиною 3–6 см.

На техногенних територіях найпоширенішими є ембріоземи органо-акумулятивні, які формуються на відвалах порід, гідровідвалах і хвостосховищах флотації. Оскільки цей тип ґрунту еволюційно виникає після ембріоземів ініціальних, можна припустити, що процес первинного ґрунтоутворення на досліджуваній території знаходиться на етапі накопичення органічної речовини у поверхневому шарі ґрунту.

Глинисто-мергельні ембріоземи зони відкритої виробки Яворівського сірчаного кар'єру відрізняються низьким вмістом гумусу порівняно з типовими світло-сірими лісовими та слабо-дерново-підзолистими ґрунтами, відносяться до категорії дуже бідних ґрунтів.

Щодо флори на пошкоджених землях Яворівського сірчаного кар'єру, зареєстровано 155 видів вищих рослин, представлених 1 відділом, 5 класами, 35 порядками, 38 родинами та 104 родами. Покритонасінні рослини визначаються як провідний елемент з 22 порядками, 24 родинами та 108 видами. Серед родин видовим різноманіттям видається *Asteraceae* (21 рід, 30 видів). Перші шість родин об'єднують 73 види та 45 родів, що становить велику частку флори. Найбільше видів мають трав'яні рослини (132 види або 85,16%), із них трав'яні монокарпики складають 98 видів, а полікарпики – 34 види. Лісо-чагарникові та агро-рудеральні флороценокомплекси визначають флору адвентів.

Також зауважено, що апохори (92,62%) переважають серед рослин, які поширюються під впливом

Таблиця 1

Морфологічна будова ембріоземів Яворівського ДГХП «Сірка»

Тип ембріозему	Діагностичні горизонти	
	тип	характерні ознаки
Ініціальний	Відсутні	Неоднорідний субстрат
Органо-акумулятивний	Органогенний HO	Фронтальний або фрагментарний потужністю 0–1 (3) см
	Перехідний hD	Окремі темно-сірі плями
Дерновий	Дерновий Hd	Фрагментарний або фронтальний
Гумусово-акумулятивний	Гумусовий H	Фронтальний потужністю 0–3 см
	Перехідний H(h)D	Фрагментарний потужністю 3–6 см

різноманітних додаткових сил, в той час як автохорі (7,38%) розповсюджуються за допомогою специфічних пристосувань без впливу зовнішніх агентів. Встановлено, що до типових домінуючих видів у посттехногенних ландшафтах ЯСК відносяться сім мікроміцетів. Це, зокрема, види з відміченням просторової та тимчасової частоти трапляння у %: *Oidiodendron echinullatum* – 73, 74, *Cladosporium cladosporioides* – 66, 70, *Trichoderma lignorum* – 88, 61, *Trichoderma viride* – 63, 68, *Trichoderma terreus* – 65, 68, *Penicillium citrinum* – 72, 70, *Aureobasidium pullulans* – 77, 54. Вісім видів ґрунтових грибів визначено як типові часті мікроміцети. Це, відповідно в %, *Penicillium brevicompactum* – 58, 51, *Aspergillus fumigatus* – 53, 48, *Fuzarium oxysporum* – 58, 50, *Humicola grisea* – 49, 41, *Zugomicets sp.* – 46, 40, *Monilia cinerea* – 36, 38, *Rhizopus oryzae* – 35, 45 та *Aureobasidium tenuisima* – 31, 40. П'ятнадцять видів грибів – домінантні та часті, формують основу структурних особливостей дегазованих ґрунтів.

У результаті аналізу рослинних описів на ембріоземах Яворівського сірчаного кар'єру виокремлено кілька типів фітоценозів: болотно-рудеральний, болотний, лучно-болотний, лучний, чагарниково-лучно-рудеральний, чагарниковий та лісовий. Кожен з цих типів фітоценозів характеризується унікальними рисами, такими як мікрорельєф формування, механічний склад ґрунтового субстрату та вплив негативних антропогенних та екологічних факторів. Кожен фітоценоз має специфічну горизонтальну та просторову структуру розташування рослинних компонентів у просторі.

Дослідження лісових земель, що прилягають до території Яворівського сірчаного кар'єру, показує наявність двох типів лісорослинних умов – свіжого сугрудка та вологого сугрудка грудуватого підтипу. Свіжий сугрудок розташований на вирівняних та

дещо випуклих формах рельєфу, в той час як вологий сугрудок грудуватого підтипу поширений на схилах і пониженнях. У цих лісорослинних умовах відбувається формування насаджень різних типів лісу, таких як свіжа дубово-соснова судіброва, волога буково-соснова судіброва, волога буково-соснова судіброва грудуватого підтипу і свіжа грабово-соснова судіброва. Вони характеризуються насамперед умовно-одноріковими деревостанами з трьома ярусами. Деревостани високобонітетні, особливо в свіжих сугрудах грудуватого підтипу, де сосна і дуб досягають I бонітету.

Визначення значимості видів-мікроміцетів.

На основі розрахунків визначено основні комплекси мікроміцетів, що сформувалися на зональних ґрунтах (рис. 1) та на ембріоземах Яворівського сірчаного кар'єру (рис. 2).

Упродовж періоду 2019–2021 років результати кореляційного аналізу біоти мікроміцетів у кожному з екоотопів свідчать про формування примітивних грибних комплексів у ембріоземах. Ці комплекси переважно складаються з видів світлого забарвлення та відзначаються високим рівнем схожості ($r = 1,0; 0,95; 0,89$). Їх можна віднести до замкнених тричленних та лінійних плеяд. Серед структурно важливих родів у цих комплексах виділяються *Oidiodendron*, *Penicillium*, *Aspergillus* та *Trichoderma*.

Також в зональних ґрунтах виявлено стійкі грибні комплекси. Кореляційні плеяди, які відображають їх структуру на рівні $r = 1,0$, включають типи «зірка-сітка» і «квадрат», тричленні плеяди. Грибні комплекси зональних ґрунтів вирізняються переважанням структурних видів світлого забарвлення, таких як *Penicillium ochro-chlorum*, *Fuzarium oxysporum*, *Aspergillus niger*, *Trichoderma lignorum*, *Paecilomyces lilacinus*, *Penicillium citrinum*, *Trichoderma terreus*. Деякі види меланінвмісних родів грибів також

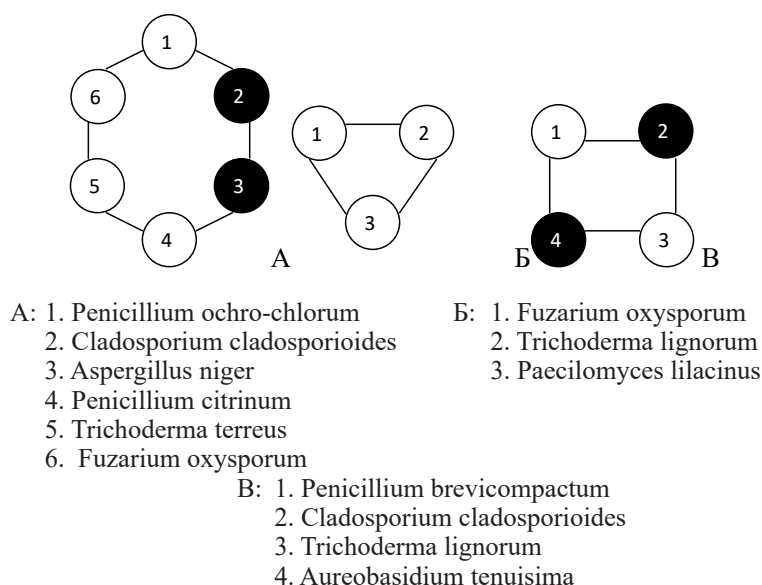


Рис. 1. Комплекси ґрунтових організмів, що сформувались на зональних типах ґрунту

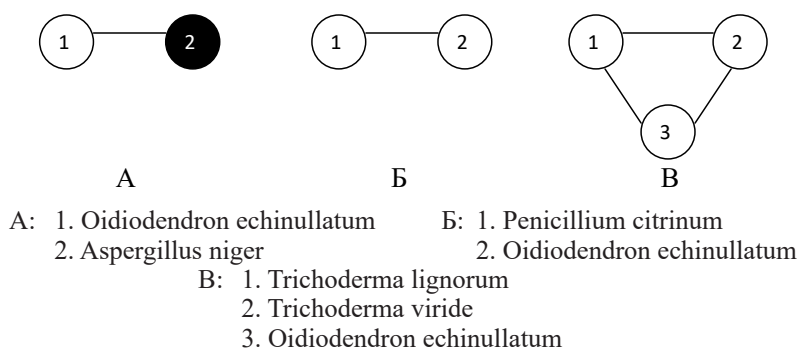


Рис. 2. Комплекси ґрунтових мікроміцетів, що сформувались на ембріоземах

входять до грибних комплексів зональних ґрунтів, наприклад *Cladosporium Cladosporioides* та *Aspergillus niger*.

Аналіз матеріалу за сезонами вказує на те, що стійкі грибні комплекси найбільш активно формуються у всіх екотопах протягом літніх місяців. Формування стійких грибних комплексів в ембріоземах, які мають високий вміст сірки, свідчить про структурні зміни в мікобіоті ґрунтів. Це свідчення про те, що у ембріоземах виникають високоорганізовані комплекси мікроміцетів, в яких ключову роль відіграють види світлого забарвлення.

Загалом, формування стійких грибних комплексів з високим вмістом специфічних видів грибів у екстремальних умовах свідчить про значну їхню стійкість до таких впливів.

Використання кількісного підходу для аналізу комплексів мікроміцетів дозволяє виявити характерні гриби для різних типів ґрунтів, виявити специфіку мікроскопічних грибів для кожного типу ґрунту, ідентифікувати їхню відповідність законам географічного зонального розповсюдження мікроорганізмів. Вказано, що зміна комплексу типових видів мікроміцетів може бути використана для оцінки різних антропогенних впливів, виявлення ролі видів у токсикозі ґрунтів, ідентифікації видів, що є характерними для конкретних ґрунтових умов та рослинних сукцесій. Такий комплекс типових видів виявляється важливим аспектом характеристики ґрунту і, водночас, інструментом для вирішення питань, пов'язаних з генезисом ґрунтів, визначенням ступеня антропогенного впливу на ґрунти та скринінгу штампів-продуцентів.

У ембріоземах спостерігається зростання фітотоксикозу порівняно з зональними ґрунтами, що супроводжується пригнібленням розвитку. У розвитку фітотоксикозу ембріоземів бере участь як абіогенний чинник (накопичення полютантів), так і біогенний чинник (накопичення мікроміцетів).

Видове різноманіття комплексів мікроміцетів оцінюється за допомогою індексів різноманіття та вирівнюваності, що використовуються в загальній екології для математичного вираження залежностей

між числом видів і їх кількістю. Для оцінки різноманіття мікроміцетів використовувалися частота трапляння та рясність, схожість угруповань визначалась за коефіцієнтом Серенсена, ступінь домінування видів – за індексом Бергера-Паркера, видового різноманіття – за індексом Шеннона, для оцінки ступеня домінування видів в комплексі використовували індекс Сімсона та індекс вирівнюваності Післу [16, 17].

Таблиця 2 містить результати розрахунків цих показників.

Згідно з отриманими даними, значення показників структури комплексів мікроскопічних грибів вказують на суттєві відмінності між зональними ґрунтами та тими, які були порушені внаслідок видобутку сірки. Індеси Шеннона, Сімсона та Післу виявилися вищими на зональних ґрунтах. Максимальні значення показників видового різноманіття зафіксовано в 2020 році, що може свідчити про самовідновлювальні функції кар'єру, його самозаростання та відновлення природних угруповань.

Видове різноманіття міцеліальних мікроміцетів збільшується при переході від фітопланки до підстилки та верхнього мінерального горизонту ґрунтів. Ці закономірності узгоджуються з функціональними можливостями міцеліальних мікроміцетів, такими як наявність широкого спектру гідролітичних та інших ферментів, які дозволяють їм утилізувати різні сполуки, включаючи ті, що є важкодоступними для інших мікроорганізмів. Також, міцеліальний тип росту сприяє успішній колонізації різних субстратів. Висока ксерофітність та виражена термотолерантність мікроскопічних грибів також впливають на їхню різноманітність та адаптаційні здатності до різних умов середовища.

Отже, спостереження підтверджують, що структурні та видові особливості мікроскопічних грибів у ґрунтах визначаються не лише природними характеристиками середовища, але і впливом антропогенних дій, зокрема, видобутку сірки.

Процес сільватизації девастрованих земель в умовах впливу симбіотичних грибів. Прискорення процесу відновлення природної продуктивності та

Таблиця 2

Індекси екологічного різноманіття угруповань ґрунтових мікроміцетів моніторингових ділянок ґрунтів Яворівського сірчаного кар'єру

Варіанти	Сезон	N	Індекс видового різноманіття Соренсена	Індекс домінування Сімпсона	Індекс Шеннона	Індекс Післу
Ембріоземи	2011	21	9,34	0,011	1,02	0,38
	2012	24	9,47	0,014	1,03	0,34
	2013	27	11,24	0,102	2,37	0,73
Зональні ґрунти	2011	35	13,56	0,087	2,76	0,79
	2012	40	16,64	0,066	3,07	0,79
	2013	41	16,91	0,068	3,12	0,84

екологічних функцій наближеного до природи лісу є можливим заходами з інокуляції препаратами на основі мікоризи [18, 19]. Вище зазначено, що ембріоземи ЯСК характеризуються дефіцитом поживних речовин, високим вмістом сірчанних сполук, високою щільністю ґрунтів та іншими обмежувальними факторами навколишнього середовища. Все це сприяє формуванню несприятливого середовища для росту і розвитку рослин [20–22].

В умовах напівконтрольованого середовища було проведено експеримент з вирощування садивного матеріалу. Використовували сіянці дерев та чагарників, що поширені у фітомеліорації: *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth., *Sorbus aucuparia* L., *Prunus divaricata* Ledeb., *Robinia pseudoacacia* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Rosa canina* L. В експерименті інокулювали корені рослин споровим препаратом мікоризи. Контролем слугували сіянці, висаджені без інокуляції.

Результати дворічного експерименту, спрямованого на вивчення впливу арбускулярних мікоризних грибів на приживленість та ріст рослинного матеріалу в умовах Яворівського сірчаного кар'єру, свідчать про перспективи використання мікоризи для поліпшення умов для росту дерев'яних та чагарникових рослин на техногенних ґрунтах з високим вмістом сірки та інших обмежувальних факторів (табл. 3) [18–22]. Отримані дані підтверджують, що використання мікоризних грибів може слугувати

ефективним інструментом для прискорення процесу відновлення природної продуктивності та екологічних функцій техногенних територій.

Враховуючи дефіцит поживних речовин, високий вміст сірки та щільність ґрунтів в ембріоземах Яворівського сірчаного кар'єру, застосування мікоризи стає важливим кроком у створенні сприятливих умов для рослинного росту в цих екстремальних умовах. Найбільший приріст у висоту та приживленість спостерігається у випадку дуба звичайного, сливи розлогої, робінії псевдоакації та обліпихи крушинової. Ці результати свідчать про потенційну ефективність використання мікоризи для відновлення рослинності на техногенних територіях, піддаючись впливу антропогенних чинників.

Отримані результати свідчать про ефективність використання арбускулярних мікоризних грибів (АМ грибів) для покращення приживленості та росту дерев'яних та чагарникових сіянців в умовах Яворівського сірчаного кар'єру, який характеризується дефіцитом поживних речовин, високим вмістом сірки та щільністю ґрунтів.

У результаті обробки сіянців АМ грибами, спостерігається значне збільшення приживленості у порівнянні з немікоризованими сіянцями. Цей ефект зафіксовано як у 2019 році (приблизно в 3,1 рази більше), так і у 2021 році (приблизно в 3,4 рази більше). Дослідження показали, що вплив

Таблиця 3

Відношення приживлюваності фімеліоративних культур оброблених і необроблених препаратом арбускулярних мікоризних грибів, рази

Видова назва сіянців	Відношення (оброблених / необроблених)	
	2019 рік	2021 рік
Дуб звичайний	4,1	4,3
Сосна звичайна	2,7	2,4
Робінія псевдоакація	2,7	4,0
Береза повисла	3,2	3,0
Слива розлога (алича)	3,6	4,5
Горобина звичайна	2,6	2,8
Обліпиха крушинова	3,1	4,3
Шипшина собача	3,0	2,9

АМ грибів позитивно впливає на процеси приживленості та росту сіянців.

Хімічний аналіз також підтвердив позитивний вплив мікоризи на харчовий статус сіянців. Сіянці, оброблені АМ грибами, містять значно більше азоту, фосфору та калію порівняно з немікоризованими. Це свідчить про те, що мікориза допомагає рослинам

здобувати більше поживних речовин з ґрунту, що є важливим для їхнього здоров'я та росту.

Отримані результати підкреслюють значення використання мікоризи для поліпшення умов для росту рослин на техногенних ґрунтах та сприяють прискоренню процесу відновлення природних екосистем в умовах антропогенного впливу (табл. 4).

Таблиця 4

Хімічний склад оброблених і необроблених препаратом АМ грибів сіянців сосни звичайної

№	Показник	Сіянці		Достовірність досліджу
		оброблені	необроблені	
1	Сира маса, мг	1242	598	P > 0,01
2	Абсолютно-суха маса, мг	345	155	P > 0,01
3	Азот, % до абсолютно-сухої маси	1,78	1,88	P > 0,01
4	Азот в одному сіянці, мг	5,75	2,87	P > 0,01
5	Фосфор, % до абсолютно-сухої маси	0,185	0,097	P > 0,01
6	Фосфор в одному сіянці, мг	0,60	0,15	P > 0,01
7	Калій, % до абсолютно-сухої маси	0,66	0,62	P > 0,01
8	Калій в одному сіянці, мг	2,17	0,96	P > 0,01

Висновки. Встановлено, що оброблення сіянців споровим препаратом арбускулярних мікоризних грибів має позитивний вплив на приріст у висоту досліджених порід, що в середньому сягає 2,7 рази у порівнянні з контролем. Генетична обумовленість реакції конкретної породи на інокуляцію відображається у різниці приросту сіянців у висоту від 2,1 до 3,7 разів, де листяні породи виявилися більш активними у відповідь на внесення спорового препарату мікоризи, порівняно з сосною звичайною.

Мікоризовані рослини відрізнялися кращим виглядом, більшою висотою і масою, а також мали удвічі більше коротких корінців. Крім того, мікоризована сіянка містила в 2 рази більше азоту, фосфору та калію, ніж немікоризована.

У процесі ревіталізації порушених ландшафтів за допомогою мікоризації садивного матеріалу, спостерігається тенденція до відновлення та зростання фіторізноманіття на флористичному і ценотичному рівнях. Зазначено, що частка синантропних видів в цьому процесі вища, ніж в умовах залуження вільних і антропогенних територій. Очищення трав'яних фітоценозів відбувається швидше, ніж лісових і чагарникових, оскільки останні мають тривалий період ремедіації та формування типових лісових фітоценозів та їх фіторізноманіття через свою довговічність та нівелюючу властивість.

Перспективи використання результатів дослідження. Висновок авторів вказує на те, що концептуальна модель інокулювання рослин на забруднених ґрунтах включає в себе оптимізацію ґрунтового середовища та поліпшення властивостей ґрунтової системи, забезпечення біодетоксикації та біодеконтамінації шляхом розширення популяцій ґрунтових мікроорганізмів та використання рослин фітомеліорантів з одночасним впливом на біологічні та космі складові ґрунту.

Також вказується на можливість створення фітомеліоративних лісових насаджень на території сірчанних кар'єрів. Ця можливість пов'язана з використанням природної сукцесії мікомеліорантів (організмів, що покращують ґрунтове середовище) та впровадження технологій мікоризації садивного матеріалу деревних і чагарникових порід. Цей підхід має на меті активувати процеси відновлення та покращення якості ґрунту в забруднених територіях.

Подяка

Цю роботу підготовлено завдяки грантовій підтримці Національного Фонду Досліджень України, реєстраційний номер проєкту 0123U103529 (2022.01/0009) «Оцінювання та прогнозування загроз відбудові та сталому функціонуванню об'єктів критичної інфраструктури» за конкурсом «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

Література

1. Назаровець У.Р., Марискевич О.Г. Фізико-хімічні та агрохімічні властивості ґрунтів Подорожненської копальні. *Науковий вісник НЛТУ: збірник науково-технічних праць*. 2013. Вип. 23.1. С. 110–118.
2. Назаровець У.Р., Тарас У.М., Оліферчук В.П. Різноманіття мікроміцетів ґрунтів девастрованих земель. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 1. С. 98–102. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2014_1_20.
3. Марискевич О. Г., Шпаківська І. М., Дідух О. І. Формування ґрунтів у межах техногенного ландшафту Яворівського ДГХП Сірка. *Наук. вісник Чернівецького унів. Серія Біологія*. 2008. Вип. 24. С. 78–82.
4. Панас Р. Рекультывація земель. Львів : Новий світ, 2005. 224 с.

5. Левик В. Про актуальність вивчення біотичної активності ґрунтів в сукцесійних екосистемах техногенних екоотопів. *Сучасний стан та перспективи розвитку біо- і агроценозів в умовах постійного техногенного забруднення*: Мат. міжнар. наук.-практ. конф., 19–20 жовтня 2006 Трускавець : Дрогобич, 2006. С. 56–59.
6. Копилов Є. П. Ґрунтові гриби як біотичний чинник впливу на рослини. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2012. Вип. 15–16. С. 7–28. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smik_2012_15-16_3.
7. Limstrom, G. A. A revised bibliography of strip-mine reclamation. Columbus, Ohio : The Station, 1962.
8. Tischew, S., Kirmer, A. Implementation of basic studies in the ecological restoration of surface-mined land. *Restoration Ecology*. 15. 2007. P. 321–325. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00217.x>
9. Koziol, L., Bever, J. D. The missing link in grassland restoration: Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation increases plant diversity and accelerates succession. *Journal of Applied Ecology*. 54. 2017. P. 1301–1309. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12843>.
10. Spatafora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M. L., Stajich, J. E. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*. 108. 2016. P. 1028–1046. <https://doi.org/10.3852/16-042>
11. Smith, S. E., Read, J. D. Mycorrhizal symbiosis: 3rd ed. Cambridge, UK: Academic Press, 2008.
12. Pozo, M. J., Lopez-Raez, J. A., Azcon-Aguilar, C., & Garcia-Garrido, J. M. Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*. 205. 2015. P. 1431–1436. <https://doi.org/10.1111/nph.13252>
13. Sikes, B., Powell, J.R., Rillig, M. Deciphering the relative contributions of multiple functions within plant–microbe symbioses. *Ecology*. 91. 2010. P. 1591–1597. <https://doi.org/10.1890/09-1858.1>
14. H. Bothe et al. The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in protecting endangered plants and habitats. *Mycorrhiza*. 2010. Vol. 20. № 7. P. 445–457. DOI: 10.1007/s00572-010-0332-4.
15. J. Tyburska et al. Mycorrhizal status of forest trees grown in urban and rural environments in Poland. *Ecological Questions*. 2013. Vol. 18. P. 49–57. DOI: 10.2478/ecoq-2013-0005.
16. Hendrychová M., Kabrna, M. An analysis of 200-year-long changes in a landscape affected by large-scale surface coal mining: History, present and future. *Appl. Geog.* 2016. 74. P. 151–159.
17. Cueva V.P. Knowledge about mine legacies, international best practice standards and mine closure regulation in the USA and El Salvador. *An Assessment of Mine Legacies and How to Prevent Them* / Cham, Switzerland : Springer International Publishing. 2017. P. 5–12.
18. Nyéki A., Neményi M. Crop Yield Prediction in Precision Agriculture. *Agronomy*. 2022. 12. 2460. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102460>.
19. Koziol L., Schultz P.A., House G.L., Bauer J.T., Middleton E.L., Bever J.D. The plant microbiome and native plant restoration: The example of native mycorrhizal fungi. *BioScience*. 2018. 68. P. 996–1006. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy125>.
20. Revillini D., Gehring C.A., Johnson N.C. The role of locally adapted mycorrhizas and Rhizobacteria in plant–soil feedback systems. *Funct. Ecol.* 2016. 30. P. 1086–1098.
21. Vahter T., Bueno C.G., Davison J., Herodes K., Hiiesalu I., Kasari Toussaint L., Öpik M. Co-introduction of native mycorrhizal fungi and plant seeds accelerates restoration of post-mining landscapes. *J Appl Ecol.* 2020. 57. P. 1741–1751. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13663>.
22. Parra A., Conesa E., Zornoza R., Faz Á., Gómez-López M.D. Decision Pattern for Changing Polluted Areas into Recreational Places. *Agronomy*. 2022. 12. 775. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040775>.

ENVIRONMENTAL SAFETY OF DRINKING WATER SUPPLY IN RURAL SETTLEMENT AREAS

Valerko R.¹, Herasymchuk L.¹, Patseva I.¹, Pokshevnytska T.², Lukianova V.³

¹State University “Zhytomyr Polytechnic”

Chudnivska str., 103, 10005, Zhytomyr

²National Transport University

Omelianovycha-Pavlenka str., 1, 01010, Kyiv

³Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine

Academician Palladin Ave., 34A, 03142, Kyiv

Ukraine faces problems of pollution of underground water supply sources due to the low level of environmental protection and insufficient attention to water supply problems. Water pollution is caused by the uncontrolled dumping of toxic waste, soil contamination, and negligence in the storage and transportation of hazardous substances. The problems of contamination of underground water supply sources in Ukraine are currently serious and need to be addressed immediately. It is necessary to carry out systematic monitoring of water quality, develop and implement strategies to reduce emissions of hazardous substances and ensure proper storage of toxic waste. It is also important to raise public awareness of the need to protect the environment and use environmentally friendly technologies.

To ensure safe and quality drinking water for residents of rural settlements who use their own wells, boreholes, and natural sources for domestic water supply, a comprehensive approach to evaluating the quality of underground drinking water using GIS technologies is necessary.

The purpose of the study was to assess the quality of drinking water sources of non-centralized water supply in rural settlements of the united communities of Zhytomyr district and to create geo-informational models based on the research results. The following research methods were used during the research: analytical, field, laboratory, statistical, calculation and cartographic.

It has been proven that the average pH level in none of the studied settlements exceeded the norm. The average nitrate concentration in the drinking water from non-centralized water sources exceeded the norm by 1.4–3.5 times, specifically in the water of the Pulyn, Cherniakhiv, Vilshanka, Volytsia, and Oliivka communities, exceeding the MAC (Maximum Acceptable Concentration) limit by more than two times. Only in rural settlements in the Liubar community was the average iron content found to be above the norm by more than 1.9 times. It was determined that the highest contribution to the overall water quality was made by nitrate and iron content.

The obtained research results and models based on them can be used by local governments of the studied communities to inform the population about the quality of drinking water and to develop a plan for improving the state of drinking water supply with the aim of increasing the level of environmental safety of drinking water. *Key words*: water supply, water drainage, water quality, water objects, water pollutants.

Екологічна безпека питного водопостачання населених пунктів в сільській місцевості. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Покшевніцька Т.В., Лук'янова В.В.

В Україні на сьогодні є актуальними проблеми забруднень підземних водних джерел, викликаних неналежним станом охорони навколишнього середовища та недостатньою суспільною увагою до водопостачання. Зокрема, забруднення води спричиняється неконтрольованим скиданням токсичних відходів, забрудненням ґрунту та недбалістю під час зберігання та транспортування небезпечних речовин. Проблеми забруднення підземних джерел водопостачання в Україні потребують невідкладного розв'язання. Отже, необхідно здійснювати систематичний моніторинг якості води, розробляти та впроваджувати стратегії зменшення викидів небезпечних речовин та забезпечення належного зберігання токсичних відходів. Також важливим є підвищення свідомості у населення щодо поліпшення охорони навколишнього природного середовища та ефективного використання екологічно безпечних технологій.

З метою забезпечення безпечною та якісною питною водою мешканців сільських населених пунктів, які використовують власні колодязі, свердловини та природні джерела для побутового водопостачання, необхідний комплексний підхід до оцінки якості підземної питної води з використанням ГІС-технологій.

Мета дослідження – оцінка якості джерел питної води нецентралізованого водопостачання в сільських населених пунктах об'єднаних громад Житомирського району та створення геоінформаційних моделей за результатами досліджень. Під час досліджень використовувалися такі методи вивчення: аналітичний, польовий, лабораторний, статистичний, розрахунково-картографічний.

Доведено, що середній рівень рН в жодному з досліджуваних населених пунктів не перевищував норму. Середня концентрація нітратів у питній воді з нецентралізованих джерел перевищила норму в 1,4–3,5 рази, зокрема у воді Пулинської, Черняхівської, Вільшанської, Волицької та Оліївської громад, перевищивши гранично допустиму концентрацію ГДК більш ніж удвічі. Лише в населених пунктах Любарської громади середній вміст заліза виявився вищим за норму більш ніж у 1,9 рази. Встановлено, що найбільший внесок у загальну якість води привніс вміст нітратів та заліза.

Отримані результати досліджень та моделі на їх основі можуть використовуватися органами місцевого самоврядування досліджуваних громад для інформування населення щодо якості питної води та розробки плану покращення стану питного водопостачання з метою підвищення рівня екологічної безпеки питної води. *Ключові слова:* водопостачання, водовідведення, якість води, водні об'єкти, забруднювачі води.

Introduction. Safe and adequate water supply is an important factor in maintaining human health, and therefore access to clean drinking water is now a basic human right. Universal access to quality drinking water and sanitation is a global development policy priority [1]. Currently, more than 700 million people, mostly in developing countries, do not have access to improved water supply and sanitation facilities [2]. The problem is particularly acute among rural settlements worldwide.

In particular, in Ukraine, as of the beginning of 2020, only 26.9% and 1.8% of rural settlements were provided with centralized water supply and sewerage, respectively [3]. Given this situation, the main sources of domestic water supply are private wells, boreholes, natural sources, etc., the water quality of which may be questionable and hazardous to the health of rural residents [4].

Munene et al. note that wells play an important role in providing water to rural populations, and agricultural activities have been identified as a significant risk factor for well water contamination [5]. The responsibility for maintaining water sources lies with their owners. Mena-Rivera & Quiros-Vega consider it important to pay attention to research on drinking water in rural areas, as there is insufficient data on its quality [6]. And given the low ecological culture of rural residents, which results in uncontrolled use of fertilizers, plant protection products, and large amounts of wastewater, which causes microbiological and chemical contamination of water sources, a large-scale study of the quality of drinking water from non-centralized water sources is needed. In Gibson & Kelsey, the lack of comprehensive research on the quality of drinking water in rural areas is recognized as one of the main barriers to providing safe water to residents who consume it from non-centralized water sources [7].

The main water pollutants in non-centralized water supply sources are microorganisms, organic matter, and heavy metals. The contamination of water with nitrates is of particular concern [8, 9]. Due to the presence of toxic elements, water has poor quality, becomes unfit for drinking, and threatens human health, which in turn causes a significant environmental problem that is currently characteristic not only of Ukraine but is also being studied by scientists around the world, including India [10], Bangladesh [11], Iran [12], China [13], Indonesia [14], New Zealand [15], the United States [16], Kenya [17], etc.

At the current stage of civilization development, geoinformation systems are of great interest, which allow for effective management decisions in many areas of human activity, including the field of drinking water supply in rural areas. The use of specialized application programs, which are developed based on geoinformation

technologies, allows creating databases and geoinformation models of the qualitative composition of groundwater, which significantly increases the relevance of the conducted research.

The purpose of this study is to evaluate the quality of drinking water in rural settlements of territorial communities in the Zhytomyr district and to present its results thematically in the form of geoinformation models for effective management of environmental safety of water supply in the community.

Materials and methods. The research was conducted on the territory of the united territorial communities of the newly enlarged Zhytomyr district of Zhytomyr region. As part of the research, drinking water samples were collected from non-centralized water supply sources in rural and urban settlements within the following united territorial communities:

- city: Zhytomyr city territorial community;
- town: Liubar, Novohuivynske, Pulyny and Cherniakhiv territorial communities;
- village: Berezivka, Vilshanka, Volytsia, Hlybochytisia, Oliivka, Stanyshivka and Teterivka united territorial communities.

Analytical research on the quality of drinking water was carried out at the Measurement Laboratory of the Polissya National University based on the following indicators: pH, content of nitrates and total iron, which were determined by generally accepted methods. In particular, the pH indicator was determined by potentiometric method, the content of nitrates – by ionometric method, total iron – by photocolometric methods. The obtained results were compared with the standards that apply in Ukraine, namely: DSanPiN 2.2.4-171-10 “Hygienic Requirements to Drinking Water Intended for Human Consumption” [18].

The results of analytical studies on the quality of drinking water from non-centralized water supply sources, which were conducted within the rural settlements of the united territorial communities of the Zhytomyr consolidated district, were grouped into the relevant observation and testing databases and became the basis for creating geoinformation models of the studied objects. The construction of a geodatabase and output maps based on the research results was carried out using the ArcGIS Pro software package (developed by ESRI, USA), which provides access and management of geospatial data on a local network or via the Internet, contains a large number of tools for their processing and provides geocoding of large volumes of cartographic data suitable for processing in batch mode.

Results. The study results showed that on average none of the studied communities were found to be non-compliant with the pH indicator criteria. However,

in almost all communities, except for Liubar, Vilshanka, and Volytsia, a decrease in pH to the level of 5.45 was observed, indicating water acidification. An increase in pH up to 12.5 units was recorded in the water of the well at Nekrashivska gymnasium, located in the village of Nekrashiv of Oliivka community (Figure 1).

The average nitrate content in the drinking water of all the communities studied exceeds the standard

(50 mg/dm³) from 1.4 times in Novohuivynske community to 3.5 times in Volytsia (Figure 2). The maximum nitrate content of 660 mg/dm³ was recorded in the well water of Veresy, a village that is part of the Zhytomyr community. In general, the concentration of nitrates varied within a fairly wide range from 0.508 to 660 mg/dm³.

The communities were grouped according to the average nitrate content in drinking water. Thus, it has

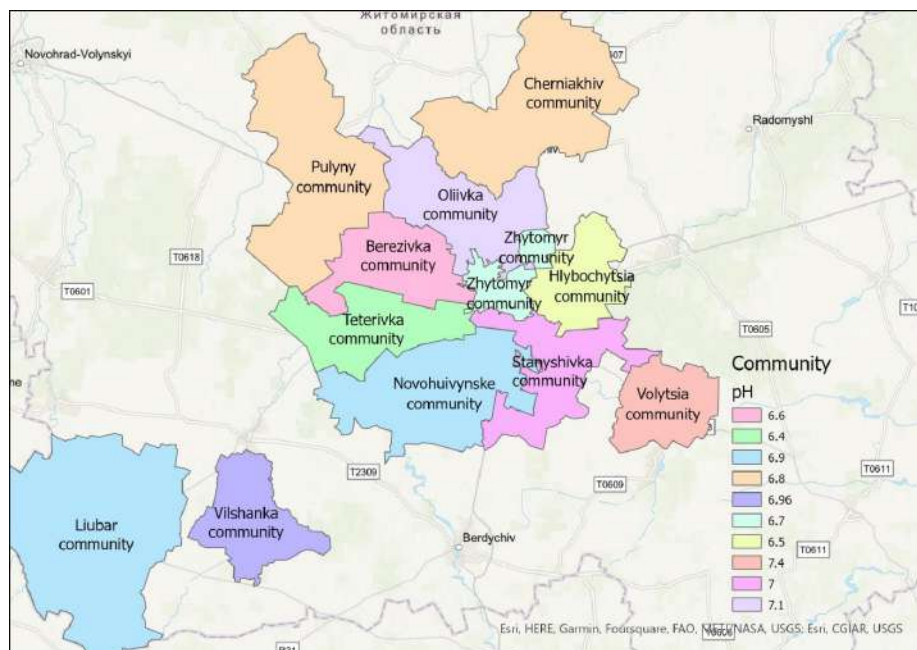


Fig. 1. Level of pH indicator in drinking water from non-centralized water supply sources in the studied communities, pH units

Source: own research.

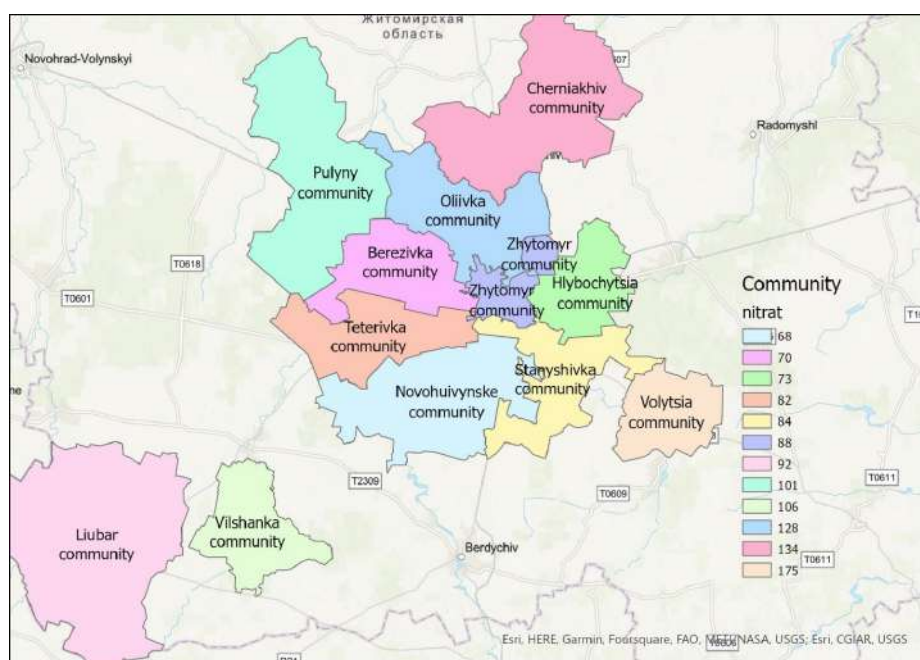


Fig. 2. Nitrate content in drinking water from non-centralized water supply sources in the studied communities, mg/dm³

Source: own research.

been established that an excess of nitrate content by 1.1 to 2 times was recorded in seven communities, and an excess of the MAC by more than two times was detected in five communities (Table 1).

The average content of total iron in drinking water from non-centralized water supply sources in territorial communities ranged from 0.17–1.89 mg/dm³. Exceedance of the standard, on average, was recorded only in rural settlements of the Liubar community, which amounted to 1.9 times (Fig. 3).

Through water intake and surveys in the area of wells, interviews with local residents, and inspections of rural settlements, it was found that the water quality of non-centralized water supply sources is not ideal, which is associated with specific sources of pollution. The environmental and cultural level of local residents is low. The chaotic development of household plots, disregard for the requirements of sanitary legislation, the application of nitrogen fertilizers in violation of sanitation standards, combined with inadequate maintenance, are the reasons for the deterioration of water quality in modern non-centralized water supply systems [19].

The responsibility for managing the water resources of non-centralized water supply sources lies with their owners, who often have illusions about their control and water quality, and as a result underestimate the risks of pollution. The perception of water quality in non-centralized water supply sources is important for making decisions and taking measures to improve it and prevent pollution. However, such decisions and measures should be implemented not only at the individual level, but also at the level of village and town councils and united territorial communities.

Having assessed the state of non-centralized drinking water supply in the studied communities of Zhytomyr district, it was proved that the quality of drinking water in many cases does not meet the standard, and its constant consumption can negatively affect the health of local residents, especially children. Therefore, there is a need to develop practical recommendations for local governments to improve the environmental safety of drinking water supply [20–24].

In view of this, it became necessary to develop a Plan to improve the state of drinking water supply within the community. The strategic objective of this document is

Table 1

Grouping of UTCs by the indicator of exceeding the average nitrate content in drinking water

Exceedance of standard	UTCs
1,1–2,0 MAC	Zhytomyr, Liubar, Novohuivynske, Berezivka, Hlybochytisia, Stanyshivka, Teterivka
2,1–5,0 MAC	Pulyny, Cherniakhiv, Vilshanka, Volytsia, Oliivka

Source: own research.

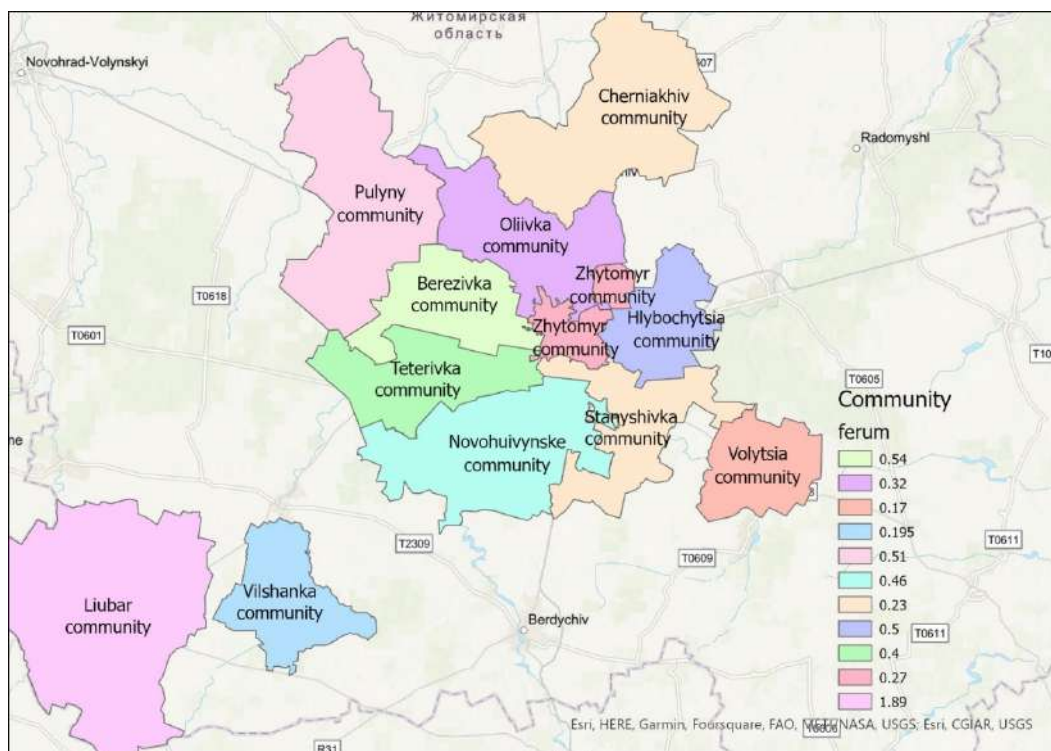


Fig. 3. Total iron content in drinking water of the studied communities, mg/m³

Source: own research.

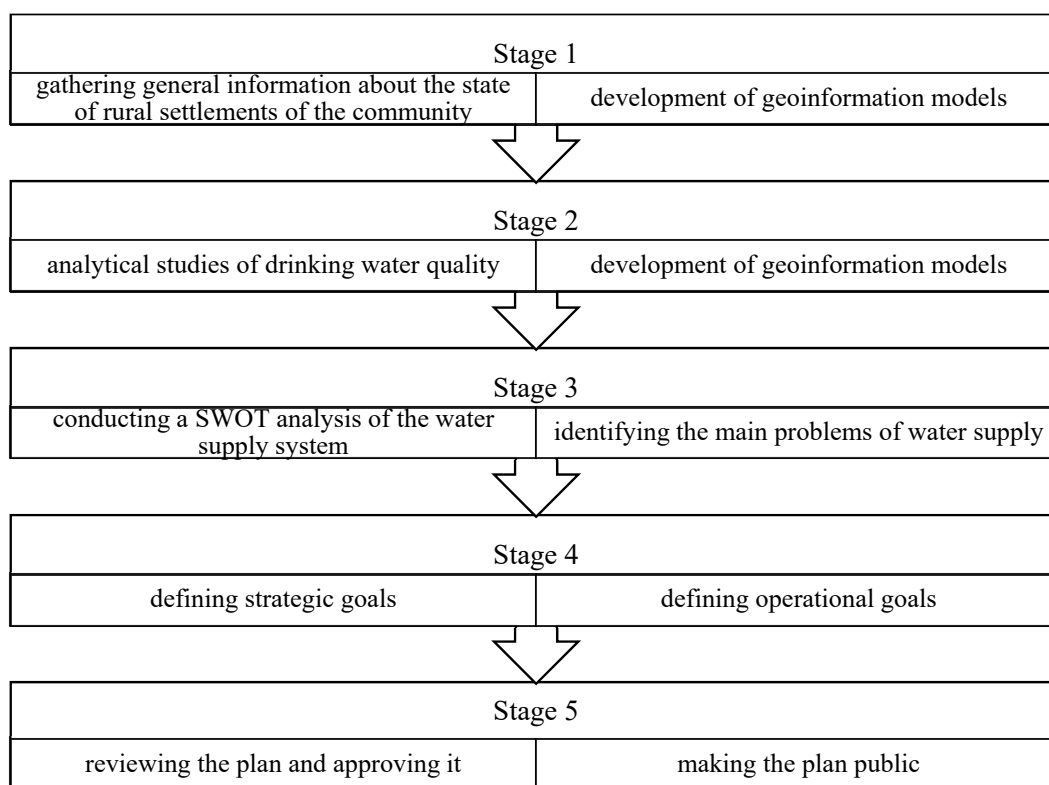


Fig. 4. Key stages of developing a plan for improving the state of community drinking water supply

to achieve a safe level of water supply and drinking water quality in the community through the interaction of the governing body and village residents. The development of the Plan must take into account public opinion, comments and suggestions. Before starting the development of the plan for improving the state of community drinking water supply, it is necessary to conduct a survey of the local population to determine the level of their interest and awareness in the field of safe water supply.

The development of the Plan should be based on the sequential implementation of 5 mandatory stages (Figure 4), the number of which may be increased depending on certain conditions. The development team should include representatives of all settlements in the community, representatives of the governing body, heads of utility companies, village elders, members of the public, and engaged experts and scientists from certain institutions. In order to inform the population, the progress of the plan development process

should be covered on the community website and in social media.

Conclusions. In order to improve the environmental safety of drinking water supply, it is necessary to develop a plan for improving the condition of drinking water supply within a particular community, which should be based on the joint efforts of the management staff and residents of rural settlements; also, when developing the plan, it is mandatory to use GIS technologies with a territorial reference to map and identify the causes of the negative state of drinking water.

Thus, the use of geo-information systems and the creation of geo-information models of the state of potable underground water in rural settlement areas with their help make it possible to obtain effective management decisions regarding the creation and improvement of the level of safe water supply of united territorial communities. Therefore, further research should involve the creation of similar models for all communities of Zhytomyr region.

References

1. UNDP Ukraine: Goal 6. Clean water and sanitation. URL: <https://www.undp.org/ukraine/sustainable-development-goals#clean-water-and-sanitation> (дата звернення 09.10.2022).
2. Diseases and risks / WHO. URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/en (дата звернення 09.10.2022).
3. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. *Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2019 році.* (2020). URL: https://mtu.gov.ua/files/%D0%9D%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%20%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%8C_2019.pdf (дата звернення 09.10.2022).

4. Valerko, R.A., & Herasymchuk, L.O. Ecological assessment of the state of drinking water within the bounds of the united territorial communities of the expanded Zhytomyr district. *Human and environment. Problems of neoecology*. 2021. № 35, P. 37–47. doi: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-04>.
5. Munene, A., Lockyer, J., Checkley, S., & Hall, D.C. Perceptions of drinking water quality from private wells in Alberta: A qualitative study. *Canadian Water Resources Journal. Revue canadienne des ressources hydriques*. 2019. № 44, 3, P. 291–306. doi: <https://doi.org/10.1080/07011784.2019.1601599>.
6. Mena-Rivera, L., & Quiros-Vega, J. (). Assessment of drinking water suitability in low income rural areas: a case study in Sixaola, Costa Rica. *Journal of Water and Health*. 2018. № 16, 3, P. 403–413. doi: <https://doi.org/10.2166/wh.2018.203>.
7. Gibson, J. & Kelsey, P. Strategies to improve private-well water quality: a North Carolina perspective. *Environmental Health Perspectives*. 2017. № 125(7):076001. doi: <https://doi.org/10.1289/EHP890>.
8. Romanchuk, L.D., Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O., & Kravchuk, M.M. Assessment of the impact of organic agriculture on nitrate content in drinking water in rural settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. № 11, 2, 17–26. doi: https://doi.org/10.15421/2021_71.
9. Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O., Martenyuk, G.M., & Kravchuk M.M. Ecological assessment of vegetable products grown in the city of Zhytomyr and its residential suburb. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8(1), 927–938. doi: https://doi.org/10.15421/2018_295.
10. Karunanidhi, D., Aravinthasamy, P., Subramani, T., & Manish Kumar. Human health risks associated with multipath exposure of groundwater nitrate and environmental friendly actions for quality improvement and sustainable management: A case study from Texvalley (Tiruppur region) of India. *Chemosphere*. 2021. 265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129083>.
11. Ghosh, G.C., Khan, M.J.H., Chakraborty, T.K. et al. Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. *Scientific Reports*. 2020. 10, 5206. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62187-5>.
12. Qasemi, M., Farhang, M., Biglari H. et al. Health risk assessments due to nitrate levels in drinking water in villages of Azadshahr, northeastern Iran. *Environ Earth Sciences*. 2018. № 77, 782. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7973-6>.
13. Yu, G., Wang, J., Liu, L. et al. The analysis of groundwater nitrate pollution and health risk assessment in rural areas of Yantai, China. *BMC Public Health*. 2020. № 20, 437. doi: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08583-y>.
14. Moldovan, A., Hoaghia, M.A., Kovacs, E. et al. Quality and Health Risk Assessment Associated with Water Consumption – A Case Study on Karstic Springs. *Water*. 2020. 12, 3510. doi: <https://doi.org/10.3390/w12123510>.
15. Richards, J, Chambers, T, Hales, S, Joy, M, Radu, T, Woodward, A, Humphrey, A, Randal, E, & Baker, MG. Nitrate contamination in drinking water and colorectal cancer: Exposure assessment and estimated health burden in New Zealand. *Environ Res*. 2022. 112322. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112322>.
16. Wheeler, D.C., Nolan, B.T., Flory, A.R. et al. Modeling groundwater nitrate concentrations in private wells in Iowa. *The Science of the total environment*. 2015, № 536, 481–488. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.080>.
17. Коцюба І.Г., Лико С.М., Лук'янова В.В., Анпілова Є.С. Науково-теоретичне обґрунтування накопичення твердих побутових відходів Житомирщини. *Ecological safety and natural resources*. 2020. №4 (36). С. 56–65. Index Copernicus International <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.4.56-65>
18. Nyambura, C., Hasim, N.O., Chege, M.W., Tokonami, S., & Omonya, F.W. (2020). Cancer and non-cancer health risks from carcinogenic heavy metal exposures in underground water from Kilimambogo, Kenya. *Groundw. Sustain. Dev*, 10, 100315.
19. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10): Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 р. № 400 / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення 09.10.2022).
20. Herasymchuk, L., Romanchuk, L. & Valerko, R. Water quality from the sources of non-centralized water supply within the rural settlements of Zhytomyr region. *Ekológia (Bratislava)*/ 2022. № 41, 2, 126–134. doi: [10.2478/eko-2022-0013](https://doi.org/10.2478/eko-2022-0013).
21. Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O., Yemets, A.V. & Pitsil, A.O. (). Geoinformation models of drinking water quality of rural settlement areas. *Environmental sciences*. 2023. № 1 (46), 7–11. doi: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.1>.
22. Коцюба І. Г., Коробійчук А. О., Радченко Л. М. Дослідження сучасного стану забруднення вод гідрографічної мережі Житомирського району. *Екологічні науки*. 2014. № 6. С. 96–102.
23. Kotsiuba, I.G., Skyba, G.V., Skuratovskaya, I.A., Lyko, S.M. Ecological Monitoring of Small Water Systems: Algorithm, Software Package, the Results of Application to the Uzh River Basin (Ukraine). *Methods and objects of chemical analysis*. 2019. № 14(4), 200–207.
24. Lukianova V.V., Kotsiuba I.G., Lyko S.M., Anpilova Y.S. Computational dynamics of municipal wastes generation in Zhytomyr city. *Ecological safety and natural resources*. 2018. № 1 (25). С. 33–43.

ОЦІНКА КОМПОНЕНТІВ ЕКОСИСТЕМИ СТАВКА РИБОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Домбровський К.О., Єременко Т.С.
Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя
dombrov1717@ukr.net, tanyayeromenko2017@gmail.com

Досліджували гідробіологічні та гідрохімічні показники ставка розташованого на території Максимівської сільської ради, Запорізького р-ну, Запорізької області. Визначали основні гідрохімічні показники якості води дослідженої водою: жорсткість, мінералізацію, азот нітратний, азот нітритний, водневий показник, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню, сірководень, іони кальцію та іони марганцю. Для гідробіологічного аналізу (дослідження угруповань зоопланктону) ставка відбирали гідробіологічний матеріал за загальноприйнятими методиками. Проведено дослідження структурної організації зоопланктонних угруповань ставка. Встановлено видовий склад, представленість таксономічних груп, вивчено кількісні показники розвитку (чисельності та біомаса) зоопланктону упродовж 2 років дослідження. Предметом дослідження є компоненти екосистеми ставка, зокрема фізичні, хімічні та біологічні складові водного середовища та їх взаємозв'язки; вплив на екосистему інших чинників (рибальська діяльність, рекреаційне використання).

Акцент роботи робиться на рекреаційному потенціалі ставків, включаючи можливості використання їх для туризму та створення інфраструктури для відпочинку. Застосування стратегій управління природними ресурсами в рамках рибогосподарського використання ставків також розглядається з погляду збереження біорізноманіття та підтримки рибного господарства. Основною особливістю роботи є комплексний підхід до вивчення та оцінки компонентів водних екосистем ставків, який дозволяє вносити новаторський внесок у розвиток наукового знання в галузі екології. Рекреаційні та рибогосподарські ставки стають об'єктами інтенсивного використання, і важливо визначити вплив цього використання на екосистему. Дослідження дозволяють розробляти стратегії, які забезпечують сталість використання природних ресурсів. Робота висвітлює екологічну стійкість використання ставків, а також взаємодію між місцевими громадами та навколишнім природним середовищем. Отримані результати можуть бути корисними для розробки ефективних стратегій управління та збереження екосистем ставків, які служать рекреаційним та рибогосподарським цілям, сприяючи сталому використанню цих цінних природних ресурсів.
Ключові слова: якість води, зоопланктон, видовий склад, гідрохімічні показники, ставок.

Assessment of the ecosystem components of recreational and fishery ponds. Dombrovskiy K., Yeremenko T.

We investigated the hydrobiological and hydrochemical parameters of the pond located on the territory of the Maksymivka village council, Zaporizhzhia district, Zaporizhzhia region. The main hydrochemical indicators of water quality of the studied reservoir were determined: hardness, mineralization, nitrate nitrogen, nitrite nitrogen, hydrogen index, dissolved oxygen, biochemical oxygen consumption, hydrogen sulfide, calcium ions and manganese ions. For the hydrobiological analysis (study of zooplankton communities), the pond was sampled according to generally accepted methods. The structural organization of zooplankton communities in the pond was studied. The species composition, representation of taxonomic groups, and quantitative indicators of zooplankton development (number and biomass) were determined during 2 years of study. The subject of the study is the components of the pond ecosystem, in particular the physical, chemical and biological components of the aquatic environment and their interrelationships; the impact of other factors on the ecosystem (fishing activities, recreational use).

The paper focuses on the recreational potential of ponds, including the possibility of using them for tourism and creating infrastructure for recreation. The application of natural resource management strategies within the framework of fisheries use of ponds is also considered in terms of biodiversity conservation and fisheries support. The main feature of the work is a comprehensive approach to the study and assessment of the components of water ecosystems of ponds, which allows to make an innovative contribution to the development of scientific knowledge in the field of ecology. Recreational and fishery ponds are becoming intensively used, and it is important to determine the impact of this use on the ecosystem. Research allows for the development of strategies that ensure the sustainability of the use of natural resources. The paper highlights the environmental sustainability of pond use, as well as the interaction between local communities and the natural environment. The findings can be useful for developing effective strategies for managing and conserving pond ecosystems that serve recreational and fisheries purposes, contributing to the sustainable use of these valuable natural resources. *Key words:* water quality, zooplankton, species composition, hydrochemical parameters, pond.

Постановка проблеми. Ставки рекреаційного та рибогосподарського призначення є важливими екосистемами, які відіграють важливу роль у збереженні природних ресурсів, задоволенні потреб людей у відпочинку та рибальстві [1]. Однак, зростаючий тиск людської діяльності на такі екосистеми, такий як вплив промислових та сільськогосподарських підприємств, будівництво інфраструктури та інші фактори, може призвести до знищення різноманіття

видів, погіршення якості води та інших компонентів екосистеми. Екологічна оцінка компонентів екосистеми ставку рекреаційного та рибогосподарського призначення є важливою задачею, яка допоможе встановити стан екосистеми та виявити основні проблеми її функціонування [2].

Актуальність дослідження. З високим рівнем інтересу громадськості до активного відпочинку та риболовлі, а також збільшенням числа рекреаційних

об'єктів, дослідження екосистем ставків є невід'ємною частиною стратегій сталого розвитку та управління природними ресурсами. Зростаюча увага до якості води та її впливу на здоров'я людей і біорізноманіття ставить на порядок денний необхідність систематичної оцінки екосистем, які відіграють ключову роль у забезпеченні цих аспектів [3]. Попит на продукцію рибної галузі вимагає розробки стратегій управління рибними ресурсами, щоб забезпечити сталість видобутку та збереження біорізноманіття. Екологічна оцінка компонентів екосистеми ставка є важливою для оцінки стану екосистеми та виявлення проблем її функціонування. Зміна клімату може призвести до змін у структурі та функціонуванні екосистем водойм, тому важливо вивчати адаптаційні можливості та вразливість екосистем до змін клімату. Дослідження екосистем ставків рекреаційного та рибогосподарського призначення є важливим і високо актуальним завданням, яке сприяє забезпеченню сталого використання природних ресурсів та збереженню біорізноманіття [4].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження прямо пов'язане із вирішенням важливих завдань, що виникають у науковому та практичному вимірах, спрямованих на збереження та відновлення водних екосистем та їхніх функцій.

Результати проведених досліджень сприяють розробці рекомендацій щодо покращення якості води, забезпечення безпеки водозабезпечення для рекреаційного та рибогосподарського використання; забезпечення стійкості екосистеми до негативних впливів зовнішніх факторів; розробка соціальних програм та стратегій, спрямованих на забезпечення взаємовигідного співіснування людей та природи [5, 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тема оцінки екосистем ставків рекреаційного та рибогосподарського призначення вивчається за кордоном, існують багато досліджень та публікацій в цій області. Велика кількість наукових установ, університетів та організацій займаються дослідженнями впливу рекреаційного та рибогосподарського використання на екосистеми водойм. Різні країни та регіони вивчають цю тему, орієнтуючись на свої конкретні умови та проблеми. Наукові публікації, конференції та дослідження зазвичай включають аспекти біорізноманіття, впливу людської діяльності на екосистеми, управління рибними ресурсами, оцінку якості води та розробку стратегій для сталого використання водних ресурсів [7, 8]. Рекреаційні та рибогосподарські ставки стають об'єктами інтенсивного використання, і важливо визначити вплив цього використання на екосистему. Дослідження дозволяють розробляти стратегії, які забезпечують сталість використання природних ресурсів [9]. Рекреаційне та рибогосподарське використання може впливати на якість води в ставках. Дослідження оцінюють хімічний та біологічний склад води, щоб забезпе-

чити її відповідність вимогам безпеки та екологічних стандартів [10].

Мета. Визначити екологічний стан ставка для потреб рибогосподарського призначення за основними гідрохімічними показниками якості водного середовища та структурними показниками зоопланктону.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проведена оцінка компонентів екосистеми ставка Максимівської сільської ради, Запорізького р-ну, Запорізької області в умовах воєнного стану.

Новизна. Вперше були досліджені основні гідрохімічні показники якості води ставка Максимівської сільської ради, Запорізького р-ну, Запорізької області з урахуванням кількісного та якісного складу зоопланктону.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримані результати досліджень демонструють важливість комплексного підходу при екологічній оцінці стану водних ресурсів рибогосподарського призначення.

Матеріали та методи дослідження. Місце відбору проб був ставок, розташований на території Максимівської сільської ради, Запорізького р-ну, Запорізької області. Проби зоопланктону відбирали за допомогою кількісної сітки Апштейна, середня модель (відфільтровували 100 літрів води). Для горизонтального лову зоопланктону також використовували конічну сітку Апштейна (діаметр конусу 28 см, довжина 40 см). Фіксація гідробіологічного матеріалу проводилась шляхом фіксації проб розчином етилового спирту (70–95%). Камеральна обробка проб зоопланктону в лабораторних умовах.

Завдяки одержаним результатам дослідження можна буде розробити та впровадити рекомендації щодо збереження та підтримки екосистем ставків рекреаційного та рибогосподарського призначення, а також сформулювати свідоме ставлення до навколишнього середовища серед громадськості. Теоретично та експериментально визначено, що результати роботи несуть важливий внесок у наукові дослідження та розвиток науки в галузі екології, допомагає поглибити розуміння водних екосистем, їхньої динаміки, біорізноманіття та ролі в екологічних процесах.

Викладення основного матеріалу. Екологічні компоненти ставка проводили в липні 2022–2023 рр. Впродовж даного періоду гідрохімічні показники якості води водойми були в межах допустимих норм. Жорсткість води, вміст іонів кальцію та іонів марганцю відповідали нормативним значенням. За водневим показником, середовище на більшій частині водойми є слаболужним (рН 9,0–9,1), і відповідає вимогам до якості води. Активну реакцію води водного середовища слід підтримувати на слаболужному рівні, оскільки кисле середовище негативно впливає на загальний фізіологічний стан риб та сприяє розвитку інфекційних захворювань.

В таблицях 1 і 2 представлені дані щодо гідрохімічних показників якості води ставка за досліджений період (2022–2023 роки). За період досліджень у водоймі не було виявлено значного цвітіння води. Вміст розчиненого кисню у воді був достатнім по всій товщі води. Прозорість води в 2023 році становила 29–30 см (за диском Секкі), що на 7–8 см вище, ніж в 2022 році.

Згідно із отриманих даних, які представлені в табл. 1, ми можемо зробити висновок про те, що у липні 2022 року гідрохімічні показники води дослідженого ставка у порівнянні з оптимальними показниками були у межах норми. Вміст Ca^{2+} у досліджених пробах води відповідно до оптимального показника був нижчим й коливався в межах від 60 мг/дм³ до 58 мг/дм³. Отже, низький вміст кальцію, відіграє важливу роль у водних екосистемах, особливо на структуру і функціонування цих екосистем, що призводить до змін процесів як біологічних, так і хімічних.

У приповерхневій товщі води ставка (табл. 1) спостерігається також підвищений вміст мінералізації води до 2500 мг/дм³ відповідно до оптимального. Це може бути наслідком високого вмісту мінеральних солей, забруднення різними речовинами, антропогенного впливу або природних процесів, і призводити до зменшення концентрації у воді розчиненого кисню. Підвищення концентрації цього показника може визначати воду, як непридатну для рибогосподарського призначення.

У липні 2023 року, було виявлено майже аналогічні гідрохімічні показники якості води у всіх 4-х досліджуваних пробах, як у 2022 році. Було виявлено низький вміст кальцію у воді, а прозорість води в ставку трохи збільшилась до (29–31 см), див. табл. 2.

Характеризуючи гідрохімічні показники якості води ставка в 2023 році можна зауважити, що в приповерхневій і придонній товщі води концентрація іонів кальцію була у межах 28–31 мг/дм³, концентрація нітрат іонів – 0,05–1,2 мг/дм³, концентрація нітрит іонів – <0,03 мг/дм³, концентрація іонів марганцю змінювалась у діапазоні від 0,015 до 0,0161 мг/дм³. Також слід зазначити, що концентрація біохімічного споживання кисню змінювалась від 1,3 до 1,8 мг/дм³ й була дещо вищою у придонних шарах води у порівнянні з приповерхневим шаром. Концентрація розчиненого кисню у воді ставка була в межах 6,4–6,9 мг/дм³. Жорсткість та мінералізація води досліджуваної водойми змінювалися у певному діапазоні – від 4,4 до 5,0 мг-екв/дм³ й від 650 до 700 мг/дм³, див. табл. 2.

Разом з тим відомо, що важливим показником санітарно-гігієнічного стану природних водойм є вміст біогенних речовин, зокрема сполук азоту та фосфору. До біогенні речовини, які активно беруть участь у життєдіяльності водних організмів належать сполуки нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), фосфору (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), силіцію (HSiO_3^- , SiO_3^{2-}), заліза (Fe^{2+} , Fe^{3+}) та деяких мікроелементів. Наразі не було встановлено погіршення екологічного стану ставка розташованого на території Максимівської сільської ради, Запорізького р-ну, Запорізької області за вмістом біогенних речовин за досліджений період. Це свідчить про достатню самоочисну здатності водойми.

Аналізуючи отриманні результати щодо гідрохімічних показників якості води дослідженого ставка можна зробити узагальнення. За досліджений період (липень 2022–2023 роки) гідрохімічні показники води ставка у порівнянні з оптимальними показ-

Таблиця 1

Основні гідрохімічні показники якості води ставка (липень 2022 року)

Показники якості води	Оптимально	Проба №1	Проба №2
		дно	поверхня
		2022 рік	
Жорсткість (мг-екв./дм ³)	5-20	4,6	5,8
Кальцій (мг/дм ³)	160-200	60	58
БСК ₅ мг О ₂ /дм ³	до 6,0	2,3	1,8
Розчинений кисень мг О ₂ /дм ³	6,0-8,0 мін. – 1,0-2,0	3,9	5,9
Водневий показник, рН	7,2-9,0	8,5	8,1
Азот нітратний NO ₃ ⁻ мг/дм ³	до 3,0	1,29	1,4
Азот нітритний NO ₂ ⁻ мг/дм ³	0,1	0,052	0,06
Сірководень, (мг/дм ³)	від 0 до 0,1	0,06	0,07
Марганець (мг/дм ³)	0,01-0,1	0,014	0,01
Пестициди (мкг/дм ³)	до 4,0	н/і	н/і
Мінералізація води (мг/дм ³)	<1000	782	2500
Прозорість, см	Трохи мутна	мутна, без запаху прозорість 21 см	мутна, без запаху прозорість 21 см

Примітка: н/і – не ідентифіковано.

никами були у межах норми. Значення якості води таких показників, як біохімічне споживання кисню, розчинений кисень, іони марганцю, нітрит іони, нітрат іони, іони кальцію, мінералізація та жорсткість води не перевищували значення ГДК рибогосподарського призначення. Активна реакція води ставку є слаболужною (рН 9,0–9,1), що відповідає вимогам до якості води.

Зоопланктон дослідженої водойми у 2022 році був представлений веслоногими ракоподібними та кладоцерами (гіллястовусими ракоподібними), коловертки в даному угрупованні літорального зоопланктону не зустрічались. Також в зоопланктонному угрупованні було виявлено молодь гіллястовусих ракоподібних. Видовий склад зоопланктону був представлений 3 видами та формами, які належать до двох таксономічних груп. Найбільша кількість видів була виявлена серед гіллястовусих ракоподібних (2 види), 1 вид був виявлений серед веслоногих ракоподібних. За чисельністю домінували гіллястовусі ракоподібні 33000 екз./м³ або 55% від загальної чисельності зоопланктону. Чисельність веслоногих ракоподібних була нижчою і становила 27000 екз./м³ або 45%. За біомасою в зоопланктоні домінували також гіллястовусі ракоподібні 1956,0 мг/м³, головним чином за рахунок *Daphnia (D.) galeata*. Біомаса веслоногих ракоподібних дорівнювала 1512,0 мг/м³, що відповідає 44% загальної біомаси угруповання зоопланктону. Результати дослідження зоопланктону показали, що це угруповання характеризується середніми значеннями як чисельності так і біомаси. За кількісними показниками угруповання зоопланктону водойму можна охарактеризувати як мезотрофну (середньокормну).

Видовий склад зоопланктону пелагіалі водойми був представлений 5 видами та формами, які належать до трьох таксономічних груп. Найбільша кількість видів була виявлена серед гіллястовусих ракоподібних (3 види), веслоногі ракоподібні та коловертки були представлені по 1 виду. В зоопланктоні пелагеалі за чисельністю і біомасою домінували гіллястовусі ракоподібні (головним чином за рахунок *Daphnia (D.) galeata*) та склали 90% і 93,5% від загальної чисельності зоопланктону відповідно. В угрупованні пелагічного зоопланктону дослідженої водойми хижаки (*Acanthocyclops (s. str.) vernalis vernalis* та *Leptodora kindtii*) склали 10% та 7% від загальної чисельності та біомаси зоопланктону відповідно.

Зоопланктон дослідженої водойми у 2023 році був представлений виключно веслоногими ракоподібними та їх наупліальними стадіями. Угруповання зоопланктону було представлено одним видом копепод чисельність і біомаса якого була не високою та складала 360 екз./м³ і 20,16 мг/м³, відповідно.

Порівнюючи результати гідробіологічних досліджень зоопланктону за 2022–2023 року слід відзначити, що видове різноманіття зоопланктону та кількісні показники його розвитку в липні 2023 року знизилися у порівнянні із угрупованням зоопланктону липня 2022 року. Так, видовий склад зоопланктону знизився з трьох видів до одного таксону. Кількісні показники зоопланктону також знизилися – чисельність з 60000 екз./м³ до 380 екз./м³, тобто майже в 158 разів, а біомаса з 3468 мг/м³ до 20,18 мг/м³, тобто в 172 рази.

Не високе видове різноманіття та низькі кількісні показники зоопланктону дослідженої водойми можна пояснити напевно тим, що в цьому році

Таблиця 2

Основні гідрохімічні показники якості води ставка (липень 2023 року)

Показник якості води	Оптимально	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Проба № 4
		дно	поверхня	дно	поверхня
Жорсткість (мг-екв./дм ³)	5-20	4,5	5	4,4	4,7
Кальцій (мг/дм ³)	160-200	29	28	30	31
БСК ₅ мг О ₂ /дм ³	до 6,0	1,7	1,5	1,8	1,3
Розчинений кисень мг О ₂ /дм ³	6,0-8,0 мін. – 1,0-2,0	6,4	6,6	6,5	6,9
Водневий показник, рН	7,2-9,0	9,1	9,0	9,08	9,05
Азот нітратний NO ₃ ⁻ мг/дм ³	до 3,0	0,05	0,08	1,1	1,2
Азот нітритний NO ₂ ⁻ мг/дм ³	0,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Сірководень, (мг/дм ³)	від 0 до 0,1	відсутній	відсутній	відсутній	відсутній
Марганець (мг/дм ³)	0,01-0,1	0,0155	0,015	0,0161	0,016
Пестициди(мкг/дм ³)	до 4,0	н/і	н/і	н/і	н/і
Мінералізація (мг/дм ³)	<1000	668	700	650	680
Прозорість, см	Трохи мутна	мутна, без запаху прозорість 29 см	мутна, без запаху прозорість 29 см	мутна, без запаху прозорість 30 см	мутна, без запаху прозорість 31 см

водна маса ставка суттєво збільшилась за рахунок потрапляння води із поверхневих водних об'єктів (внаслідок значних атмосферних опадів в цьому році). Також на гідробіологічні показники зоопланктону впливали і погодні умови при яких відібралися проби зоопланктону, а саме потужний вітер, який утворював суттєві згинно-нагінні явища. В результаті перемішування води, водна товща (особливо у мілководній зоні) була насичена значною кількістю зваженими частками різного походження. Не висока температура води у водоймі у порівнянні з минулим роком також могла впливати на розвиток угруповання зоопланктону ставка (ставок не прогрівся).

У подальшому для отримання більш точних даних щодо складу та кількісних показників зоопланктону необхідно відбирати гідробіологічні проби не тільки в літоральній (мілководній зоні), а також в пелагіалі водойми шляхом горизонтального лову зоопланктону конічною сіткою Апштейна.

Головні висновки. За досліджений період (липень 2022–2023 роки) гідрохімічні показники води ставка у порівнянні з оптимальними показниками були у межах норми. Значення якості води таких показників, як біохімічне споживання кисню, розчинений кисень, іони марганцю, нітрит іони, нітрат іони, іони кальцію, мінералізація та жорсткість

води не перевищували значення ГДК рибогосподарського призначення. Активна реакція води ставку є слаболужною (рН 9,0–9,1), що відповідає вимогам до якості води. В цілому видовий склад літорального та пелагічного зоопланктону ставка складався із 5 таксонів, найбільш представленими в угрупованні були гіллястовусі ракоподібні (3 види), веслоногі ракоподібні та коловертки були по 1 таксону відповідно. Видове різноманіття зоопланктону та кількісні показники його розвитку в липні 2023 року знизилися у порівнянні із угрупованням зоопланктону липня минулого року. Кількісні показники зоопланктону знизилися – чисельність з 60000 екз/м³ до 380 екз/м³, тобто майже в 158 разів, а біомаса з 3468 мг/ м³ до 20,18 мг/м³, тобто в 172 рази. За кількісними показниками угруповання зоопланктону водойму можна охарактеризувати як мезотрофну (середньокормну).

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані населенням Запорізької області та органами самоврядування для покращення стану ставків рекреаційного та рибогосподарського призначення у різних населених пунктах. Оцінка компонентів екосистеми надає інформацію для розробки і впровадження природоохоронних заходів.

Література

1. Гребінь В. В., Хільчевський В. К., Сташук В. А., Чунар'ов О. В., Ярошевич О.С. Водний фонд України : Штучні водойми – водосховища і ставки : довідник / за ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. Київ : Інтерпрес, 2014. 192 с.
2. Джуган В.О. Правове регулювання використання та охорони вод в Україні : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.06. Івано-Франківськ, 2009. 195 с.
3. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи) / за науковою ред. М.І. Ромашенка, М.А. Хвесика, Ю.О. Михайлова. Київ : Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2015. 46. с.
4. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
5. Паламарчук М. М. Закорчевна Н. Б. Водний фонд України : довідковий посібник. 2-е вид., доп. Київ : Ніка-Центр, 2006. 320 с.
6. Водний кодекс України (зі змінами та доповненнями протягом 2000–2017 pp.). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр>.
7. Водне господарство в Україні / за ред. А. В. Яцика, В. М. Хорєва. Київ : Генеза, 2000. 456 с.
8. Кукурудза С. І., Перхач О. Р. Використання та охорона водних ресурсів. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2009. 304 с.
9. Андрущенко А. І., Вовк Н. І., Базаєва А. В. Технології виробництва риби в ставовій аквакультурі та схеми основних ланок технологічних процесів : методичний посібник ля лабораторних занять та самостійної роботи студентів на пряму підготовки 6.090201 – «Водні біоресурси та аквакультура». Київ : НУБіП, 2014. 275 с.
10. Багдай Т. В., Панас Н. С., Антоняк Г. Л., Бубис О. С. Біомоніторинг екологічного стану природних водойм. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького*. 2016. Т. 18, № 1(65). Ч. 3. С. 190–194.

АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГІДРОГРАФІЧНОЇ МЕРЕЖІ РІКИ СТИР В МЕЖАХ МІСТА ЛУЦЬК

Копилов В.П., Попович В.В.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
вул. Клепарівська, 35, 79007, м. Львів
kvp279555@gmail.com, popovich2007@ukr.net

У науковій статті наведено аналіз фізико-хімічних досліджень гідрографічної мережі та екологічний стан ріки Стир в межах м. Луцьк за результатами досліджень науковців в період 2013–2020 років з метою встановлення ступеня забруднення із плином часу та розробки заходів щодо його попередження. Значний вплив на якість води р. Стир мають замулювання і ерозія берегової зони, які спостерігалася нами під час гідрологічно-польових досліджень. Судячи із аналізу літературних даних, якість води в р. Стир із плином часу погіршується. Встановлено, що вміст гідрокарбонатів збільшився із 253 мг/дм³ в 2016 р. до 443 мг/дм³ в 2020 р. Така ж ситуація і з сульфатами – 29,9 мг/дм³ в 2016 році до 36,78 мг/дм³ в 2020 році. Також збільшилися показники Ca²⁺ із 71,2 мг/дм³ в 2016 році до 104,2 мг/дм³ в 2020 році. Залізо загальне перевищувало показники граничнодопустимих концентрацій (ГДК) в 2019 році (0,44 мг/дм³) та 2020 році (0,28 мг/дм³). Показники NO³⁻ та NO²⁻ зросли в порівнянні 2016 та 2020 років. NH₄⁺ перевищував ГДК в 2013 р. (2,6 мг/дм³), 2016 р. (0,95 мг/дм³) та 2020 р. (0,87 мг/дм³). Основним заходами підвищення екологічної безпеки ріки Стир залишаються модернізація та додаткове будівництво очисних споруд, запобігання скидання відходів у ріку, моніторинг рівня забруднення води та прибережних ґрунтів, відновлення девастрованих ґрунтів прибережної зони фітомеліоративними заходами. Вивчення фізико-хімічного складу води р. Стир мають велике значення для умов розвитку та поширення біоти. Що є цікавим напрямом наукових пошуків в майбутньому. Наші дослідження в подальшому будуть спрямовані на визначенні вмісту важких металів у пробах води на різних ділянках ріки Стир, а також вмісту важких металів у рослинності та ґрунтах прибережно-водної зони. *Ключові слова:* гідрографічна мережа, фізико-хімічні дослідження, ріка, екологічна безпека, забруднення, засоленість, моніторинг.

Analysis of physical and chemical investigations of the hydrographic network of the Styr river within the city of Lutsk. Kopylov V., Popovych V.

The scientific paper presents an analysis of the physicochemical of the hydrographic network and the ecological state of the Styr River within the city of Lutsk based on the results of research conducted in 2013–2020 to determine the pollution degree over time and develop preventive measures. Silting and erosion of the coastal zone, which we observed during hydrological field studies, have a significant impact on the water quality of the Styr River. Based on the analysis of published data, the water quality in the Styr River is deteriorating over time. It was found that the content of hydrocarbonates increased from 253 mg/dm³ in 2016 to 443 mg/dm³ in 2020. The same is the case with sulfates – 29.9 mg/dm³ in 2016 to 36.78 mg/dm³ in 2020. Ca²⁺ levels also increased from 71.2 mg/dm³ in 2016 to 104.2 mg/dm³ in 2020. Total iron exceeded the maximum permissible concentrations (MPC) in 2019 (0.44 mg/dm³) and 2020 (0.28 mg/dm³). NO₃⁻ and NO₂⁻ indicators increased compared to 2016 and 2020. NH₄⁺ exceeded the MPC in 2013 (2.6 mg/dm³), 2016 (0.95 mg/dm³) and 2020 (0.87 mg/dm³). The main measures to improve the environmental safety of the Styr River are the modernization and additional construction of wastewater treatment facilities, prevention of waste discharge into the river, monitoring of water and coastal soil pollution, and restoration of devastated soils in the coastal zone through phytomelioration measures. Studying the physicochemical composition of the Styr River water is of great importance for the development and distribution of biota. This is an interesting area for future research. Our future research will be aimed at determining the content of heavy metals in water samples in different parts of the Styr River, as well as the heavy metal content in vegetation and soils of the coastal water zone. *Key words:* hydrographic network, physical and chemical research, river, environmental safety, pollution, salinity, monitoring.

Постановка проблеми. Забруднення поверхневих та підземних водоем є актуальним науковим питанням, дослідженням якого займається низка українських та закордонних вчених. Аналіз результатів досліджень українських науковців дав змогу оцінити екологічну безпеку басейнів багатьох річок як катастрофічну. Основними забруднювачами водних ресурсів в Україні є металургійна, хімічна, гірничодобувна промисловість, житлово-комунальне та сільське господарство [1]. Науковцями виділено п'ять джерел антропогенного забруднення, які впливають на морські та прісноводні екосистеми: стічні води, поживні речовини та теригенні матеріали, сира нафта, важкі метали та полімери [2]. У країнах, які розвиваються, спостерігаються численні зливи кана-

лізації в ріки та інші поверхневі водойми. Така ситуація, безумовно є неприпустимою. Нерідко можна спостерігати безконтрольний скид зворотних шахтних вод у річки. У промислових районах, в тому числі видобувних, в річках спостерігається підвищений вміст радіонуклідів [3].

Актуальність дослідження. Ріка Стир протікає через обласний центр Волинської області – м. Луцьк. На береговій зоні у місті розташовані місця відпочинку, зокрема пляжі. Питання екологічної безпеки ріки та якості води в ній є першочерговими для безпеки людей, особливо у в літній період. Вода з р. Стир використовується для господарсько-побутових, виробничо-технічних потреб, але вона не використовується в господарсько-питному водо-

постачанні міста, оскільки для цього використовуються підземні води. Однією із найбільших екологічних проблем міста є забруднення поверхневих вод зливовими стоками дощових і талих вод. У зв'язку з відсутністю централізованої дощової каналізаційної мережі й облаштованих належним чином очисних споруд дощових і талих вод усі вони потрапляють у відкриті водні об'єкти міста [4]. Лише окремі підприємства обладнані очисними спорудами дощових стоків, хоча технологічні схеми їх очистки на сьогодні досить примітивні. Міські каналізаційно-очисні споруди потребують проведення капітального ремонту наявних ступенів очистки й трубопроводів, реконструкції та розширення за рахунок будівництва другого каскаду біоставків [4]. За даними [4] очищення наявних біоставків не проводили з часу їх будівництва. На сьогодні вони замулені та забруднені і є джерелом вторинного забруднення стічних вод, які після цього скидаються в р. Стир.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дефіцит прісної води в світовому контексті спонукало звернути увагу окремим пунктом в «Цілях сталого розвитку» на чисту воду та санітарні належні умови – ціль 6 «Чиста вода та належна санітарія», яка має 8 завдань. Загалом завдання мають на меті попередити забруднення водойм та підвищити якість води в існуючих умовах. Зокрема, завдання 3 має назву «Поліпшення якості води, очищення стічних вод і безпечне повторне використання», реалізація якого передбачена до 2030 року. У межах завдання виокремлено два індикатори – частка господарсько-побутових та промислових стічних вод, що безпечно очищені; частка водних об'єктів з доброю якістю води.

Зокрема, наукова праця відповідає основним принципам і напрямам державної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення водних ресурсів України, які передбачені Водним кодексом України.

Представлена робота відображає моніторинг якості води в ріці Стир в межах м. Луцьк, за результатами досліджень інших науковців, з метою подальших заходів щодо її підвищення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гідрологічні, фізико-хімічні, моніторингові дослідження води і загалом екосистеми ріки Стир здійснювали такі видатні українські вчені як Мисковець І., Будз М., Мольчак Я., Горяна О., Фесюк В., Нетробчук І., Гашинська В., Ганущак М., Тарасюк Н. та ін.

Гідрографічну мережу Луцька формує річка Стир до якої впадають ріки Сапалаївка, Омеляник, Жидувка, Черногузка. Значимо, що зі східної сторони міста Луцька споруджені на р. Сапалаївка (біля вул. Теремнівська) Теремнівські ставки, площа яких 5,91 га. у 1993 році їм надано статус пам'ятки природи місцевого значення [5]. Також гідрологічно

з'єднується з р. Стир каналами Гнідавський болотний масив, який вимагає детальних гідрологічних досліджень [5]. Гнідавське болото – загальнозоологічний заказник місцевого значення на лівому березі р. Стир. Розташований у межах Луцького району Волинської області та міста Луцька (між селом Рованці, мікрорайоном Гнідава і центральною частиною Луцька). Створений з метою збереження частини заболоченої лівобережної заплави р. Стир. Тут зростає велика кількість рідкісних рослин, знаходяться місця гніздування водоплавних птахів. У 1995 р. надано статус заказника з площею 116,6 га. Він перебуває у віданні управління житлово-комунального господарства міської ради Луцька та Боратинської сільської ради Луцького району Волинської області [5].

Гідрографічну мережу ріки Стир в межах міста Луцьк наведено на рис. 1.



Рис. 1. Гідрографічна мережа р. Стир в межах м. Луцьк

У ріці Стир водяться 37 видів риб і круглоротих, які належать до 11 родин. Найбільшою кількістю видів представлені коропові (24 види). Трьома видами представлена родина окуневих, двома – в'юнових. Усі решта – по одному виду [6]. У складі іхтіофауни Стиру є види, які скорочують свій ареал і потребують охорони. Серед чинників антропогенного впливу виділяють три основні групи, які визначають екологічний стан водотоку – зарегулювання стоку, забруднення та біологічний вплив. Зазначається, що греблі водосховищ обмежили шляхи нерестових, нагульних міграцій багатьох видів риб [6].

За значеннями усередненого індексу забруднення компонентами сольового складу, вода р. Стир у м. Луцьк належала до першого класу якості («відміні», «дуже чисті»), індексу еколого-санітарних показників – до другого й третього класів якості («добрі», «задовільні», «чисті», «забруднені»), індексу специфічних речовин токсичної дії – до другого класу якості («добрі», «чисті»). За усередненою величиною інтегрального екологічного індексу води р. Стир у м. Луцьк за середніми та найгір-

шими величинами належали до другого класу якості («добрі» за їхнім природним станом, «чисті» за ступенем чистоти). Основними джерелами забруднення р. Стир є недостатньо очищені каналізаційні стічні води від очисних споруд міста, зливові стоки дощових і талих вод [4]. Зазначимо також, що значний вплив на якість води мають побутові відходи, які потрапляють у ріку.

На якість води річки Стир, у створі вище міста, мають вплив забруднення, що потрапляють з річки Іква ЖКП «Млинівське» та ДКП «Дубнівське» Рівненської області, а також стічні води, що переносяться з Львівської області – КП «Радехівське ВКГ» (через річку Острівка) та КП «Бродиводоканал» (через річку Бовдурка) [7]. Якість води у створі нижче міста зазнає впливу стічних вод КП «Луцькводоканал». Дослідження якості води річки проводились в пунктах спостереження м. Луцьк (питний водозабір м. Луцьк). Перевищення показників води у річці Стир виявлено по БСК5 – на 1,22 мг/дм³ в с. Княгининок, та на 1,58 мг/м³ у м. Луцьк. Кисневий режим річки задовільний. Решта гідрохімічних показників знаходяться нижче встановлених гранично допустимих концентрацій [7].

За даними [8] у 2018 р. зафіксовано 4 випадки високого забруднення води: у створі вище міста азотом амонійним (14,3 ГДК) в жовтні та іонами марганцю (12,6 ГДК) в квітні; у створі нижче міста азотом амонійним (13,8 ГДК) в лютому та іонами марганцю (15 ГДК) в квітні. Збільшилися середньорічні концентрації азоту амонійного (в 2,8 рази), азоту нітратного та хімічного споживання кисню в обох створах. Невелике зростання забруднення води спостерігалось по фосфатах у нижньому створі. У створі вище міста знизилась середньорічна концентрація фосфатів, іонів цинку та нафтопродуктів; а у нижньому створі – іонів марганцю. Вміст у воді іонів міді, хрому шестивалентного та фенолів порівняно з 2017 р. суттєво не змінився.

За даними [9] склад води у р. Стир, в межах поста гідрометрологічної служби м. Луцьк, гідрокарбонатно-кальцієвий з мінералізацією, що змінюється сезонно – від 371 мг/дм³ під час весняної повені до 503 мг/дм³ у змову межень. Водночас, дані локального моніторингу якості води малих річок засвідчують значне перевищення ГДК за такими показниками як завислі речовини, ХСК, вміст СПАР, заліза загального.

Науковці в роботі [10] наводять, що стан джерел водопостачання р. Стир відрізняється засоленістю. Найвищі показники вмісту нітратів у воді в джерелі с. Грем'яче – 41,94 мг/дм³, а найнижчі у с. Єлизаветин – 1,21 мг/дм³, а нітритів, відповідно, – у джерелі с. Гірка Полонка – (1,12 мг/дм³) та у с. Оконськ (не виявлено взагалі). Хлоридів найбільше у джерелі с. Гірка Полонка (109,4 мг/дм³), а найменше – у с. Баїв (1,77 мг/дм³). Найвищим показником вмісту сульфатів характеризується вода

в джерелі у с. Гірка Полонка – 82,75 мг/дм³, а найнижчим – у с. Єлизаветин (2,45 мг/дм³) [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Представлені результати науковців щодо фізико-хімічних властивостей води в р. Стир безумовно є актуальними та відображають дані у певний період часу. Проте, моніторинг забруднення р. Стир в межах м. Луцьк за певний період часу потребує доопрацювань.

Новизна. У роботі наведено моніторинг фізико-хімічних досліджень якості води річки Стир в межах м. Луцьк за період 2013–2020 років з метою встановлення ступеня забруднення із плином часу та розробки заходів щодо його попередження.

Викладення основного матеріалу. Значний вплив на якість води р. Стир мають замулювання і ерозія берегової зони, які спостерігалася нами під час гідрологічно-польових досліджень (рис. 2).

З поверхневим стоком у річки м. Луцька виносяться забруднюючі речовини, за рахунок яких частково формується забруднення їх вод. Більше забруднень надходить із дощовим стоком, менше – із талим сніговим. Науковцями [11] наведено, що на частку снігових і дощових вод, у цілому за рік, припадає від 5 до 20%.

У таблиці 1 відображено аналіз результатів досліджень науковців стосовно фізико-хімічного складу води р. Стир в межах м. Луцьк з метою встановлення динаміки забруднення з плином часу.

Судячи із аналізу літературних даних, якість води в р. Стир із плином часу погіршується. Встановлено, що вміст гідрокарбонатів збільшився із 253 мг/дм³ в 2016 р. до 443 мг/дм³ в 2020 р. Така ж ситуація і з сульфатами – 29,9 мг/дм³ в 2016 році до 36,78 мг/дм³ в 2020 році. Також збільшилися показники Ca²⁺ із 71,2 мг/дм³ в 2016 році до 104,2 мг/дм³ в 2020 році. Залізо загальне перевищувало показники граничнодопустимих концентрацій (ГДК) в 2019 році (0,44 мг/дм³) та 2020 році (0,28 мг/дм³). Показники NO³⁻ та NO²⁻ зросли в порівнянні 2016 та 2020 років. NH₄⁺ перевищував ГДК в 2013 р. (2,6 мг/дм³), 2016 р. (0,95 мг/дм³) та 2020 р. (0,87 мг/дм³).

Аналогічна ситуація щодо зростання забруднення води в р. Стир спостерігається і для рік Волинської області. Антропогенне навантаження, що зростає, суттєво впливає на поверхневі води Волинського регіону. Відбулися зміни сольового складу та якості річкових вод області. Зросло закислення поверхневих вод, унаслідок цього збільшилося забруднення атмосферного повітря від локалізованих джерел, урбанізованих територій (слабко очищених і зливових вод, питома вага яких становить приблизно 60% від загальної маси забруднень), третина забруднень надходить з агроландшафтів (біоциди, біогенні сполуки, органічна речовина). Найнебезпечніші спорадичні випадки аварійних забруднень річкової мережі спостерігаються в осінньо-зимовий період стічними



Рис. 2. Замулювання і ерозія берегової зони ріки Стир в м. Луцьк (фото В. Попович)

Таблиця 1

Аналіз результатів досліджень фізико-хімічного складу води р. Стир в межах м. Луцьк

Показник, мг/дм ³	За Ганущак М. М., Тарасюк Н. А., 2013 [12]	За Забокрицька М. Р., Хільчевський В. К., 2016 (літньо-осіння межень) [9]	За даними Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області, III квартал, 2019 [13]	За даними Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області, III квартал, 2020 [13]	ГДК якості поверхневих вод для питних потреб
HCO ₃ ⁻	-	253	460	443	-
SO ₄ ²⁻	-	29,9	23,24	36,78	100
Cl ⁻	-	20,9	16,7	12,11	300
Ca ²⁺	-	71,2	92,2	104,2	180
Mg ²⁺	-	14,7	16,23	8,5	40
Na ⁺ +K ⁺	-	13,5	10,53	11,13	170
Мінералізація	-	403,2	-	-	-
Fe _{заг.}	-	0,04	0,44	0,28	0,1
P	0,027-0,096	0,054	0,14	0,4	0,7
Si	1,0-7,1	3,3	-	-	10
NO ₃ ⁻	-	0,021	1,2	1,66	40
NO ₂ ⁻	-	0,005	0,03	0,09	0,08
NH ₄ ⁺	2,6	0,95	0,41	0,87	0,5
БО, мгО/дм ³	58,4	17,8	-	-	15
Cr ⁶⁺ , мкг/дм ³	4,7-16,0	-	-	-	50
БСК ₅ , мгО/дм ³	1,0-3,11	-	3,57	5,54	3,0

водами цукрових заводів. Унаслідок надходження у водне середовище сапонінуглікозиду (міститься у відходах цукрового виробництва) здійснюється гліколізна дія на еритроцити крові риб у разі розведення 1:1000000 [14]. Внаслідок цього риба гине та не роз-

множається. Надалі необхідно запобігати неконтрольованим скидам стічних вод із цукрових заводів та інших промислових підприємств. Забруднення води р. Стир спричиняє не тільки гибель біоти, але й негативно відображається на естетиці довкілля.

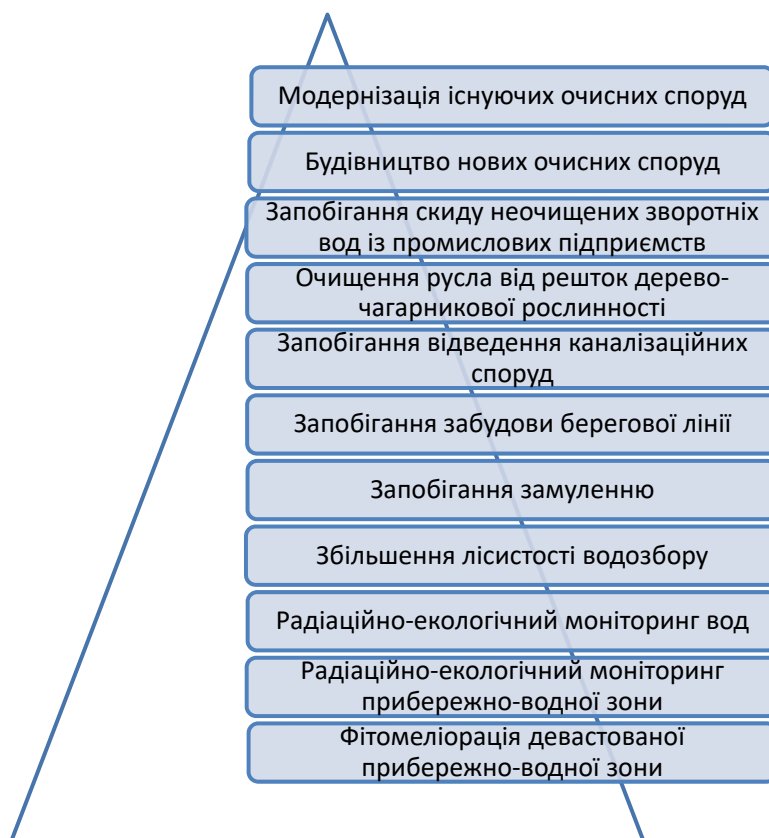


Рис. 3. Шляхи підвищення рівня екологічної безпеки ріки Стир

Визначено [15], що найкомфортнішими мікрокліматичними умови для мешканців міста влітку є лісопаркові зони та території біля водойм. Насамперед, потрібно формувати ландшафтно-рекреаційну зону на базі наявних зелених насаджень загального користування міської забудови, за межами забудови в межах міста й на прилеглих територіях озеленоного поясу. Це, зокрема, створення нових масивів парків та лугопарків, гідропарку вздовж р. Стир і р. Сапалаївка, лісів та лісопарків.

Науковці в роботі [16] зазначають, що для покращення їх екологічної ситуації необхідно вдосконалити каналізованість річок, побудувати нові і модернізувати існуючі очисні споруди.

Головні висновки. Безумовно, що всі заходи стабілізації екологічної безпеки ріки Стир є актуальними та потребують впровадження. Враховуючи результати досліджень попередніх науковців та результати власних гідрологіч-

но-польових досліджень нами наведено шляхи підвищення рівня екологічної безпеки ріки Стир (рис. 3).

Основним заходами підвищення екологічної безпеки ріки Стир залишаються модернізація та додаткове будівництво очисних споруд, запобігання скидання відходів у ріку, моніторинг рівня забруднення води та прибережних ґрунтів, відновлення дегазованих ґрунтів прибережної зони фітомеліоративними заходами.

Перспективи використання результатів дослідження. Вивчення фізико-хімічного складу води р. Стир мають велике значення для умов розвитку та поширення біоти. Що є цікавим напрямом наукових пошуків в майбутньому. Наші дослідження в подальшому будуть спрямовані на визначенні вмісту важких металів у пробах води на різних ділянках ріки Стир, а також вмісту важких металів у рослинності та ґрунтах прибережної зони.

Література

1. Сталінська І. В., Дмитренко Т. В. Рекомендації щодо зменшення екологічного ризику накопичувачів промислових стічних вод і шламів на екологічний стан поверхневих водних об'єктів на урбанізованих територіях. *Екологічні науки*. 2023. № 4(49). С. 82–90. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.11>
2. Häder D-P., Banaszak A. T., Villafañe V. E., Nardarte M. A., González R. A., Helbling E. W. Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of the Total Environment*. 2020. № 713. 136586. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136586>
3. Bosak P., Popovych V., Stepova K., Dudyn R. Environmental impact and toxicological properties of mine dumps of the Lviv-Volyn coal basin. *News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical*. 2020. № 440. 48–54. URL: <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.30>

4. Нетробчук І., Гашинська В. Екологічна оцінка якості води р. Стир у місті Луцьку. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки. Серія : Географічні науки*. 2018. № 3 (376). 28–34.
5. Мисковець І. Я., Мольчак Я. О. Формування якості поверхневих вод у межах Луцька. *Modern engineering and innovative technologies*. 2023. № 25(2). 77–83.
6. Сучасна іхтіофауна річки Стир. URL: https://vl.darg.gov.ua/_suchasna_ichtiofauna_richki_0_0_0_812_1.html
7. Моніторинг стану довкілля за травень 2023 року. URL: <https://voladm.gov.ua/article/monitoring-stanu-dovkillya-za-traven-2023-roku/>
8. Фесюк В. О. Луцьк: сталий розвиток і соціально-екологічні проблеми. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2013. 304 с.
9. Забокрицька М. р., Хільчевський В. К. Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 3(42). 64–76.
10. Горяна О., Фесюк В. Комплекс заходів підвищення ефективності використання й охорони джерел басейну р. Стир у межах Волинської області. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2018. № 10(383). 46–52.
11. Мисковець І. Я., Будз М. Д., Мольчак Я. О. Екологічні наслідки антропогенних змін хімічного складу вод Волині. *Екологічні проблеми довкілля та шляхи їх вирішення*. 2012. 14–16.
12. Ганущак М. М., Тарасюк Н. А. Сучасний гідрохімічний режим річки Стир в умовах антропогенного навантаження (на прикладі м. Луцьк). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2013. № 2(29). 54–63.
13. Офіційний сайт Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області. URL: <https://vodres.gov.ua/monitoring/results/2020/17>
14. Гуца О. В. Екологічні проблеми забруднення водойм Волинської області. *Public Health Journal*. 2022. № 1. 27–38. URL: <https://doi.org/10.32782/pub.health.2022.1.3>
15. Нетробчук, І., Вдовичук, І. Мікрокліматичні особливості міста Луцька. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки. Серія : Географічні науки*. 2017. № 9(358). 15–22.
16. Мисковець І., Мольчак Я. (2023). Розрахунок антропогенних чинників та оцінка екостану басейну річки. *Collection of Scientific Papers "SCIENTIA", (February 24, 2023; Singapore)*. 2023. 154–156. URL: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/777>

УДК 504.453:[553.63:546.17] (477.81)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.8>

ВМІСТ СПОЛУК НІТРОГЕНУ У ВОДІ РІЧКИ СТУБЕЛКА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ФІТОПЛАНКТОН

Суходольська І.Л., Ковальова І.В.

Рівненський державний гуманітарний університет

вул. Ст. Бандери, 12, 33028, м. Рівне

iryna.sukhodolska@rshu.edu.ua; ilona.basaraba@rshu.edu.ua

Встановлено основні закономірності формування видового й таксономічного складу, структури та сезонної динаміки чисельності, біомаси й інформаційного різноманіття фітопланктону р. Стубелка. У результаті дослідження (червень–жовтень 2022 р.) ідентифіковано 109 видів водоростей, представлених 111 внутрішньовидовими таксонами, що належать до 75 родів, 43 родин, 32 порядків, 14 класів, 8 відділів. Флористичний спектр планктонних водоростей формували відділи *Bacillariophyta* (46,8% загальної кількості видів) та *Chlorophyta* (27,9%), *Cyanobacteria* (8,1%) та *Euglenozoa* (8,1%). Чисельність фітопланктону р. Стубелка змінювалась від 714 тис. кл/дм³ (жовтень) до 3424 тис. кл/дм³ (серпень), а біомаса від 0,21 мг/дм³ (жовтень) до 1,04 мг/дм³ (червень). Індекс Шеннона змінювався за біомасою (3,97–4,80 біт/мг) та чисельністю (3,15–4,74 біт/екз).

Визначено зміни температури води (влітку – 19–24°C, восени – 11–13°C), рН (6,6–7,3), розчиненого кисню (5,70–8,47 мгО₂/дм³), нітрогену амонійного (0,347–1,722 мг/дм³), нітритів (0,026–0,072 мг/дм³) та нітратів (0,128–6,246 мг/дм³). Показано перевищення граничнодопустимих концентрацій нітрогену амонійного у 1,15–3,44 рази. Підтверджено надходження сполук Нітрогену з дифузних джерел влітку (NH₄⁺<NO₃⁻), а з точкових – восени (NH₄⁺>NO₃⁻). Виявлено зміщення рівноваги в системі нітрати ↔ нітрити ↔ амоній в бік нітрифікації впродовж літа (червень–серпень), а амонію – восени (вересень, жовтень). Якість води р. Стубелка змінюється від I класу до IV (NH₄⁺), від III класу до IV класу (NO₂⁻), від II класу до III класу (NO₃⁻), від II класу до III класу (біомаса фітопланктону). На структуру угруповань фітопланктону р. Стубелка влітку більший вплив здійснюють нітрити та нітрати, а восени – нітроген амонійний. *Ключові слова*: таксономічне, видове та інформаційне різноманіття, розчинений кисень, активна реакція води, температура води, нітрити, нітрати, нітроген амонійний, екологічні наслідки забруднення.

The content of nitrogen compounds in the water of river Stubelka and its effect on phytoplankton. Sukhodolska I., Kovalova I.

The main regularities of the formation of the species and taxonomic composition, structure and seasonal dynamics of the number, biomass and informational diversity of the phytoplankton of the Stubelka River have been established. As a result of the research (that lasted from June to October 2022), 109 species of algae were identified, represented by 111 intraspecific taxa belonging to 75 genera, 43 families, 32 orders, 14 classes, and 8 divisions. The floristic spectrum of planktonic algae was formed by *Bacillariophyta* (46.8% of the total number of species) and *Chlorophyta* (27.9%), *Cyanobacteria* (8.1%) and *Euglenozoa* (8.1%). The number of phytoplankton in Stubelka varied from 714 thousand cells/dm³ (October) to 3424 thousand cells/dm³ (August), and biomass from 0.21 mg/dm³ (October) to 1.04 mg/dm³ (June). The Shannon index varied by biomass (3.97–4.80 b/mg) and number (3.15–4.74 b/c).

Changes in water temperature (19–24°C in summer, 11–13°C in autumn), pH (6.6–7.3), dissolved oxygen (5.70–8.47 mgO₂/dm³), ammonium nitrogen (0.347–1.722 mg/dm³), nitrites (0.026–0.072 mg/dm³) and nitrates (0.128–6.246 mg/dm³) have been defined. Exceeding the maximum allowable concentrations of ammonium nitrogen by 1.15–3.44 times was shown. The arrival of nitrogen compounds from diffuse sources in summer (NH₄⁺<NO₃⁻) and from point sources in autumn (NH₄⁺>NO₃⁻) was confirmed. A shift in the equilibrium in the nitrate ↔ nitrite ↔ ammonium system was revealed in the direction of nitrification during the summer (June–August), and ammonium in the fall (September, October). The water quality of the Stubelka River varies from class I to class IV (NH₄⁺), from class III to class IV (NO₂⁻), from class II to class III (NO₃⁻), from class II to class III (phytoplankton biomass). The structure of the phytoplankton groups of the Stubelka River is more influenced by nitrites and nitrates in summer, and by ammonium nitrogen in autumn. *Key words*: taxonomic, species and information diversity, dissolved oxygen, active reaction of water, water temperature, nitrites, nitrates, ammonium nitrogen, ecological consequences of pollution.

Постановка проблеми. Таксономічний склад та розвиток фітопланктону залежить від кліматичних умов, швидкості виїдання зоопланктоном, вмісту у воді біогенних речовин певної концентрації та співвідношення. До важливих біогенних речовин належать неорганічні сполуки Нітрогену (NH₄⁺, NO₂⁻ і NO₃⁻).

Актуальність дослідження. Сполуки Нітрогену та зміщення їхньої рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати впливають на екологічний стан усєї водної екосистеми, але найшвидше реагує автотрофна ланка. Відбуваються зміни не лише видового складу фітопланктону, але

і його чисельності та біомаси, домінантного комплексу і співвідношення видів відділів. Безумовно, зниження кількості видів, чисельності та біомаси фітопланктону найчастіше характерні для водних екосистем, які зазнають значного антропогенного впливу, а зростання цих показників притаманне водним об'єктам, які певною мірою зберегли свій природний стан. Саме тому, вивчення впливу сполук Нітрогену на фітопланктон найкраще дозволяє оцінити водний об'єкт. Крім того, швидка реакція фітопланктону на будь які зовнішні чи внутрішні впливи забезпечує об'єктивне відображення якості води.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями. Дослідження проводиться згідно тематики дисертаційної роботи та науково-дослідної теми «Механізми функціонування гідроекосистем різних типів в умовах зростання антропогенного навантаження, глобальних кліматичних змін та впливу військових дій» (номер державної реєстрації 0123U101485).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Структурно-функціональні особливості фітопланктону водойм визначається метеорологічними, гідрологічними та гідрохімічними змінами. Аналізуючи основні чинники, що впливають на показники фітопланктону, автори [1, 4, 7, 6, 9] виділяють важливу роль неорганічних сполук Нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- і NO_3^-), а також акцентують увагу на джерелах їхнього надходження у водойму [2, 4, 6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Систематичні моніторингові дослідження фітопланктону р. Стубелка відсутні, що не дозволяє проаналізувати і порівняти зміни, що відбуваються впродовж більш тривалого періоду та відповідно оцінити вплив сполук Нітрогену на кількість видів, чисельність, біомасу, домінуючий комплекс, а також інші показники водоростей.

Новизна. Уперше досліджено фітопланктон р. Стубелка та показано вплив сполук Нітрогену на біомасу і чисельність відділів *Cyanobacteria*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* та *Euglenozoa*.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження та аналіз зміни вмісту сполук Нітрогену у воді р. Стубелка та їхнього впливу на формування угруповань фітопланктону сприяють доповненню, до вже існуючих, відомостей про чинники регулювання розвитку біоти у лотичних екосистемах.

Матеріали та методи дослідження. Річка Стубелка протікає Здолбунівським, Дубенським та Рівненським районами Рівненської області. Витік р. Стубелка в західній частині села Білашів на північних схилах Мізоцького кряжу. Загальна довжина р. Стубелка становить 86 км, а площа водозабору 1350 км². Глибина річки складає близько 1,2–1,5 м [3].

Проби води для проведення гідрохімічного аналізу води р. Стубелка відбирали щомісяця впродовж червня–жовтня 2022 р. (50°28'12.4" N 25°58'03.9" E). Вміст NH_4^+ визначали фотометричним методом за якісною реакцією з реактивом Несслера при довжині хвилі 420 нм. Вміст NO_2^- визначали діазотуванням з реактивом Грісса при довжині хвилі 520 нм. Вміст NO_3^- досліджували фотометрично з фенолдісульфокислотою з утворенням нітровмісного фенолу жовтого кольору при довжині хвилі 520 нм. [5]. Реакцію водного середовища (рН) визначали за допомогою іономіра ЭВ-74.

Проби води для визначення фітопланктону відбирали щомісяця впродовж червня–жовтня

2022 р. з глибини 0,2–0,3 м об'ємом 0,5 дм³ фіксуючи 40% розчином формальдегіду. Проби після відстоювання концентрували до об'єму 0,05–0,1 дм³. Використовували світловий мікроскоп «Laboval» (Karl Zeiss, Німеччина) для камеральної обробки проб. Для підрахунку клітин використовували камеру Нажотта об'ємом 0,02 мл. Підрахунок біомаси водоростей здійснювали загальноприйнятим розрахунково-об'ємним методом [8]. Таксономічну номенклатуру водоростей представлено згідно міжнародного електронного каталогу AlgaeBase [10]. Статистичну обробку даних здійснено з використанням програми IBM IPSS Statistic 19.0.

Викладення основного матеріалу. У фітопланктоні р. Стубелка ідентифіковано 109 видів (111 внутрішньовидових таксонів (ввт)) 8 відділів (*Bacillariophyta* 51(52), *Chlorophyta* 30(31), *Cyanobacteria* 9(9), *Euglenozoa* 9(9), *Ochrophyta* 5(5), *Miozoa* 3(3), *Streptophyta* 1(1) та *Cryptophyta* 1(1)), 14 класів, 32 порядків, 43 родин і 75 родів (рис. 1, табл. 1).

У флористичному відношенні у р. Стубелка переважають відділи *Bacillariophyta* (46,8% загальної кількості видів) та *Chlorophyta* (27,9%). Однаковою кількістю видів представлені відділи *Cyanobacteria* (8,1%) та *Euglenozoa* (8,1%), а також *Streptophyta* (0,9%) і *Cryptophyta* (0,9%). Відділ *Ochrophyta* представлений 5 видами (4,5%), а *Miozoa* – 3 видами (2,7%). Найбільш насичені роди у представників *Bacillariophyta* та *Euglenozoa* (родовий коефіцієнт 1,8 та 1,5).

Фітопланктон р. Стубелка у червні представлений 50 (51) видами та ввт з 8 відділів. У фітопланктоні переважають види відділу *Bacillariophyta* (54,9% загальної кількості видів), *Chlorophyta* (21,5%) та *Euglenozoa* (7,8%). Загальна чисельність фітопланктону в червні становить 1028 тис. кл/дм³, біомаса – 1,04 мг/дм³. За чисельністю домінують *Bacillariophyta* (41,8% загальної чисельності), *Chlorophyta* (27,2%) та *Cyanobacteria* (21,8%), а за біомасою – *Bacillariophyta*

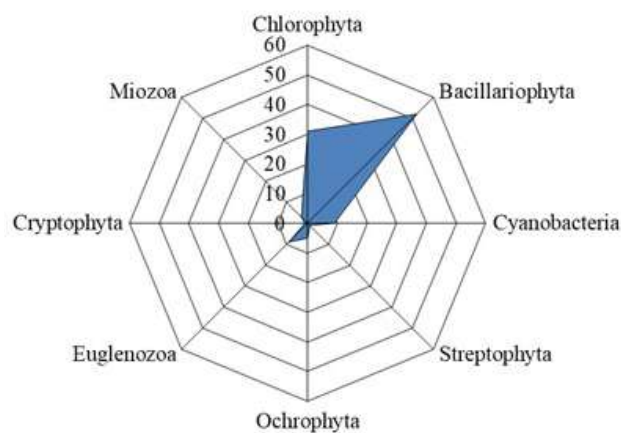


Рис. 1. Таксономічний склад водоростевих угруповань р. Стубелка

Таксономічний спектр водоростевих угруповань

Відділ	Клас	Порядок	Родина	Рід	Вид	Ввт	Родовий коефіцієнт
Bacillariophyta	3	13	16	29	51	52	1,8
Chlorophyta	4	5	11	23	30	31	1,3
Cyanobacteria	1	4	5	7	9	9	1,3
Euglenozoa	1	1	2	6	9	9	1,5
Ochrophyta	2	4	4	5	5	5	1,0
Miozoa	1	3	3	3	3	3	1,0
Streptophyta	1	1	1	1	1	1	1,0
Cryptophyta	1	1	1	1	1	1	1,0
Всього:	14	32	43	75	109	111	1,2

(83,3% загальної біомаси). Домінантами за чисельністю є *Oscillatoria agardhii* Gomont (19,5%) та *Actinastrum hantzschii* Lagerheim (10,1%), а за біомасою – *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg (10,9%). Субдомінантними за чисельністю виявилися види відділів *Chlorophyta* – *Desmodesmus denticulatus* (Lagerheim) S.S. An, T. Friedl & E. Hegewald (5,1%) та *Bacillariophyta* – *Nitzschia recta* Hantzsch ex Rabenhorst (5,1%). Субдомінанти за біомасою представлені трьома видами *Bacillariophyta* – *N. recta* (7,0%), *Nitzschia linearis* W. Smith (7,3%) та *Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch (5,5%).

У липні фітопланктон р. Стубелка налічує 38 види з 6 відділів. Найбільша кількість видів представлена відділами *Bacillariophyta* (71,1% загальної кількості видів) та *Chlorophyta* (15,8%), проте, високої чисельності досягають *Cyanobacteria* (51,7% загальної чисельності), *Bacillariophyta* (25,6%) та *Chlorophyta* (20,7%). Найвища біомаса характерна для відділу *Bacillariophyta* (79,3%). Загальна чисельність фітопланктону в липні становить 1006 тис. кл/дм³, а біомаса – 0,48 мг/дм³. Домінант за чисельністю представлений одним видом відділу *Cyanobacteria* – *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák (51,7%). За біомасою домінує представник *Bacillariophyta* – *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère (13,4%). Субдомінантними за чисельністю виявився представник *Chlorophyta* – *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald (7,2%), а за біомасою два представники *Bacillariophyta* – *N. viridula* (7,9%) та *Surirella librile* (Ehrenberg) Ehrenberg (5,4%).

Фітопланктон у серпні представлений 40 видами 6 відділів. Переважають представники відділу *Chlorophyta* (42,5% загальної кількості видів), *Bacillariophyta* (37,5%) та *Cyanobacteria* (10,0%). Найвищої чисельності досягають *Cyanobacteria* (65,8%) та *Chlorophyta* (28,7%). Найбільший відсоток біомаси припадає на *Miozoa* (36,0%) та *Bacillariophyta* (35,8%). Загальна чисельність фітопланктону в серпні зростає до 3424 тис. кл/дм³, а біомаса – 0,69 мг/дм³. За чисельністю домінують *Microcystis pulvereae* (H.C.Wood) Forti (25,7%) та *S. lacustris* (29,9%), а за біомасою – *Ceratium hirund-*

inella (O.F. Müller) Dujardin (30,3%). За чисельністю субдомінують *Spirulina sp.* (6,4%), *Hindakia tetrachotoma* (Printz) C. Bock, Pröschold & Krienitz (6,5%), а за біомасою – *Gymnodinium sp.* (5,7%), *Lindavia bodanica* (Eulenstein ex Grunow) T. Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson (6,2%), *Iconella biseriata* (Brébisson) Ruck & Nakov (7,2%).

У вересні кількість видів становить 41 представлених 7 відділами. За видовим складом переважають *Chlorophyta* і *Bacillariophyta* (по 36,6%). Відсоток *Cyanobacteria* та *Euglenozoa* становить по 7,3%, а *Miozoa* та *Ochrophyta* – по 4,9%. Найменш представлені види відділу *Cryptophyta* (2,4%). Найвищої чисельності досягають *Cyanobacteria* (41,1%) та *Chlorophyta* (32,3%), а біомаси – *Bacillariophyta* (46,1%) та *Miozoa* (32,3%). Загальна чисельність фітопланктону в вересні становить 1756 тис. кл/дм³, а біомаса – 0,83 мг/дм³. За чисельністю домінують *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (23,9%), *S. lacustris* (10,9%), *Neotessella lapponica* (Skujaj) B.Y. Jo, J.I. Kim, W. Shin, P. Škaloud & P.A. Siver (11,4%), а за біомасою – *C. hirundinella* (25,4%) та *S. librile* (14,4%). За чисельністю субдомінують *Oscillatoria limosa* C.Agardh ex Gomont (6,3%), *Lemmermannia tetrapedia* (Kirchner) Lemmermann (5,0%), а за біомасою – *Glenodinium sp.* (6,9%), *N. lapponica* (5,6%), *Cyclotella sp.* (5,5%) та *Caloneis amphibaena* (Bory) Cleve (9,4%).

Фітопланктон р. Стубелка у жовні представлений 25(26) видами та ввт з 4 відділів. Найбільшою кількістю видів характеризуються відділи *Bacillariophyta* (46,2% загальної кількості видів) та *Chlorophyta* (30,8%). Найвищої чисельності досягають *Cyanobacteria* (48,1%) та *Chlorophyta* (28,3%). Найбільший відсоток біомаси припадає на *Bacillariophyta* (55,6%) та *Euglenozoa* (24,1%). Загальна чисельність фітопланктону в жовні становить 714 тис. кл/дм³, а біомаса – 0,21 мг/дм³. За чисельністю домінують два види *Cyanobacteria* – *S. lacustris* (35,8%) та *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault (12,2%). За біомасою домінують *Euglena sp.* (11,1%) та *Cyclotella sp.* (15,2%). За чисельністю субдомінують *Chlamydomonas sp.* 1

(5,1%), *L. tetrapedia* (5,9%), *Lemmermannia triangularis* (Chodat) C. Bock & Krienitz (7,0%), *Cyclotella* sp. (7,8%), а за біомасою – *Chlamydomonas* sp.1 (9,6%), *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh (5,9%), *N. viridula* (5,8%) та *Epithemia turgida* (Ehrenberg) Kützing (9,1%).

У кількісному відношенні найбільшої чисельності досягають *Cyanobacteria*. Зокрема, *S. lacustris* (10,9–51,7%) домінує впродовж липня-жовтня. Найбільша біомаса зафіксована у виду відділу *Miozoa* – *C. hirundinella* (25,4–30,3%) (табл. 2).

Інформаційне різноманіття за чисельністю (H_N) фітопланктону р. Стубелка варіює від 3,15 біт/екз до 4,74 біт/екз, а за біомасою (H_B) – від 3,97 біт/мг до 4,80 біт/мг. Індекс сапробності змінюється від 2,04 (червень) до 1,55 (серпень).

На формування структури угруповань фітопланктону, його чисельність і біомасу впливає концентрація сполук Нітрогену (NH_4^+ , NO_2^- і NO_3^-) у воді та їхнє співвідношення (табл. 3, рис. 2).

Концентрація нітрогену амонійного у воді р. Стубелка у червні складає 0,630 мг/дм³. У липні

спостерігається суттєве зростання концентрації нітрогену амонійного до 1,722 мг/дм³, що перевищує ГДК у 3,44 рази (ГДКрибгосп.=0,5 мг/дм³). Проте у серпні вміст нітрогену амонійного нормалізується і становить 0,347 мг/дм³. Вміст нітрогену амонійного у вересні складає 0,630 мг/дм³, що перевищує ГДК у 1,2 рази. Вже у жовтні концентрація нітрогену амонійного знижується до 0,578 мг/дм³. Загалом перевищення вмісту нітрогену амонійного ГДК впродовж червня-серпня становить 1,15–3,44 рази. За вмістом нітрогену амонійного якість води р. Стубелка змінюється від I класу (жовтень) до IV класу (грудень). Виявлено тісну залежність між нітрогеном амонійним та нітратами ($r=0,93$, $p<0,05$), рН ($r=0,57$), вмістом розчиненого кисню ($r=0,63$), чисельністю ($r=-0,47$), індексом Шеннона за біомасою ($r=0,62$), сапробністю ($r=0,61$), чисельністю відділів *Chlorophyta* ($r=-0,55$), *Cyanobacteria* ($r=-0,39$), біомасою відділів *Chlorophyta* ($r=-0,47$), *Cyanobacteria* ($r=-0,40$).

Найвищий вміст нітритів у воді р. Стубелка зафіксовано у червні, що складає 0,072 мг/дм³

Таблиця 2

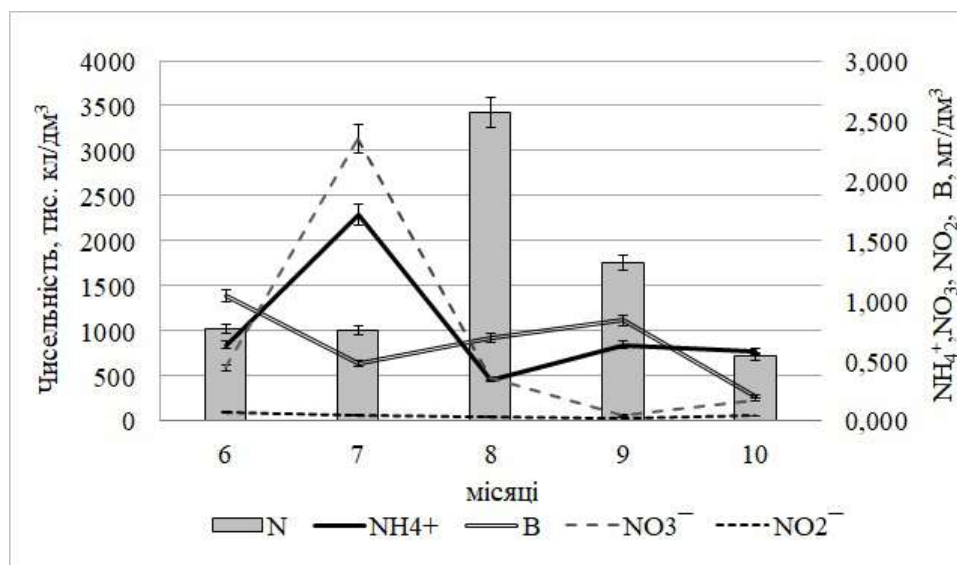
Домінуючий комплекс фітопланктону р. Стубелка за чисельністю та біомасою, %

Види	місяці				
	6	7	8	9	10
<i>Cyanobacteria</i>					
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	–	–	–	–	<u>12,2</u> 1,5
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák	–	<u>51,7</u> 2,6	<u>29,9</u> 3,5	<u>10,9</u> 0,6	<u>35,8</u> 3,0
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	–	–	–	<u>23,9</u> 0,2	–
<i>Microcystis pulvereae</i> (H.C.Wood) Forti	–	–	<u>25,7</u> 0,5	–	–
<i>Oscillatoria agardhii</i> Gomont	<u>19,5</u> 0,9	–	–	–	–
<i>Chlorophyta</i>					
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	<u>10,1</u> 0,7	–	–	–	–
<i>Euglenozoa</i>					
<i>Euglena</i> sp.	+	–	–	+	<u>0,8</u> 11,1
<i>Bacillariophyta</i>					
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	<u>4,1</u> 10,9	+	+	+	+
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	+	<u>1,0</u> 13,4	+	+	–
<i>Surirella librile</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+	+	–	<u>0,8</u> 14,4	–
<i>Cyclotella</i> sp.	+	+	+	+	<u>7,8</u> 15,2
<i>Miozoa</i>					
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	–	–	<u>0,4</u> 30,3	<u>0,3</u> 25,4	–

Примітка: чисельник – чисельність, знаменник – біомаса; – – види не зафіксовано; + – види зафіксовано, але вони не входять до складу домінантів або є субдомінантами

Вміст сполук Нітрогену у воді р. Стубелка та їхнє співвідношення

Місяці	Сполуки Нітрогену, мг/дм ³						Співвідношення [NH ₄ ⁺] : [NO ₂ ⁻] : [NO ₃ ⁻]
	NH ₄ ⁺	%	NO ₂ ⁻	%	NO ₃ ⁻	%	
червень	0,630	20,3	0,072	2,3	2,392	77,3	1 : 0,11 : 3,80
липень	1,722	21,5	0,049	0,6	6,246	77,9	1 : 0,03 : 3,63
серпень	0,347	30,5	0,036	3,2	0,753	66,3	1 : 0,10 : 2,17
вересень	0,630	80,3	0,026	3,4	0,128	16,4	1 : 0,04 : 0,20
жовтень	0,578	56,7	0,043	4,2	0,399	39,1	1 : 0,07 : 0,69

Рис. 2. Зміни чисельності та біомаси за різної концентрації сполук нітрогену (NH₄⁺, NO₂⁻ і NO₃⁻) у воді р. Стубелка

(ГДКрибгосп.=0,08 мг/дм³). У липні та серпні вміст нітритів знижується до 0,049 мг/дм³ та 0,026 мг/дм³. Концентрація нітритів у жовтні становить 0,043 мг/дм³. Перевичень ГДК нітритів у воді не зафіксовано. За вмістом нітритів якість води р. Стубелка змінюється від III класу (вересень) до IV класу (листопад). Виявлено тісний кореляційний зв'язок між нітритами та нітратами ($r=0,45$), температурою води ($r=0,62$), чисельністю ($r=-0,46$), індексом Шеннона за біомасою та чисельністю ($r=0,50$, $r=0,85$), сапробністю ($r=0,54$), кількістю видів ($r=0,50$), чисельністю відділів *Chlorophyta* ($r=-0,53$), *Bacillariophyta* ($r=0,89$), *Cyanobacteria* ($r=-0,48$), *Euglenozoa* ($r=0,62$), біомасою відділів *Chlorophyta* ($r=-0,43$), *Bacillariophyta* ($r=0,76$) та *Euglenozoa* ($r=0,58$).

У червні концентрація нітратів у воді р. Стубелка становить 2,392 мг/дм³, проте, у липні зростає у декілька разів до 6,246 мг/дм³. Вміст нітратів у серпні складає 0,753 мг/дм³, а вже у вересні суттєво знижується до 0,128 мг/дм³. У жовтні концентрація нітратів знову підвищується, у порівнянні з попереднім місяцем, і становить 0,399 мг/дм³. Перевичень ГДК нітратів у воді р. Стубелка не виявлено (ГДКрибгосп.=40 мг/дм³). За вмістом нітратів якість води р. Стубелка змінюється від II класу

(вересень) до III класу (липень). Встановлено тісну залежність між нітратами та вмістом розчиненого кисню ($r=0,50$), індексом Шеннона за біомасою ($r=0,84$), сапробністю ($r=0,55$), чисельністю відділів *Chlorophyta* ($r=-0,47$) та *Bacillariophyta* ($r=0,44$).

Чисельність фітопланктону р. Стубелка змінюється від 714 тис. кл/дм³ (жовтень) до 3424 тис. кл/дм³ (серпень), а біомаса від 0,21 мг/дм³ (жовтень) до 1,04 мг/дм³ (червень). Найвищої чисельності досягають види в серпні, що свідчить про активне поглинання фітопланктоном нітрогену амонійного та нітратів, що зумовлює різке зниження їхньої концентрації у воді. Зростання біомаси у червні також зумовлює зниження вмісту нітрогену амонійного та нітратів внаслідок їхнього споживання різними відділами фітопланктону. Водночас у вересні, за низької концентрації нітратів і нітритів, зростає біомаса та знижується чисельність у порівнянні з попереднім місяцем (рис. 2).

У воді р. Стубелка зафіксовано зміщення рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітратами в бік нітратів впродовж літа (червень–серпень) та амонію восени (вересень, жовтень). Максимальні відношення NO₃⁻/NH₄⁺ виявлено у червні (3,80) та липні (3,63), а NO₂⁻/NH₄⁺ – у червні (0,11) (табл. 3). Чинники над-

ходження нітрогену амонійного, нітратів та нітри-тів у дуже різноманітні. Насамперед потрапляння їх у водойму відбувається внаслідок внутрішньо-водоємних процесів (розвитку і відмирання біоти), повітряного перенесення і випадіння з атмосферними опадами, вимивання з водозбірних площ, потрапляння стічних вод тваринницьких комплексів, нераціонального використання добрив тощо. Впродовж літніх місяців виконується умова $\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$, що свідчить про переважання надходження сполук Нітрогену з дифузних джерел. Зокрема, вимиванням з водозбірної площі та сільськогосподарських угідь, що розміщені поблизу берегів р. Стубелка. В осінні місяці концентрація нітрогену амонійного вища, ніж нітратів ($\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$), тому надходження сполук Нітрогену з точкових джерел більш помітне.

Види різних відділів фітопланктону засвоюють усі форми сполук Нітрогену, однак, перевагу надають нітрогену амонійному, який швидше поглинається та засвоюється ніж нітрати чи нітроти. Проте при нейтральному рН краще поглинається нітро-

ген амонійний, а при кислому – нітрати та нітроти. Швидкість поглинання сполук Нітрогену залежить від присутніх у водоймі видів відділів фітопланктону. Найкраще зв'язують амоній зелені водорості. Відповідно поглинання *Chlorophyta* нітрогену амонійного у липні зумовлює зниження його концентрації у серпні та зростання біомаси і чисельності видів цього відділу. Найгірше зв'язують амоній види відділу *Cyanobacteria*, тому їхня біомаса та чисельність значно зростає у серпні при найнижчій концентрації нітрогену амонійного та високої температури води (22 °C) (рис. 3, рис. 4).

Найвищі показники чисельності та біомаси відділів *Euglenozoa* та *Bacillariophyta* зафіксовано у червні, а *Cyanobacteria* та *Chlorophyta* у серпні.

Максимальну чисельність фітопланктону виявлено при температурі води 22 °C (серпень), а мінімальну – при температурі 11 °C (жовтень) (рис. 5).

Максимальну біомасу фітопланктону зафіксовано при температурі води 24 °C (червень), а мінімальну – при температурі 11 °C (жовтень). Відомо,

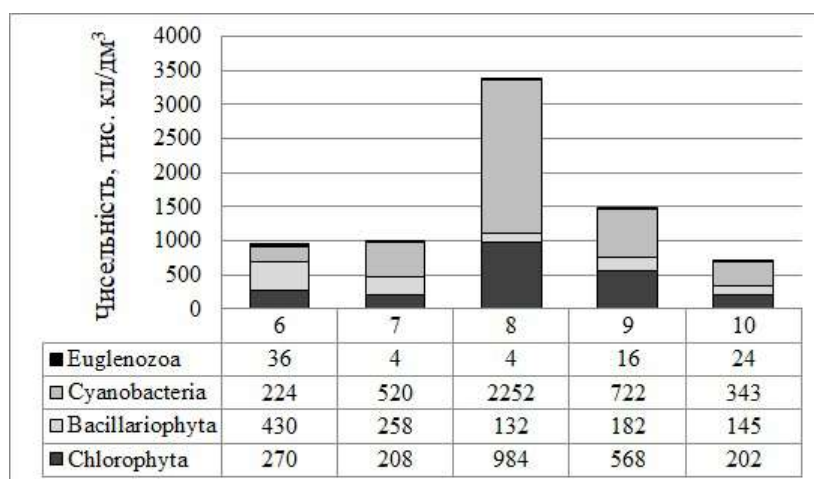


Рис. 3. Чисельність відділів *Cyanobacteria*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* та *Euglenozoa* (червень–жовтень)

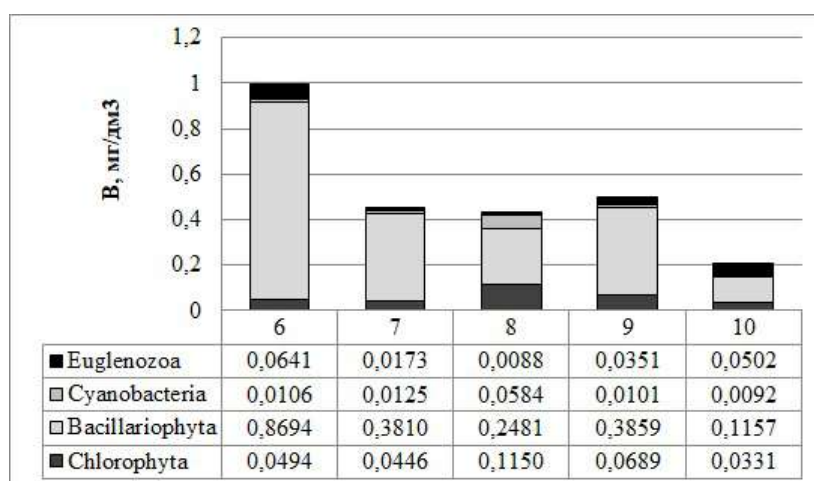


Рис. 4. Біомаса відділів *Cyanobacteria*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* та *Euglenozoa* (червень–жовтень)

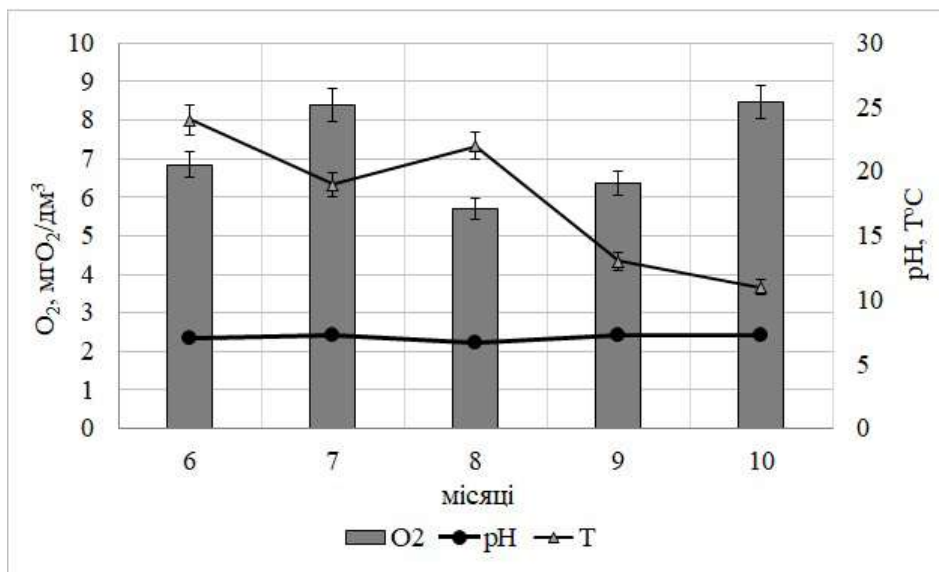


Рис. 5. Зміна концентрації розчиненого кисню, рН та температури у воді р. Стубелка

що на розвиток фітопланктону впливає рН та вміст у воді розчиненого кисню. рН у воді р. Стубелка змінюється від 6,6 (серпень) до 7,3 (липень), а вміст розчиненого кисню від 5,70 мг O₂/дм³ (серпень) до 8,47 мг O₂/дм³ (жовтень). Встановлено тісну залежність між температурою води та рН ($r=-0,65$), вмістом розчиненого кисню ($r=-0,42$), біомасою фітопланктону ($r=0,63$), індексом Шеннона за біомасою ($r=0,69$), кількістю видів ($r=0,78$), чисельністю відділу *Bacillariophyta* ($r=0,61$), біомасою відділів *Chlorophyta* ($r=0,40$), *Bacillariophyta* ($r=0,66$) та *Cyanobacteria* ($r=0,45$). Виявлено тісну залежність між рН та вмістом розчиненого кисню ($r=0,81$), біомасою ($r=-0,42$), чисельністю ($r=-0,88$), сапробністю ($r=0,72$), кількістю видів ($r=-0,40$), чисельністю відділу *Chlorophyta* ($r=-0,84$), *Cyanobacteria* ($r=-0,84$), біомасою відділів *Chlorophyta* ($r=-0,89$), *Cyanobacteria* ($r=-0,91$). Встановлено залежність між вмістом розчиненого кисню та біомасою ($r=-0,71$), чисельністю ($r=-0,83$), сапробністю ($r=0,51$), кількістю видів ($r=-0,57$), чисельністю відділів *Chlorophyta* ($r=-0,87$), *Cyanobacteria* ($r=-0,69$), біомасою відділів *Chlorophyta* ($r=-0,87$), *Cyanobacteria* ($r=-0,65$, $p<0,05$).

Головні висновки. Видовий склад водоростей р. Стубелка представлений 109 видами водоростей, 111 внутрішньовидовими таксонами (ввт) з номенклатурним типом виду включно, які належать до 75 родів, 43 родин, 32 порядків, 14 класів, 8 відділів. За видовим багатством найбільш представлені

Bacillariophyta (51 видів, 52 ввт, 46,8%), *Chlorophyta* (30 видів, 31 ввт, 27,9%), *Cyanobacteria* (9 видів, 8,1%) та *Euglenozoa* (9 видів, 8,1%). Чисельність фітопланктону змінюється від 714 тис. кл/дм³ (жовтень) до 3424 тис. кл/дм³ (серпень), а біомаса від 0,21 мг/дм³ (жовтень) до 1,04 мг/дм³ (червень). Індекс Шеннона за чисельністю варіює від 3,15 біт/екз до 4,74 біт/екз, а за біомасою – від 3,97 біт/мг до 4,80 біт/мг. Індекс сапробності змінюється від 2,04 (червень) до 1,55 (серпень).

Вміст нітрогену амонійного у воді р. Стубелка варіює від 0,347 мг/дм³ до 1,722 мг/дм³, що перевищує ГДК в 1,15–3,44. Концентрація нітритів змінюється в межах 0,026–0,072 мг/дм³, а нітратів – 0,128–6,246 мг/дм³. Температура води р. Стубелка влітку становить 19–24 °C, а восени – 11–13 °C. Концентрація рН у воді р. Стубелка варіює в межах 6,6–7,3, а вміст розчиненого кисню змінюється від 5,70 мг O₂/дм³ до 8,47 мг O₂/дм³. Відгуком водоростевих угруповань на різну концентрації сполук Нітрогену та зміщення рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати в бік нітрифікації (влітку) та амоніфікації (восени) є зростання, чи навпаки, зниження розвитку відділів фітопланктону.

Перспективи використання результатів дослідження. Врахування впливу вмісту сполук Нітрогену у воді р. Стубелка на фітопланктон дозволяє прогнозувати розвиток видів за різних концентрацій елементів у воді та оцінити стан водної екосистеми.

Література

1. Клоченко П.Д., Шевченко Т.Ф., Харченко Г.В. Структурно-функціональна організація фітопланктону в зарослях і на открытых участках озер г. Києва. *Гидробиологический журнал*. 2015. Т. 51. № 1. С. 49–65.
2. Коваленко С.А., Пономаренко Р.В., Третьяков О.В., Титаренко А.В., Иванов С.В. Визначення нових аспектів зміни екологічного стану поверхневого водного об'єкту. *Комунальне господарство міст*. 2022. Том 3. Вип. 170. С. 53–61. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-3-170-53-6>

3. Коротун І.М., Коротун Л.К. Географія Рівненської області: природа, населення, господарство, екологія: навч. підручник. Рівне: 1996. 380 с.
4. Кравцова О.В., Щербак В.І., Лінчук М.І. Закономірності формування фітопланктону за різних концентрацій біогенних елементів та органічної речовини. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія : Біологія. 2019. № 1. С. 43–51. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.19.1.5>
5. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут. К.: Наукова думка, 2007. 456 с.
6. Суходольська І.Л., Басараба І.В. Вплив сполук Нітрогену на формування угруповань фітопланктону озера Засвітське. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. Київ, 2023. Вип. 2(47). С. 73–82. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.есо.2-47.12>
7. Шелюк Ю.С. Фітопланктон річкових екосистем Українського Полісся. *Algologia*. 2022. 32(1). С. 35–52. <https://doi.org/10.15407/alg32.01.035>
8. Щербак В.І. Методи досліджень фітопланктону. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. Київ, 2002. С. 41–48.
9. Щербак В.І., Кравцова О.В., Лінчук М.І. Оцінка впливу підвищених концентрацій сполук азоту на різноманіття фітопланктону ставів дендропарку «Олександрія» (м. Біла Церква, Україна). *Гідробіологічний журнал*. 2017. Т. 53, № 5. С. 19–32.
10. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2023. <https://www.algaebase.org> (дата звернення: 15.01.2023).

УДК 574.5 (075)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.9>

ВИКОРИСТАННЯ ШТАМУ МІКРОВОДОРОСТІ CHLORELLA VULGARIS POLIKARP ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРІСНИХ ВОДОЙМ ВІД ТЕХНОГЕННИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Улицький О.А., Пашкевич Л.П.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
olegulytsky@gmail.com

Вивчено екологічний стан водних екосистем, що дозволяє визначити структуру розповсюдження різних видів гідробіонтів та їх роль у гідросфері. Значено, що інтенсивні антропогенні навантаження, розвиток та досягнення світової науки призвели до створення нових приладів та обладнання, що дозволяють своєчасно здійснювати моніторингові спостереження на водоймах різного призначення, але й вивчати умови та особливості відновлення водних ресурсів та їх властивостей, створення умов, за яких ризик антропогенного впливу на довкілля стане мінімально-можливим завдяки природним та антропогенним чинникам. Для водойм, розташованих в зоні ведення сільського господарства та об'єктів промислового виробництва, характерним є порушення температурного та гідрологічного режимів, накопичення значної маси фітопланктону та збільшення органічного забруднення, накопичення важких металів [1]. У таких водоймах порушуються умови життєдіяльності річної та прибережної зон екосистем, що сприяє масовому розвитку ціанобактерій (синьо-зелених водоростей) на значній частині водойми.

Проаналізувавши останні публікації, в яких описані наукові дослідження щодо застосування штаму мікро-водорості Хлорелла для поліпшення якості води у відкритих водоймах загального користування, зроблено висновок, що використання такої біотехнології для відновлення водного фонду є досить ефективною. Регулярне підселення штаму Хлорелла протягом декількох років дає змогу зменшити вдвічі індекс забруднення води (ІЗВ) і довести водний ресурс до споживчої норми. Запропонований експериментальний метод досліджень, пов'язаний з активним впливом на екосистеми в природних та лабораторних умовах, дозволяє вивчити явища ізольовано та досягати створення стійких продуцентів біомаси залежно від виду призначення водного об'єкту. Окрім традиційних методів очищення водойм широкого застосування набувають такі, що засновані на основі біотехнологічних підходів, зокрема, з використанням мікроводоростей (фітопланктону), вищих водних рослин (макрофітів), об'єктів іхтіофауни (риб з різним спектром живлення), а також молюсків – біомеліорантів. *Ключові слова:* технології очищення, хлорелла, забруднення водойм, індекс забруднення води, альголізація, фітопланктон, індикація екологічного стану.

Use of *Chlorella vulgaris* Polikarp microalgae strain for purification of freshwaters from technological pollution. Ulytsky O., Pashkevich L.

The study of the ecological situation in aquatic ecosystems makes it possible to assess the distribution structure of various types of hydrobionts and their role in the hydrosphere. Meanwhile, the intensive development of anthropogenic loads and the achievements of world science have led to the creation of new devices and equipment that allow to quickly carry out monitoring observations on reservoirs of various purposes, but also to study the conditions for restoring the state of water resources and their properties, creating conditions in which the risk of anthropogenic influence on the environment is minimally possible due to natural and anthropogenic factors. Violations of temperature and hydrological regimes, accumulation of a significant mass of phytoplankton and increase of organic pollution, accumulation of heavy metals are characteristic of reservoirs located in the zone of agriculture and industrial production facilities. In such reservoirs, the living conditions of the river and coastal zone of the ecosystem are disturbed, which contributes to the massive development of cyanobacteria (blue-green algae) in a significant part of the reservoir. Having analyzed the latest publications describing scientific experiments on the use of a strain of *Chlorella* micro-algae to improve the quality of water in public open water bodies, it is possible to draw a conclusion about the effectiveness of such biotechnology for the restoration of the water fund. The use of regular restocking of the *Chlorella* strain over several years can halve the water pollution index (WPI) and bring the water resource to the consumer standard. The proposed experimental method of research is related to the active impact on ecosystems in natural and laboratory conditions. The method makes it possible to study phenomena in isolation and achieve the creation of sustainable biomass producers depending on the type of purpose of the water object. Instead of traditional methods of cleaning, methods based on biotechnological approaches are becoming widely used, in particular, using microalgae (phytoplankton), higher aquatic plants (macrophytes), ichthyofauna objects (fish with a different spectrum of nutrition), as well as molluscs that are biomeliorants. *Key words:* purification technologies, chlorella, water pollution, water pollution index, algalization, phytoplankton, indication of ecological state.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Забруднення води шкідливими домішками неорганічної й органічної природи є отруйними і супроводжується кумулятивним ефектом, а в подальшому – зниженням вмісту O_2 у воді, зміною її фізичних властивостей – прозорості і температури. Особливу небезпеку створює теплове забруднення

водойм, істотно змінюючи їх термічний та біологічний режими [1, 2–6]. на сьогодні гідросфера не спроможна самоочищуватися, саморегулюватися й самовідновлюватися – вона дедалі активніше деградує. Нині річки, озера і інші водойми самотужки вже не можуть подолати дедалі зростаюче антропогенне навантаження у вигляді – «цвітіння».

Найвагоміше значення з розвитку фітопланктону до рівня «цвітіння» води мають синьо-зелені водорості. Забруднення водойм внаслідок розкладання великих накопичень маси водоростей характеризується як біологічне самозабруднення. Період домінування синьо-зелених водоростей пов'язаний із пригніченням усіх інших компонентів фітопланктону внаслідок затемнення, перехоплення біогенних елементів і впливу токсичних виділень на інші планктонні види. Під час «цвітіння» води у водоймах поряд з продуктами розкладання синьо-зелених водоростей відбувається активний розвиток патогенних бактерій, що призводить до посилення загальної токсичності водного середовища та загострення епідеміологічної ситуації у водоймі.

Нині інноваційним підходом, що дозволяє істотно зменшити рівень забруднення водойм та поліпшити органолептичні властивості води є біоремедіація водойм суспензією хлорели, яка основана на альголізації водойм планктонними штамми зеленої мікрородорості *Chlorella vulgaris* Polikarp [6, 7–9].

Для боротьби із «цвітінням» води рекомендується застосовувати біологічний спосіб боротьби. Технологія заснована на біологічних властивостях живої планктонної хлорели пригнічувати дію синьо-зелених водоростей (ціанобактерій).

Тому суспільство повинно вдатися до заходів для очищення забруднених вод і повернення водойм різного призначення до стану, придатного для подальшого їх використання.

Водні об'єкти України

Поверхневі прісні водні об'єкти України¹ охоплюють 24,1 тис. кв. км, або 4,0 % загальної території (603,7 тис. кв. км) держави. До цих об'єктів належать річки, озера, водосховища, ставки, канали тощо.

Скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти та очистка стічних вод

За результатами узагальнення даних державного обліку водокористування у 2021 році у поверхневі водні об'єкти скинуто 4684,6 млн. куб. м стічних вод, у тому числі: забруднені складають 541,5 млн. куб. м (11,6%), нормативно-очищені – 1430 млн. куб. м (30,5%) та нормативно-чисті без очистки – 2712,9 млн. куб. м (57,9%)

Мета роботи та виклад основного матеріалу. Мета роботи полягає у розробці технологій вирощування (на базі високопродуктивного штаму *CHLORELLA VULGARIS POLIKARP*) змішаних штамів із використанням місцевих культур мікрородорості для створення стійких продуцентів біомаси залежно від виду призначення водного об'єкту.

Для досягнення мети необхідно:

– проаналізувати антропогенну дію, що чиниться на водні екосистеми ціанобактеріями (синьо-зелені водорості);

– обґрунтувати методику проведення досліджень;

– розробити методологічний підхід до комплексної оцінки екологічного фактору при розробці Технологічних регламентів та Технологічних інструкцій з вирощування і застосування змішаних штамів;

– розробити технологічну інструкцію створення та масштабування змішаних штамів.

Для визначення ступеня забрудненості води використовуються чотири критерії шкідливості, по кожному з яких сформовано певну групу речовин і специфічних показників якості води:

– критерій санітарного режиму (W_s) враховує розчинений кисень, БСК₅, ХСК і специфічні забруднення, що нормуються (W) за впливом на санітарний режим;

– критерій органолептичних властивостей (W_ϕ) враховує запах, завислі речовини, ХСК і специфічні забруднення, що нормуються за органолептичною ознакою шкідливості;

– епідеміологічний критерій (W_e) враховує небезпеку мікробного забруднення;

– критерій безпеки санітарно-токсикологічного забруднення (W_{ct}) враховує ХСК і специфічні забруднення, що нормуються за санітарно-токсикологічною ознакою.

Одні й ті ж самі показники можуть водночас відображатися в кількох групах шкідливості. Комплексну оцінку вираховують окремо для кожної лімітуючої ознаки шкідливості (ЛОШ) за формулами:

$$W = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - 1)}{n};$$

$$d_i = C_i / N_i$$

де W – комплексна оцінка рівня забруднення води за даною ЛОШ;

n – кількість показників, що використовуються для розрахунків;

N_i – нормативне значення одиничного показника (найчастіше = ГДК);

d_i – кратність перевищення фактичної концентрації i -го інгредієнта у воді (C_i) до нормативного значення одиничного показника.

Якщо $d_i < 1$, тобто концентрація менше нормативної, то приймається $d_i = 1$.

За відповідними формулами розраховують вміст розчиненого кисню і завислих речовин. Розчинений кисень нормується за нижнім рівнем значення, тобто його вміст має бути меншим за 4 мг/дм³, тому при < 4 мг/дм³ для нього прийнято:

$$d_1 = 1 + 10 \frac{N_1 - C_1}{N_1}$$

Оскільки самі розраховані показники ніщо не стверджують, до формул пропонується традиційна класифікаційна таблиця діапазонів значень комплексних оцінок W (табл. 1).

¹ Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mep.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>

Ступінь забруднення водойм залежно від значень комплексних показників W

Рівень забруднення	Критерій забруднення за величинами комплексних оцінок			
	Органолептичний (Wφ)	Санітарний режим (Wс)	Санітарно-токсикологічний (Wст)	Епідеміологічний (We)
Допустимий	1	1	1	1
Помірний	1,0–1,5	1,0–3,0	1,0–3,0	1,0–10,0
Високий	1,5–2,0	3,0–6,0	3,0–10,0	10,0–100,0
Найвищий	>2,0	>6,0	> 10,0	> 100,0

Традиційно для очищення забруднених та стічних вод, а також подолання біологічних перешкод застосовують фізико-хімічні і механічні методи [10–14]. Проте вони не дозволяють у достатній мірі очищати воду від органічних та неорганічних забруднювачів, які потрапляють і накопичуються у поверхневих водоймах та призводять до значних матеріальних затрат на використання спеціальної техніки, обладнання та реагентів. За таких обставин, у багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні, протягом останніх років відмовляються від традиційних методів очищення та знезараження стічних вод зважаючи на їх ненадійність та складність у експлуатації, високу вартість та енергоємність. Замість традиційних методів очищення широкого застосування набувають методи, засновані на основі біотехнологічних підходів, зокрема, з використанням мікроводоростей (фітопланктону), вищих водних рослин (макрофітів), об'єктів іхтіофауни (риб з різним спектром живлення), а також моллюсків що є біомеліорантами [15–17]. Проаналізувавши останні публікації, в яких описані наукові дослідження щодо застосування штаму мікро-водорості Хлорелла для антропогенного поліпшення якості води у відкритих водоймах загального користування, можна зробити висновок щодо ефективності такої біотехнології задля відновлення водного фонду. Використання регулярного підселення штаму Хлорелла протягом кількох років може знизити вдвічі ІЗВ (індекс забруднення води) і призвести водний ресурс до споживчої норми [18–20]. Всі ці дослідження корелюються одним і тим же висновком – при використанні біотехнології підселення мікроводорості у відкриті водойми, інгібується розвиток синьо-зеленої та збудників цвітіння *Anabaena flos-aqua* у *Microcystis aeruginosa* водорості і припиняється цвітіння водойм, що, у свою чергу, зменшує забруднення водойм і створює більш толерантне середовище для риби та інших мешканців. Однак, не вирішеним залишається питання – де брати біомасу Хлорели, незабрудненої патогенними та шкідливими мікроорганізмами із урахуванням об'єму прісних водних ресурсів України, щоб у досить короткій перспективі досягти відповідних результатів. описаних у наукових працях.

Технологія швидкого вирощування чистої культури мікроводорості

Мета роботи полягає у розробці технології швидкого вирощування чистої культури мікроводорості, незабрудненої шкідливими та патогенними мікроорганізмами (на базі високопродуктивного штаму *CHLORELLA VULGARIS POLIKARP*) змішаних штамів із використанням місцевих культур мікроводорості для створення стійких продуцентів біомаси залежно від виду призначення водного об'єкту.

Матеріали та методи. Під час досліджень проводилися практичні роботи по створенню та вивченню ефективності біореактора закритого типу BioDrum, виконаного згідно із патентом на корисну модель № 126380 «Автоматизований комплекс по вирощуванню мікроводоростей «BIODRUM».

Мікроводорості вирощувалися у середовищі Тамія. Облік концентрації біомаси виконувався за допомогою камери Горяєва та електронного мікроскопу.

Для досягнення мети використовується штам мікроводорості *Chlorella vulgaris*, який депоновано у колекцію Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (акронім IBASU-A), що є складовою Національного гербарію України, під назвою Polikarp. Колекція культур мікроводоростей (IBASU-A) розглядається самостійно як об'єкт національного надбання.

За результатами молекулярно-філогенетичного вивчення отримані нуклеотидні послідовності гену 18S рРНК *Ch. vulgaris* Polikarp, які задепоновані в базі GenBank за № MW008650.1.

Біореактор було обладнано автоматизованою системою керування технологічним процесом вирощування мікроводорості із організацією серверної технології накопичення даних, та віддаленого керування параметрами технологічного процесу без безпосередньої присутності людського персоналу в лабораторії, де експлуатувалась дослідна установка. Роботи проводилися в рамках Меморандуму про співпрацю між ТОВ «Нафтогазінжиніринг» та Державною екологічною академією післядипломної освіти та управління в галузі технологій захисту навколишнього середовища та раціонального природокористування. Створено автономний модульний комплекс BIODrum® з вирощування змішаних штамів мікроводорості *Chlorella* для біологічного очищення поверхневих вод (рис. 1).



Рис. 1. Автономний модульний комплекс BIODrum®

Склад комплексу:

Модуль біореакторів – 1 од

Модуль підготовки поживного розчину та суспензії – 1 од

Модуль CO₂ – 1 од

Основні технічні характеристики комплексу:

– Потужність виробництва: 162 000 літрів суспензії хлорели на рік

– Утилізація CO₂: 16 200 кг на рік

– Виробництво O₂: 9 600 кг на рік

– Біологічна очистка води: 1 500 000 м³/150 Га

– Максимальна кількість CO₂ в системі: 1350 кг (25 діб безперервної роботи)

Основні екологічні показники:

– Насичення води природними антагоністами, які пригнічують ріст синьо-зелених водоростей, перешкоджаючи «цвітінню», і як наслідок, заморам риби та неприємного запаху.

– Насичення води киснем, поглинаючи вуглекислий газ, який мікрободорість переробляє та виділяє кисень, що сприяє рибі легше дихати, а також переносити підлідну зимівлю та літні надмірні підвищення температури води.

– Хлорела сама по собі є кормом для риби, а також створює сприятливе середовище для розвитку кормових водних організмів, зоо та фіто планктону (дафнії, рачки, коловратки), які, у свою чергу, поїдаються рибою, а також є відмінним стартовим кормом для малька.

– Хлорела – це комплекс із 650 речовин: незамінні амінокислоти, жири, вітаміни, мікро та макро елементи у легкозасвоюваному вигляді. Цей фактор підвищує імунітет риби, зводить до мінімуму захворюваність та відхід молодняка.

– Хлорела виступає як живильне середовище для розвитку біфідобактерій, внаслідок чого всі корми засвоюються набагато краще та швидше, викликаючи прирости до 30–40%.

Впровадження комплексної біоінженерної системи відновлення природних механізмів біотичної саморегуляції поверхневих водойм.

Перші кроки щодо створення експериментальної науково-дослідної ділянки з впровадження автономного біоінженерного комплексу для віднов-

лення природних механізмів біотичної саморегуляції поверхневих водойм були проведені на водоймах села Музичі, Київської області.

Сучасний екологічний стан природних водойм України, вплив на них багаторічного скиду частково очищених скидних вод поступово призводить до екологічної катастрофи. На початку XXI сторіччя екологічна ситуація, в якій опинилися водойми України, викликає серйозну занепокоєність. Однією з основних проблем є біологічне забруднення вод природних водоймищ патогенними та умовно-патогенними мікроорганізмами, що відбувається в результаті надходження в них стічних вод з прибережних населених пунктів, промислових вод, багатих на органічні сполуки з поживними речовинами для мікроорганізмів [17]. В процесі евтрофікації надлишок поживних речовин у водоймах викликає надмірне розмноження водоростей.

Загальна характеристика водойми:

Дві природні водойми площею 8842 м², глибиною 0.5–2 метри.

Ці природні водойми – місцем гніздування великих і дрібних водоплавних птахів ніколи не очищалися. Береги водойм щільно обсажені деревами. Внаслідок накопичення у водоймах фекалій водоплавних птахів і риб, опалого листя та гілок забруднення водойм набуло інтенсивного характеру з такими ознаками:

– донний осад товщиною 1 метр, високий вміст у водоймі органічних речовин наноси, екскрементів риб і водоплавних птахів, листя, гілок;

– неконтрольоване розмноження ціанобактерій, наліт на камінні від спірогіри (*Spirogyra*), перевищення ГДК за різними металами у складі води;

– відчутний анаеробний запах.

У реєстровій документації озеро зазначене як струмок, що пов'язує каскад озер, як відображено на карті.

Рух на невеликому гумовому човні по озеру практично неможливий через підводну рослинність (водорості та підводне коріння очерету).

В озері є карась (до 20 см особини) та щука (невеликого розміру – до 50 см особини).

Дно мулисте з мулу до 20–30 см.

Експеримент з альголізації водойма с. Музичі (Київська область, рис. 2), показав особливості відтворення хлорели (*Chlorella* штаму Polikarp) та можливості її використання для біологічної реабілітації поверхневих вод.

Під час оцінки зміни якості вод використовувався коефіцієнт оптичної щільності, який відображав концентрацію водоростей у воді. Автор виконання робіт (Л. Пашкевич) запатентував спосіб культивування нового штаму зеленої водорості *Chlorella* штаму Polikarp, якою і здійснював альголізацію ставка с. Музичі.

Діапазон зростання цієї одноклітинної водорості досить широкий не тільки на поживних середовищах, але і в природних водах. Вихідним для штаму *Chlorella* штаму Polikarp був штам *Chlorella* ..., який культивувався на стічних водах побутових, промислових і сільськогосподарських підприємств.

За аналізованими критеріям (розмір клітини, зростання на живильному середовищі, здатність до

осадження, прилипання до стінок судини, ставлення до світла) аборигенна форма хлорели за основними показниками поступалася штаму *Chlorella vulgaris* (аборигенний вид Пензенського водосховища, 1998 рік). У наступний період була спроба альголізації у підлітний період. Щорічно у двох місцях водойма вносилися культура хлорели з щільністю клітин 50–60 млн/мл 20 л.

Завдяки цьому стартові умови для розвитку аборигенних та акліматизованих видів ставали ідентичними. У відсотковому відображенні від загальної чисельності клітин фітопланктону хлорела становила 10% навесні та 30% влітку та восени.

Перший етап альголізації

Внесення суспензії здійснено 12.04.2023 р. при температурі води +10° С.

Для альголізації водойми використовували суспензію хлорели з концентрацією водорості 50 млн. кл/мл. Суспензію вносили згідно рекомендації виробника, ТОВ «НАФТОГАЗІНЖИНІРІНГ» із

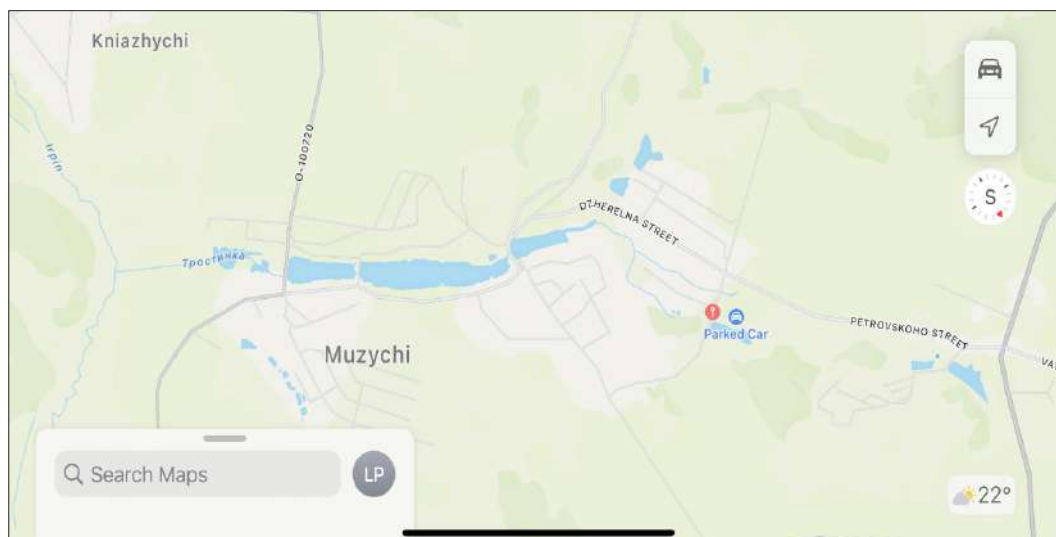


Рис. 2. Водойми поверхневих вод с. Музичі



Рис. 3. Фото. Внесення суспензії хлорели

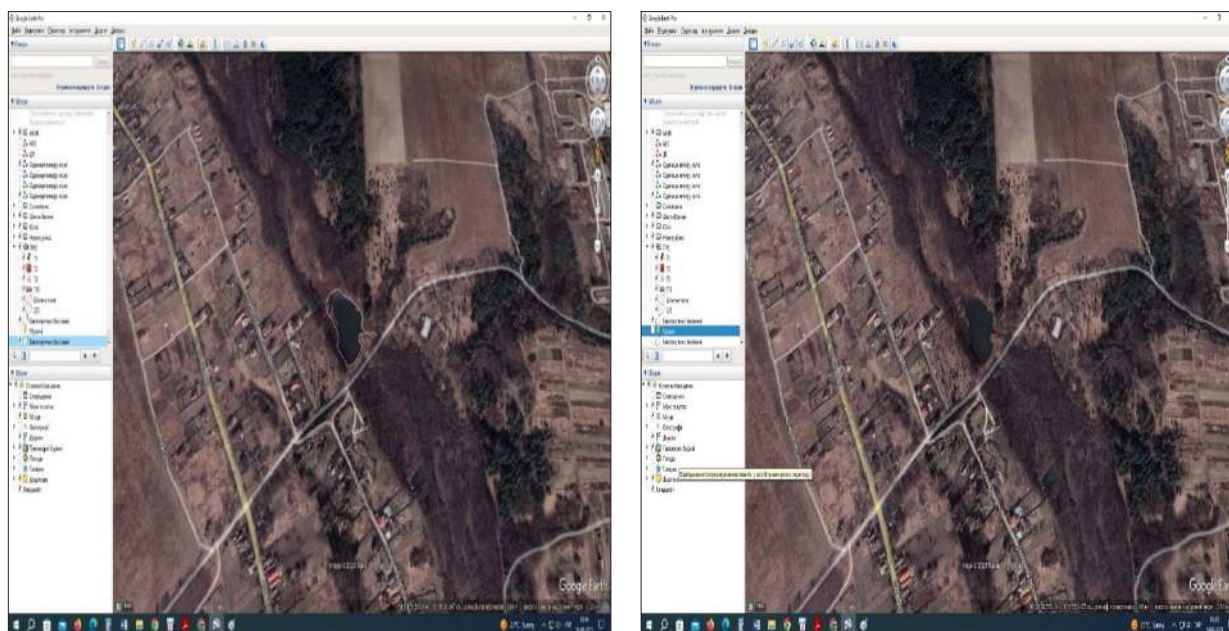


Рис. 4. Знімок 14.08.2023

розрахунку 20 л/га. Суспензія була рівномірно розподілена вздовж всієї водойми (по периметру).

Результати за даними лабораторних досліджень. З метою визначення можливих параметрів зміни якісного стану водних об'єктів за умов вирощування високопродуктивного штаму *CHLORELLA VULGARIS POLIKARP* було здійснено відбір проб із спостережних пунктів різних об'єктів із подальшим виконанням лабораторного аналізу за переліком показників, що використовуються для визначення якості води водних рибогосподарських об'єктів.

Проби відбиралися до введення хлорелли та через 15 днів після її розмноження у водному середовищі.

Визначалися органолептичні показники, сухий залишок, а також виконані дослідження проб води на наявність органічних забруднювачів (зокрема, ПАВ), неорганічних забруднювачів (фториди, азотні солі, нітриту, нітрати), концентрації розчиненого кисню, хімічне споживання кисню та ін.

За результатами аналізу виконаний розрахунок ступеня забруднення водойм (W) за санітарно-токсикологічним критерієм, що дозволив оцінити фактори істотних змін режиму водного середовища у результаті здійснення експерименту.

У якості параметрів, що визначають санітарно-токсикологічний стан водного середовища, відібрані наступні – перманганатна окиснюваність, розчинений кисень, фтор, нітрати, нітриту, амоній (солі амонію). Таблиці 1–3 демонструють фактичні концентрації наявних речовин до та через 15 днів після введення хлорелли у водойми у трьох місцях відбору проб.

Ступінь забруднення водойм за санітарно-токсикологічним критерієм до та після заселення хлорелли наведено у таблиці 4.

Як засвідчують результати, наведені у таблиці 4, рівень забруднення, визначений на основі врахування індексу санітарно-токсикологічного критерію як лімітуючої ознаки шкоди, є досить непоказовим через широкий діапазон розбігу визначених величин. Тому з метою виявлення факторів змін екологічного режиму водних об'єктів під впливом росту колонії хлорелл, були розраховані величини кратності перевищення кожного із досліджуваних показників до гранично допустимих норм. Результати продемонстровані у вигляді діаграм порівняння (рис. 5–7).

Наведені діаграми наочно демонструють факт зменшення або цілковитого вилучення солей амонію та нітратів із вод під впливом життєдіяльності хло-

Таблиця 1
Фактичні концентрації речовин, визначені у пробах води із пункту відбору проб у с. Музичі

Показник	Фактичні концентрації		ГДК, мг/дм ³
	До	Після	
Амоній, мг/дм ³	0.87	-	0.5
Нітрати, мг/дм ³	12.3	1.1	45
Фтор, мг/дм ³	-	-	1.5
Розчинений кисень, мг/дм ³	5.5	6.8	4.0
Перманганатна окиснюваність, мг/дм ³	7.6	5.2	5.0

Таблиця 2

Фактичні концентрації речовин, визначені у пробах води із пункту відбору проб у Нерушайському водосховищі

Показник	Фактичні концентрації		ГДК, мг/дм ³
	До	Після	
Амоній, мг/дм ³	0.1	-	0.5
Нітрати, мг/дм ³	10	0.2	45
Фтор, мг/дм ³	-	-	1.5
Розчинений кисень, мг/дм ³	5	9.1	4.0
Перманганатна окиснюваність, мг/дм ³	13.5	21.1	5.0

Таблиця 3

Фактичні концентрації речовин, визначені у пробах води із пункту відбору проб у каналі Дунай-Сасик

Показник	Фактичні концентрації		ГДК, мг/дм ³
	До	Після	
Амоній, мг/дм ³	0.1	-	0.5
Нітрати, мг/дм ³	1	5.4	45
Фтор, мг/дм ³	-	-	1.5
Розчинений кисень, мг/дм ³	4	11.2	4.0
Перманганатна окиснюваність, мг/дм ³	10.5	25	5.0

Таблиця 4

Оцінка екологічного стану водних об'єктів за розрахованим ступенем забруднення

Водний об'єкт	Санітарно-токсикологічне забруднення до введення	Рівень забруднення до введення	Санітарно-токсикологічне забруднення після введення	Рівень забруднення після введення
Пункт у с. Музичі	1,65	Помірний	1,43	Помірний
Нерушайське водосховище	1,98	Помірний	1,74	Помірний
Канал Дунай-Сасик	2,02	Помірний	2,36	Помірний

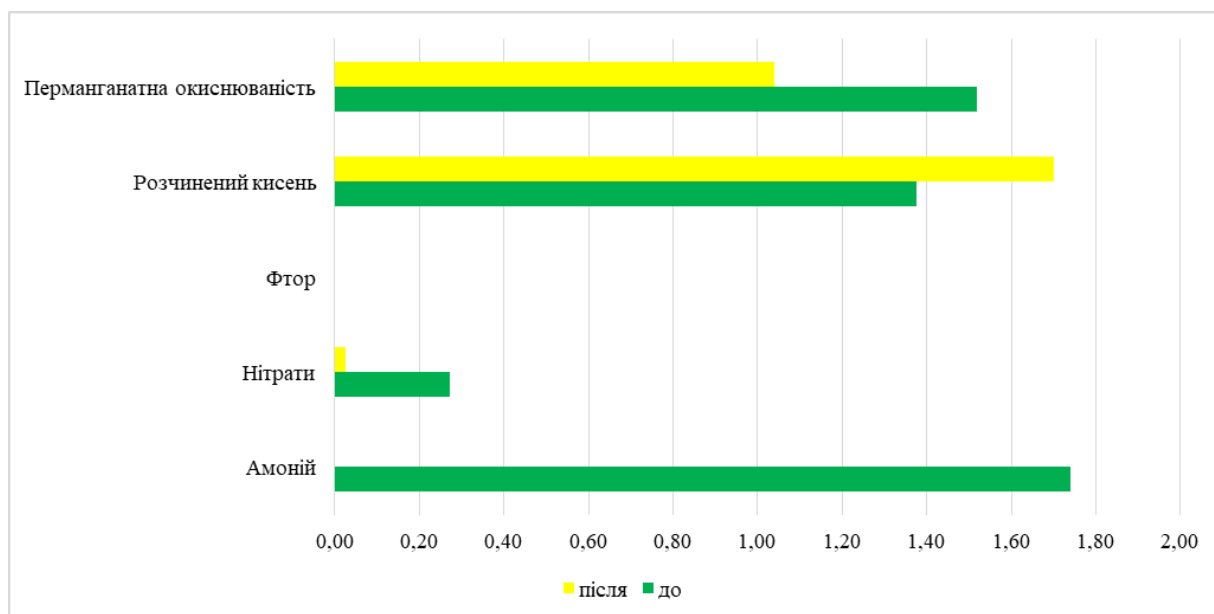


Рис. 5. Порівняльна діаграма кратності забруднення за наведеними показниками у водній масі до та після введення колонії хлорелл у пункті відбору с. Музичі

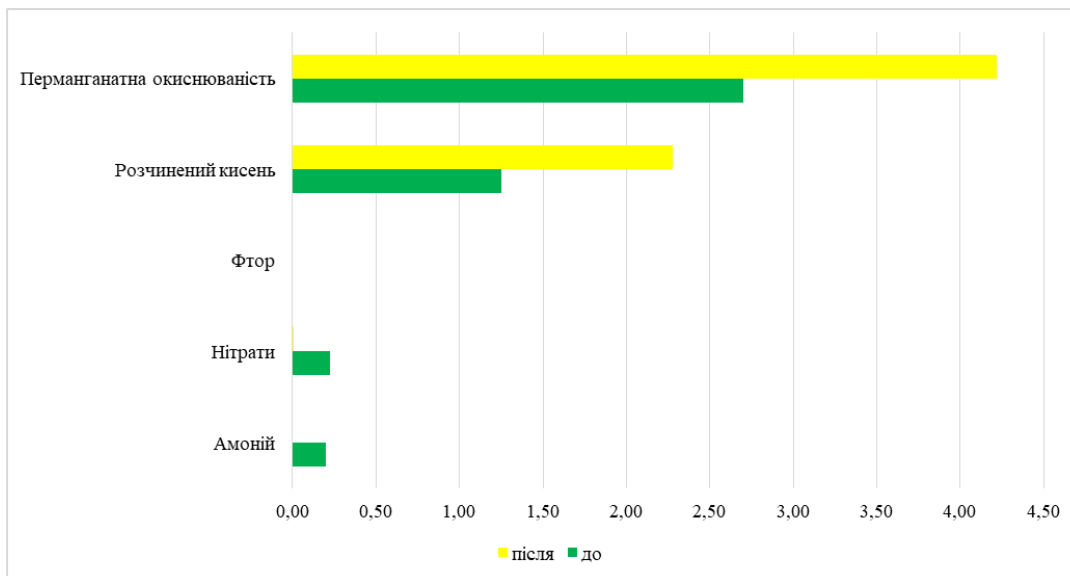


Рис. 6. Порівняльна діаграма кратності забруднення за наведеними показниками у водній масі до та після введення колонії хлорелл у пункті відбору Нерушайське водосховище

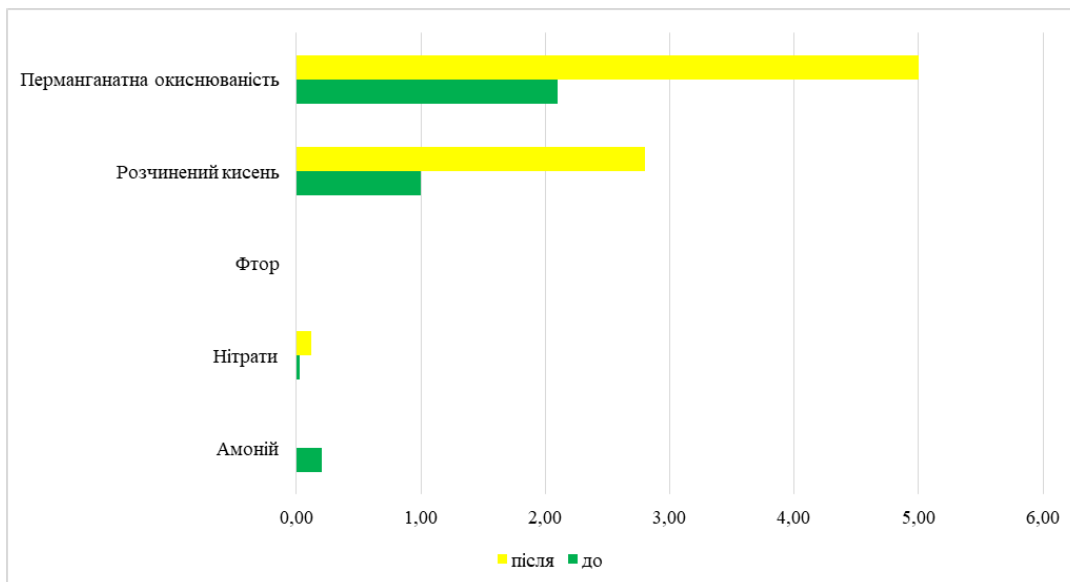


Рис. 7. Порівняльна діаграма кратності забруднення за наведеними показниками у водній масі до та після введення колонії хлорелл у пункті відбору каналу Дунай-Сасик

релл, що були штучно введені у водойми. Вміст розчиненого кисню у всіх спостережних пунктах збільшився у 2–2,5 рази після введення мікроорганізмів. Концентрація розчиненого кисню у водах є маркером якості вод з точки зору їх розгляду як середовища розмноження, проживання і міграції риб та інших водних організмів.

Розчинений у воді кисень витрачається на дихання тварин й окислення органічних речовин. Тому збільшення його концентрації є позитивною ознакою відновлення доброго екологічного стану водного об'єкту.

Разом з тим, варто відмітити виражене зростання перманганатної окиснюваності після введення

і зростання колонії хлорелли у всіх пунктах відбору проб.

Перманганатна окиснюваність – це показник, що відображає загальне органічне забруднення вод. Збільшення концентрацій цього показника ймовірно спричинене культивуванням і розмноженням мікроорганізмів у досліджуваних водних об'єктах, адже розмноження бактерій відбувається інтенсивно із збільшенням популяції майже у два рази (рис. 8).

Враховуючи ймовірний несприятливий вплив росту субстрату на загинелі інших наявних організмів у водоймах, у майбутньому доцільно передбачити проведення експериментальних лабораторних

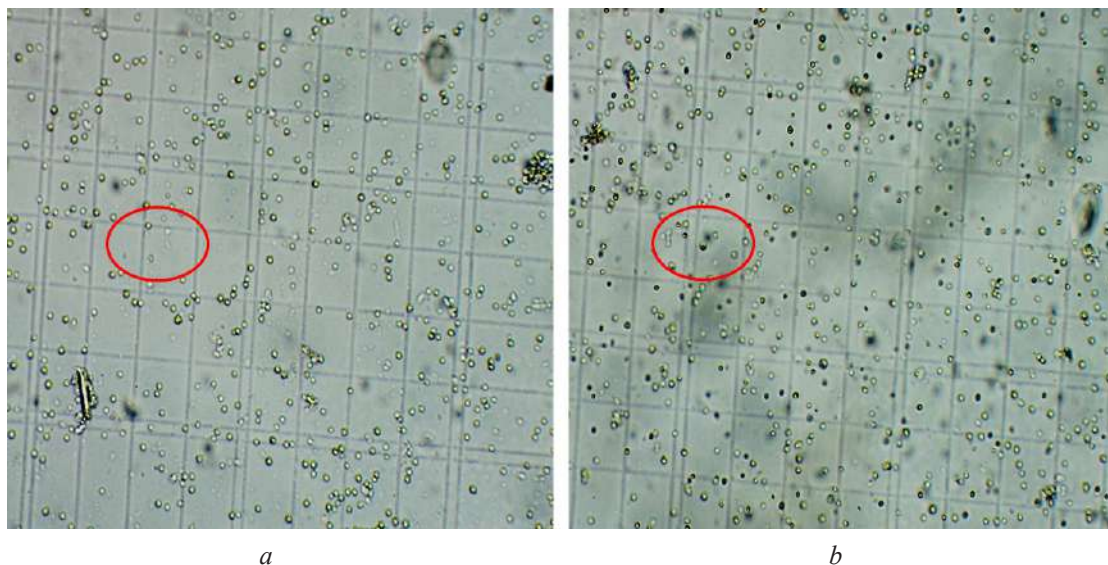


Рис. 8. Демонстрація росту популяції хлорелли на початок введення у водойму (а) та через три дні після введення (b) (мікроскопічні дослідження)

досліджень за мікробіологічними показниками та виконати біотестування.

Очікувані результати: відновлення природних механізмів біотичної саморегуляції поверхневих водойм села Музичі Київської області шляхом застосування технології вирощування мікроводорості *Chlorella* штаму Polikarp, як спосіб поліпшення

та індикації екологічного стану водойм. Біологічна реабілітація водосховищ с. Музичі призвела до того, що окрім відсутності «цвітіння» синьо-зеленими водоростями за 2022 рік р. вміст розчиненого кисню у воді був вищим, навіть у найспекотніший місяць літньої пори – липень перевищував мінімально допустимий рівень.

Література

1. Брук В.В. Звіт про НДР за темою № 5/1.2-21 «Розроблення методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод» (ДР № 0121U09820), Харків : УкрНДІЕП, 2021, 159 с.
2. A Review about Microalgae Wastewater Treatment for Bioremediation and Biomass Production—A New Challenge for Europe Environments 2021, 8, 136. <https://doi.org/10.3390/environments8120136>; <https://www.mdpi.com/journal/environments>
3. Zamalloa, C.; Boon, N.; Verstraete, W. Decentralized two-stage sewage treatment by chemical-biological flocculation combined with microalgae biofilm for nutrient immobilization in a roof installed parallel plate reactor. *Bioresour. Technol.* 2013, 130, 152–160. [CrossRef]
4. Abinandan, S., Shanthakumar, S. Challenges and opportunities in application of microalgae (Chlorophyta) for wastewater treatment: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 52, 123–132. [CrossRef]
5. Європейська комісія. Директива Європейської Комісії 91/271/EEC щодо очищення міських стічних вод. 1991. Доступно онлайн: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?CELEX=31991L0271> (дата доступу 9 липня 2021 р.).
6. Очищення міських стічних вод у Європі — Європейське агентство з навколишнього середовища. Доступно в Інтернеті: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/urban-waste-water-treatment/urban-waste-water-treatment-assessment-5> (дата доступу 9 листопада 2020 р.).
7. Petrini, S.; Foladori, P.; Donati, L.; Andreottola, G. Comprehensive respirometric approach to assess photosynthetic, heterotrophic and nitrifying activity in microalgal-bacterial consortia treating real municipal wastewater. *Biochem. Eng. J.* 2020, 161, 107697. [CrossRef]
8. Mantovani, M.; Marazzi, F.; Fornaroli, R.; Bellucci, M.; Ficari, E.; Mezzanotte, V. Outdoor pilot-scale raceway as a microalgae-bacteria sidestream treatment in a WWTP. *Sci. Total Environ.* 2020, 710, 135583. [CrossRef]
9. Menna, F.Z.; Arbib, Z.; Perales, J.A. Urban wastewater photobiotreatment with microalgae in a continuously operated photobioreactor: Growth, nutrient removal kinetics and biomass coagulation–flocculation. *Environ. Technol.* 2019, 40, 342–355. [CrossRef] [PubMed] *Environments* 2021, 8, 136 20 of 24
10. Miksch, K.; Cema, G.; Corvini, P.F.-X.; Felis, E.; Sochacki, A.; Surmacz-Górska, J.; Wiszniowski, J.; Zabczynski, S. R&D priorities in the field of sustainable remediation and purification of agro-industrial and municipal wastewater. *New Biotechnol.* 2015, 32, 128–132. [CrossRef]
11. Ferro, L.; Gorzsás, A.; Gentili, F.G.; Funk, C. Subarctic microalgal strains treat wastewater and produce biomass at low temperature and short photoperiod. *Algal Res.* 2018, 35, 160–167. [CrossRef]
12. Peralta, E.; Jerez, C.G.; Figueroa, F.L. Centrate grown *Chlorella fusca* (Chlorophyta): Potential for biomass production and centrate bioremediation. *Algal Res.* 2019, 39, 101458. [CrossRef]
13. Sforza, E.; Ramos-Tercero, E.A.; Gris, B.; Bettin, F.; Milani, A.; Bertucco, A. Integration of *Chlorella protothecoides* production in wastewater treatment plant: From lab measurements to process design. *Algal Res.* 2014, 6, 223–233. [CrossRef]

14. Solimeno, A.; García, J. Microalgae and bacteria dynamics in high rate algal ponds based on modelling results: Long-term application of BIO_ALGAE model. *Sci. Total Environ.* 2019, 650, 1818–1831. [CrossRef] [PubMed]
15. Бусса, М.; Zollfrank, С.; Röder, Н. Оцінка життєвого циклу та геопросторовий аналіз інтеграції культивування мікрободоростей у регіональну економіку. *Ж. Чистий. Виробник* 2020, 243, 118630. [CrossRef]
16. Robles, Á.; Capson-Tojo, G.; Galès, A.; Ruano, M.V.; Sialve, B.; Ferrer, J.; Steyer, J.-P. Microalgae-bacteria consortia in high-rate ponds for treating urban wastewater: Elucidating the key state indicators under dynamic conditions. *J. Environ. Manag.* 2020, 261, 110244. [CrossRef] [PubMed]
17. Delrue, F.; Álvarez-Díaz, P.D.; Fon-Sing, S.; Fleury, G.; Sassi, J.-F. The environmental biorefinery: Using microalgae to remediate wastewater, a win-win paradigm. *Energies* 2016, 9, 132. [CrossRef]
18. Romero Villegas, G.I.; Fiamengo, M.; Ación Fernández, F.G.; Molina Grima, E. Outdoor production of microalgae biomass at pilot-scale in seawater using centrate as the nutrient source. *Algal Res.* 2017, 25, 538–548. [CrossRef]
19. Development of an Innovative Algae Based Tertiary Wastewater Treatment and Value Recovery System/INDALG Project/H2020/CORDIS/European Commission. Available online: <https://cordis.europa.eu/project/id/733718> (accessed on 1 August 2021).

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 504.064.3:574:282.243.7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.10>

РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНСЬКОЇ ЧАСТИНИ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ У 2022 РОЦІ

Васенко О.Г.¹, Ієвлєва О.Ю.¹, Міланіч Г.Ю.¹, Божко Т.В.¹, Мельніков А.Ю.¹, Клочко Т.О.²

¹Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків

²Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
вул. Чкалова, 17, 61070, м. Харків

alexandr.vasenko@gmail.com, ievleva.oy@gmail.com, mypostkeyg@gmail.com,
tbozko082@gmail.com, atlonpc@ukr.net, klochko.ta@gmail.com

Оцінювання стану навколишнього природного середовища необхідне з точки зору дотримання природоохоронного законодавства та ведення державної політики в галузі екологічної безпеки та раціонального природокористування, а також є основою для оцінки впливу людської діяльності на навколишнє середовище з екологічних позицій. З політичної точки зору, оцінка стану довкілля необхідна виходячи з транскордонного характеру екологічних проблем та необхідності виконання міжнародних договорів. З економічної точки зору, екологічне оцінювання є необхідним інструментом раціонального планування та реалізації природоохоронних заходів. Для України р. Дунай має значну водогосподарську цінність, зокрема для цілей судноплавства, рекреації, риборозведення та як джерело прісної води. У статті наведені результати моніторингових досліджень в районі Нижнього Дунаю за 2022 рік за низкою напрямів: гідрологія, гідрохімія, гідробіологія. Проаналізовані космічні знімки району досліджень, дана оцінка процесів дельтоутворення. Моніторингові роботи були спрямовані на відстеження впливів (прямих та опосередкованих) експлуатаційного днопоглиблення в районі морського підхідного каналу (МПК) на екологічний стан узмор'я, а також інших факторів природного і антропогенного характеру, що формують ситуацію в досліджуваному регіоні (гідрологічний режим, об'єми стоку води та наносів, гідрохімічний режим стоку Дунаю, динаміка морського краю дельти, стан кормової бази риб, тощо). Досліджувався також стан прилеглих до району проведення робіт охоронних територій, біорізноманіття, наявність рідкісної флори та фауни, а також отримували необхідну інформацію щодо транскордонних впливів у відповідності до вимог Конвенції Еспоо. Поповнювались бази космічних знімків, проводились дослідження екологічних процесів в дельті Дунаю та у прибережній частині моря з використанням засобів дистанційного моніторингу. Аналіз космічних зйомок дозволяє оцінювати динаміку руслових процесів і завислих речовин в дельті Дунаю та прибережній частині Чорного моря у сезонному та багаторічному аспекті. *Ключові слова:* моніторинг, дельта Дунаю, транскордонний вплив, якість води, гідрохімічні показники, гідробіологічні угруповання.

Results of integrated ecological monitoring of the environment of the Ukrainian part of the Danube delta in 2022. Vasenko O., Ievleva O., Milanic G., Bogko T., Melnikov A., Klochko T.

Assessment of the state of the natural environment is necessary from the point of view of compliance with environmental legislation and the conduct of state policy in the field of environmental safety and rational nature management, and is also the basis for assessing the impact of human activity on the environment from an ecological point of view. From a political point of view, an assessment of the state of the environment is necessary based on the transboundary nature of environmental problems and the need to implement international agreements. From an economic point of view, environmental assessment is a necessary tool for rational planning and implementation of environmental protection measures. For Ukraine, the Danube River has significant water economic value, in particular for the purposes of navigation, recreation, fish farming and as a source of fresh water. The results of monitoring studies in the Lower Danube Region in 2022 in a number of areas: hydrology, hydrochemistry, hydrobiology are given in the article. The Space images of the research area have been analyzed, and The delta formation processes have been assessed. The main purpose of monitoring activities is to keep track of both direct and indirect impacts associated with the maintenance dredging works in the maritime access channel on the ecological status of the seashore, and other natural and anthropogenic factors that shape the situation in the study area (hydrological regime, river water and sediment flows, water chemistry, maritime delta dynamics, condition of food web base supporting fish fauna etc.). A number of other issues also require close attention. These include the status of aquatic and riparian ecosystems of in the DBR areas adjacent to the drilling sites and collection of required information regarding transboundary impacts in line with the provisions of the Espoo Convention. New satellite images were added to the existing databases and remote monitoring methods were used to observe ecological processes taking place in the Danube Delta and coastal area of the sea. The space imagery analysis is a useful tool for assessing the seasonal and multi-year dynamics of riverbed processes and suspended solids transport in the Danube Delta and coastal area of the sea. *Key words:* monitoring, Danube Delta, transboundary impact, water quality, hydrochemical indicators, hydrobiological groups.

З метою оцінки впливу робіт під час експлуатації глибоководного суднового ходу (ГСХ) р. Дунай – Чорне море програмою екологічного моніторингу у 2022 р., як і у попередні роки, були передбачені такі основні види робіт:

– проведення та обробка результатів регулярного гідрологічного та гідрохімічного моніторингу на пунктах фонових спостережень, в районі виконання гідротехнічних робіт та в зоні можливого впливу ГСХ Дунай-Чорне море на навколишнє природне середовище;

– проведення та обробка результатів контрольних вимірів якості води та донних відкладів при проведенні днопоглиблювальних робіт на морському підхідному каналі ГСХ та у районі морського відвалу ґрунту;

– оцінка кумулятивних впливів судноплавства на стан наземних та водних екосистем;

– оцінка стану акваторій, що використовуються для нересту риб та для гніздування і харчування птахів;

– проведення комплексних експедиційних обстежень якості вод та стану компонентів навколишнього природного середовища. Комплексні експедиційні обстеження включають гідрологічні, гідрохімічні та гідробіологічні дослідження морської частини ГСХ, а також прибережних екосистем на території Дунайського біосферного заповідника;

– моніторинг стану іхтіофауни, оцінка негативного впливу на рибні ресурси при експлуатації суднового ходу Дунай-Чорне море;

– щоквартальні розрахунки збитків, нанесених водному середовищу та рибним запасам та розмір компенсаційних платежів, оцінка залишкової ґрунтоємності гідровідвалів (морського тощо);

– попередній розрахунок збитків, що завдаються компонентам навколишнього природного середовища, внаслідок експлуатаційних робіт на трасі морського підхідного каналу ГСХ р. Дунай-Чорне море та при складуванні вилученого ґрунту на 2023 р.;

– моніторинг рослинних та тваринних угруповань берегової лінії та плавнів Дунайського біосферного заповідника при експлуатації ГСХ Дунай-Чорне море;

– аналіз та узагальнення результатів спостережень, розробка прогнозів зміни стану навколишнього природного середовища; оцінка можливого транскордонного впливу експлуатаційних днопоглиблювальних робіт та судноплавства;

– розроблення рекомендацій щодо попередження та мінімізації впливів експлуатації ГСХ на навколишнє природне середовище, у т. ч. у транскордонному контексті.

До виконання робіт головним виконавцем (УКРНДІЕП Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України) були залучені наступні організації: Дунайська гідрометеообсерваторія (ДГМО), Державне підприємство «ЧорноморНДПроект»,

Дунайський біосферний заповідник НАНУ (ДБЗ), Державна установа «Інститут морської біології» (ІМБ) НАНУ, Інститут гідробіології Національної академії наук України (ІГБ).

Внаслідок військової агресії російської федерації проти України, що стало підставою для введення воєнного стану, а також внаслідок активних бойових дій в місцях проведення моніторингових робіт та офіційній забороні на роботу в місцях проведення днопоглиблення та суміжних акваторіях переднього (морського) краю Кілійської дельти Дунаю, в 2022 році були проведені експедиційні дослідження в доступній акваторії, розташованій вздовж траси ГСХ Дунай – Чорне море. Програма комплексного екологічного моніторингу довкілля під час експлуатації глибоководного суднового ходу р. Дунай-Чорне море у першому та четвертому кварталах 2022 року виконана повністю, у другому та третьому кварталах 2022 року, коли днопоглиблювальні роботи не проводились, була виконана частково.

Стисла характеристика гідрометеорологічних умов. Погода в гирловій області Дунаю характеризувалася теплою зимою та прохолодною весною. Середня за рік температура повітря склала 12,9 °С, що перевищує середнє багаторічне значення на 1,2 °С. 2022 рік був аномально сухим. Сума опадів за рік склала 171,1 мм, це найменша сума опадів не тільки за останні 30 років, вона є найменшою за весь період спостережень починаючи з 1945 року. Дефіцит опадів спостерігався протягом всього року.

2022 рік був самим маловодним починаючи з 1991 року. Майже весь рік середні місячні рівні води були меншими за багаторічні значення. Середні річні рівні води по постах Рені, Ізмаїл та Кілія виявилися найменшими за період з 1991 по 2022 роки і склали 124 см, 96 см та 34 см відповідно, це на 34–105 см менше за норму. Льодових явищ у зимовий період не спостерігалось.

В Чорне море за весь період спостережень з січня по грудень поступило з Дунаю 138 куб. км води, що відповідає середній витраті води 4370 куб. м/с. Максимальні середньодобові витрати води у верхині дельти Дунаю (7530 куб. м/с) спостерігались у грудні, мінімальні (2410 куб. м/с) – у серпні.

По Кілійському рукаву (гідроствор 115 км) пройшло 68,8 куб.км при середній річній витраті води 2180 куб. м/с, це 49,8% річного обсягу Дунаю. В морську Кілійську дельту (гідроствор 20 км) за рік поступило 66,5 куб. км води (48,2% водного стоку Дунаю) при середній річній витраті 2110 куб. м/с. Втрати стоку на водогосподарську діяльність на ділянці Кілійського рукава від 115 до 20 км складають 2,3 куб. км за рік, або 1,6%.

Середня витрата води рукава Бистрого склала 846 куб.м/с. Таким чином, через рукав Бистрий у море було винесено 26,7 куб. км води, або 19,3% загального припливу у дельту на замикаючому створі Дунаю. Максимальні значення витрати води склали

1410 куб.м/с у грудні, мінімальні (513 куб.м/с) – у серпні.

Всього за 2022 рік в Чорне море поступило 6,38 млн. тон завислих наносів, що є найнижчою річною кількістю твердого стоку Дунаю не тільки за останні 30 років, а за весь період спостережень починаючи з 1960 року. 2,90 млн.тон завислих наносів, або 45,5% від загальної кількості пройшло по рукавам морської Кілійської дельти Дунаю, в тому числі 1,14 млн. тон, або 17,9% – по рукаву Бистрому [1].

Аналіз багаторічних матеріалів вимірів витрат води та завислих наносів показує, що на цей час у вершині дельти Дунаю зберігається тенденція зменшення водоносності рукавів Кілійської системи, яка пов'язана з транскордонним впливом гідротехнічних робіт в румунській частині дельти по випрямленню рукава Георгіївській. При цьому частка стоку води та наносів рукава Бистрий за останні роки залишаються відносно стабільними.

Результати гідрохімічних досліджень.

Гідрохімічний режим р. Дунай залежить, в основному, від змін гідрологічних факторів: водності, температури води та кількості завислих речовин. Значні швидкості течії та турбулентність потоку сприяють однорідності гідрохімічних показників та їх відносно обмеженої амплітуди.

Середня величина рН в звітному періоді не відрізнялась від середньої багаторічної та була близькою до 8,00. Концентрація розчиненого кисню та вуглекислого газу були більшими в холодний період року. Із зростанням температури відмічалось їх зменшення. В дунайській воді органічні речовини, що важко окислюються переважали майже в 7 разів кількість речовин, що легко окислюються.

Із біогенних елементів спостереження проводились за концентраціями азоту, фосфору та кремнію. Концентрація азотних сполук в дунайській воді були меншими в порівнянні з багаторічними значеннями. Найменше відрізнялись від багаторічних концентрації азоту амонійного, більші відхилення були характерними для концентрацій азоту нітритного та нітратного. В 22% відібраних проб було зафіксоване досягнення та перевищення ГДК для азоту нітритного. На рівні минулих років знаходилась концентрація мінерального фосфору, а концентрація загального фосфору та кремнію в звітний період була меншою від багаторічних значень.

Дунайська вода вміщує значну кількість розчинених солей. Середні значення головних іонів в звітному періоді перевищували значення багаторічних концентрацій.

Із речовин – забруднювачів, що були знайдені в дунайській воді у звітному періоді, нафтопродукти та СПАР не досягали рівнів ГДК, хоча відмічалось збільшення вдвічі величини концентрації СПАР в порівнянні з середніми багаторічними величинами.

Середня концентрація фенолів знаходилась на рівні 2 ГДК та вдвічі перевищувала цю характе-

ристику для ряду багаторічних спостережень. В 94% відібраних проб відмічалось перевищення рівня ГДК.

Середня концентрація хрому шестивалентного була практично на рівні багаторічної величини. У 95% відібраних проб концентрація хрому шестивалентного перевищувала значення ГДК.

Всього за звітний період з водним стоком річки Дунай в Чорне море надійшло більше 510 тис. т біогенних речовин, що є найнижчою річною кількістю за останні 30 років. При цьому 94% становлять сполуки кремнію та нітратного азоту.

За нашими даними, забруднення вод р. Дунай металами у 2022 р. мало наступні характеристики:

- валовий вміст заліза, марганцю, цинку, нікелю та міді у порівнянні з даними 2005 року нижчий, переважно фіксуються значення нижче попереднього року;

- валовий вміст заліза у воді, як і у попередні роки, перевищував значення як ГДК_{р.г.} так і ГДК_{к.пб.}, але таке перевищення на відміну від попередніх років спостерігалось в менших кількостях та не охоплювало всі пункти;

- за валовим вмістом марганцю також спостерігалось перевищення ГДК_{р.г.}, але перевищень ГДК_{к.пб.} за валовим вмістом не спостерігалось;

- валовий вміст цинку в більшості проб не перевищував ГДК, лише в одному пункті було зафіксовано перевищення ГДК_{р.г.};

- валовий вміст нікелю в переважній більшості проб не перевищував ГДК;

- валовий вміст міді впродовж року змінювався по окремим пунктам спостережень валовий вміст – від 0,0017 мг/дм³ до 0,0039 мг/дм³, перевищень ГДК не спостерігалось.

Співставлення результатів моніторингу з рекомендованими міжнародними нормами TNMN і JDS щодо вмісту металів показують, що у 2022 році перевищення нормативів не спостерігалось [1].

Результати проведеного у 2022 р. моніторингу свідчать про відсутність впливу експлуатації ГСХ «Дунай-Чорне море» на гідрологічний та гідрохімічний режим дельти Дунаю, у т.ч. в транскордонному аспекті.

Результати гідробіологічних досліджень.

Дослідження стану гідробіологічних угруповань української частини дельти Дунаю виконувались нами по трасі суднового ходу Дунай – Чорне море у грудні 2022 року. Під час аналізу 8 проб фітопланктону, відібраних 14 грудня 2022 р. у 8 створах р. Дунай (R10 – вище м. Вилкове, R11 – рук. Очаківський 17 км, R14 – рук. Очаківський 6 км, R12 – рук. Старостамбульський 11 км, R15 – рук. Старостамбульський 4 км, R13/9 – рук. Бистрий 9 км, R13/1 – рук. Бистрий 1 км, R13/0 – рук. Бистрий 0 км), було виявлено 50 видових та внутрішньовидових таксонів з 8 відділів водоростей.

Найбільше видове різноманіття планктонних водоростей – 28 таксонів (56% від загальної кіль-

кості видів) – спостерігалось у відділі Діатомові (Bacillariophyta), друге місце посідали представники відділу Зелені (Chlorophyta) – 8 видів (16% від загальної кількості видів), інші відділи фітопланктону досліджених створів були представлені значно меншою кількістю видів – від 1 до 3, що складало від 2 до 6% відповідно.

Флористичний спектр фітопланктону досліджених ділянок р. Дунай був представлений переважно діатомовим комплексом, характерним для реофільних річкових планктонних водоростей холодного сезону, з відносно невисоким якісним різноманіттям і кількісним розвитком. Більшість виявлених видів належали до прісноводно-солонуватоводних. Крім типово планктонних, у складі альгофлори досліджених створів відмічалися бентосні форми: *Surirella ovata* Kütz., *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh., великоклітинні представники роду *Cyclotella* та деякі інші.

В усіх пунктах відбору індекс Шеннона, розрахований за чисельністю, був нижчим порівняно з розрахованим за біомасою, що свідчить про більш-менш рівномірний внесок видів у формування якісного та кількісного складу альгофлори. У той же час, у динаміці між створами не завжди простежувалась кореляція між значеннями індексу Шеннона та кількістю видів у створах, що свідчить про коливання кількості дрібноклітинних і великоклітинних видів водоростей. Максимальні індекси Шеннона, розраховані за обома показниками, відмічалися у створі рук. Очаківський 17 км.

Загальна кількість видів планктонних водоростей в окремих створах перебувала приблизно на однаковому рівні й коливалася від 14 до 19. В усіх досліджених пунктах відбору за видовим різноманіттям у створах перше місце належало діатомовим водоростям, кількість яких коливалася від 5 до 11 видів, а кількість представників інших відділів фітопланктону – від 1 до 4 видів.

До провідного комплексу видів фітопланктону більшості досліджених створів входили *Microcystis aeruginosa* Kütz. em. Elenk. (синьозелені), *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Cyclotella kuetzingiana* Thw. (діатомові), *Chrysococcus rufescens* Klebs (золотисті), *Sphaerocystis planctonica* (Korsch.) Bourg. (зелені). В окремих створах помітних значень біомаси досягали *Microcystis pulvereae* (Wood) Forti em. Elenk. (синьозелені), *Cyclotella glomerata* Bachmann, *Surirella ovata* Kütz. (діатомові), *Tetrastrum glabrum* (Roll) Ahlstr. et Tiff. (зелені) та деякі інші.

Згідно з характеристикою ступенів «цвітіння» води, отримані значення біомаси фітопланктону відповідали: у створі рук. Старостамбульський 11 км (біомаса 1,07 мг/дм³) – II ступеню цвітіння (слабкому – «екологічно нешкідливі концентрації, які викликають деяке погіршення якості води», біомаса водоростей у межах 1–4 мг/дм³), в усіх інших 7 досліджених створах – I ступеню цвітіння води (початко-

вому – «екологічно нешкідливі концентрації», біомаса водоростей менше 1 мг/дм³). В усіх створах розвиток біомаси представників окремих відділів фітопланктону не перевищував 1 мг/дм³ і відповідав I ступеню цвітіння води, що в цілому характерно для прохолодного зимового сезону.

Під час аналізу альгологічного матеріалу було виявлено 31 вид-індикатор сапробності. Половина цих водоростей були індикаторами β-мезосапробної зони («помірно забруднені води») – 16 видів. Загальна кількість видів, характерних для більш чистих вод (9 видів), була на 3 види вищою порівняно з кількістю видів-індикаторів більш забруднених вод (6 видів). Позитивною ознакою була також відсутність у даному відборі представників р-α-сапробної зони (перехідної від полісапробної зони («брудні») до α-мезосапробної зони («забруднені»)) з відділу Евгленові, які поодинокі зустрічалися в окремі сезони попередніх років, що свідчить про певне зменшення забруднення.

Індекс сапробності, розрахований за методом Пантле і Букка [2–4], перебував на рівні 1,62–1,65, тому якість води в усіх досліджених створах згідно з Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод [5] відповідала II класу якості вод, 3 категорії (значення індексу сапробності 1,6–2,0): «добрі» за станом якості вод, «досить чисті» за ступенем чистоти/забрудненості, β'-мезосапробній зоні. У той же час, за біомасою фітопланктону до цієї категорії якості води відносився лише один створ – рук. Старостамбульський 11 км (біомаса 1,07 мг/дм³), а усі інші – до сусідньої, більш чистої, 2 категорії II класу: «дуже добрі» за станом якості вод, «чисті» за ступенем чистоти/забрудненості, α-олігосапробній зоні (біомаса 0,5–1,0 мг/дм³), що пояснюється невисоким розвитком біомаси фітопланктону у прохолодні сезони.

За рівнями хронічної токсичності дві проби води (р. Бистрий 9 км, р. Старостамбульський 4 км) віднесено до 2 класу якості, такі води є слабко забрудненими. За результатами біотестування 6 проб води за ступенем забрудненості віднесено до I класу якості – вода чиста (р. Дунай вище м. Вилкове 1 км; рук. Старостамбульський 11 км; рук. Бистрий 1 км, 0 км; рук. Очаківський 17 км, 6 км).

В цілому кількісний та якісний склад фітопланктону розглянутих створів української частини р. Дунай у грудні 2022 р. відповідав прохолодному зимовому сезону й типу досліджених водойм.

Узагальнюючи матеріали досліджень 2022 року можна зазначити, що загалом суттєвих порушень в стані екосистеми р. Дунай за гідробіологічними показниками не виявлено.

Результати мікробіологічних досліджень (ПГБ). Проведені мікробіологічні дослідження свідчать про високий вміст бактерій у воді річкових ділянок дельти, що відповідає рівню гіпертрофних вод. Розподіл долі мертвих клітин у бактеріопланктоні

був обумовлений елімінацією внесеної мікрофлори через метеорологічні умови та перебудовою бактеріального угруповання відповідно до мікрозональності фізико-хімічних параметрів води. Кількість бактерій різних еколого-трофічних груп свідчить про високий ступінь трофності дунайських вод, значний вміст органічної речовини у воді за рахунок алохтонної органіки, що привноситься з водозбірних площ, та недостатньо очищеними господарсько-побутовими та промисловими стоками, і в той же час про значний самоочисний потенціал річки. За результатами проведених санітарно-мікробіологічних досліджень можна зробити висновок про задовільний стан води в річкової частині ГСХ за вмістом бактерій групи кишкової палички, але незадовільним за концентрацією інших потенційно патогенних та патогенних бактерій.

Аналіз динаміки руслових процесів і завислих речовин в дельті Дунаю та прибережній частині Чорного моря за матеріалами космічних зйомок.

У 2022 році (як і у попередні 2013–2021 рр.) для виконання робіт були залучені знімки з космічного апарату Landsat 8. Вибір знімків КА Landsat обумовлений їх доступністю та можливістю використання всього набору спектральних каналів як для надійної візуальної ідентифікації водних об'єктів, так і для автоматичної обробки спеціалізованим програмним забезпеченням (для ідентифікації водних поверхонь найбільш ефективною є комбінація інфрачервоних (далекого, середнього та ближнього) та червоного каналів, а для оцінки кількості завислих речовин використовуються червоний і блакитний канали). Також знімки КА Landsat мають оптимальне просторове розрізнення, що забезпечує необхідну деталізацію досліджень.

Аналіз супутникових зображень дозволив дослідити просторово-часові зміни берегової лінії. Для аналізу використовувалася комбінація далекого, середнього та ближнього інфрачервоних каналів яка вирівнює фототон водної поверхні та робить її більш контрастною по відношенню до поверхні суходолу.

Для порівняльного візуального аналізу знімків виділені ділянки, де відбувалися найбільш суттєві зміни берегової лінії: затока Таранів, острів Пташиний, острови Нова Земля.

Для аналізу динаміки берегової смуги та розподілу завислих речовин у дельті Дунаю у 2022 р. створена база даних космічних знімків, проведена їхня обробка та дешифрування.

За період спостережень району затоки Таранів конфігурація оточуючих затоку кіс у 2022 році, як і у попередні роки змінювалася, відбулося незначне нарощування кіс. Істотних змін у конфігурації берегів острова (півострову) Пташиний не відбувалося. Структура та площа островів Нова Земля у 2022 році майже не змінилася.

Візуальний аналіз розподілу зважених речовин західної частини акваторії Чорного моря в районі дельти р. Дунай показав наступну динаміку:

- загальний напрям виносу зважених речовин південний та південно-східний, в окремі періоди берегова течія та вітропотік зносить їх у північно-східному та східному напрямку;
- у зоні дампіngu аномалій фототону не спостерігається;
- істотних змін конфігурації кіс та берегової лінії не виявлено.

За результатами моніторингових спостережень у 2022 році не виявлено суттєвих впливів експлуатації ГСХ «Дунай – Чорне море» та робіт з підтримки паспортних характеристик морського підхідного каналу, впливу морського відвалу ґрунтів, розробки та складування донних відкладів на довкілля української частини дельти р Дунай, а також транскордонного впливу на суміжні території. Зміни, що відмічаються у стані екосистеми дельти Дунаю, обумовлені, головним чином, традиційним комплексом факторів природного та господарського впливу; розвиток рослинних та тваринних угруповань дельти у звітному періоді був переважно пов'язаний з кліматичними та сезонними гідрологічними змінами.

Література

1. Заключний звіт про науково-дослідну роботу «Комплексний екологічний моніторинг довкілля під час експлуатації глибоководного суднового ходу р. Дунай – Чорне море у 2023-2024 роках. Район Морського підхідного каналу». Т. 1 / НДУ УКРНДІЕП. Харків, 2023. 202 с.
2. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. Київ, 2006. 408 с.
3. Олейник Г.Н., Кабакова Т.Н. Бактериопланктон Сасыкского водохранилища. *Гидробиологический журнал*. 1995. № 3, т. 31. С. 47–58.
4. Спосіб біоіндикації якості вод: пат. № 101701, Україна, МПК G01N 33/18 (2006.01) А.В. Ляшенко, К.С. Зоріна-Сахарова. Бюл. Промислова власність. 2013. № 8. С. 1–4.
5. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В.Д. та ін.; Київ, 1998. 28 с.

СУЧАСНИЙ СТАН СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ В УКРАЇНІ

Васенко О.Г., Карлюк А.А., Черба О.В.

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»

вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків

alexandr.vasenko@gmail.com, karluk93_93@ukr.net, o.cherba@gmail.com

У статті проведено аналіз стану системи моніторингу довкілля в Україні. Визначено основні проблеми функціонування державної системи моніторингу довкілля та дії щодо її удосконалення. Проаналізовано наукові підходи до комплексного оцінювання впливу на навколишнє природне середовище, що можуть задовольнити потреби екологічної політики і інформування громадськості в науковому аналізі, узагальненні та інтерпретації даних, отриманих державною системою моніторингу довкілля і представленні матеріалів в звітах про стан навколишнього природного середовища. Проведено аналіз існуючої законодавчої та нормативної бази з питань моніторингу довкілля. Проведений аналіз показав, що для успішного процесу євроінтеграції необхідно модернізувати існуючу матеріально-технічну базу всіх суб'єктів моніторингу, зокрема за рахунок впровадження автоматизованих засобів спостереження та надання інформації. Аналіз підтвердив, що реалізація прийнятих підзаконних актів стане запорукою нового підходу функціонування державної системи моніторингу довкілля та поетапного впровадження на рівні підзаконних актів європейських принципів організації та здійснення моніторингу довкілля, зокрема оновлення та прийняття нових порядків усіх підсистем державного моніторингу довкілля, що будуть відповідати законодавству та підходам ЄС, визначити інформаційні потреби природоохоронного управління, забезпечувати ефективну координацію роботи усіх суб'єктів державної системи моніторингу довкілля, забезпечувати інтеграцію інформаційно-аналітичних систем кожної підсистеми моніторингу довкілля до Єдиної екологічної платформи «ЕкоСистема». *Ключові слова:* екологічний моніторинг, екологічна безпека, регулювання екологічної безпеки, державна система моніторингу довкілля, євроінтеграція, доповідь про стан навколишнього природного середовища, Єдина екологічна платформа «ЕкоСистема».

Current state of the environmental monitoring system in Ukraine. Vasenko O., Karliuk A., Cherba O.

The article analyzes the state of the environmental monitoring system in Ukraine. The main problems of the functioning of the state environmental monitoring system and actions to improve it are identified. Scientific approaches to the comprehensive assessment of the impact on the natural environment, which can meet the needs of environmental policy and informing the public in scientific analysis, generalization and interpretation of data obtained by the state environmental monitoring system and presentation of materials in reports on the state of the natural environment, are analyzed. An analysis of the existing legislative and regulatory framework on environmental monitoring was carried out. The conducted analysis showed that for a successful process of European integration, it is necessary to modernize the existing material and technical base of all monitoring subjects, in particular through the introduction of automated means of monitoring and providing information. The analysis confirmed that the implementation of the adopted by-laws will be the guarantee of a new approach to the functioning of the state environmental monitoring system and the phased implementation at the level of by-laws of European principles for the organization and implementation of environmental monitoring, in particular the updating and adoption of new procedures for all subsystems of state environmental monitoring, which will comply with legislation and approaches EU, to determine the information needs of environmental management, to ensure effective coordination of the work of all subjects of the state environmental monitoring system, to ensure the integration of information and analytical systems of each subsystem of environmental monitoring to the Unified ecological platform "EcoSystem". *Key words:* environmental monitoring, environmental safety, regulation of environmental safety, state system of environmental monitoring, European integration, report on the state of the natural environment, Single ecological platform "EcoSystem".

Постановка проблеми. На сьогоднішній день екологічна ситуація в Україні залишається вкрай складною, навантаження на навколишнє природне середовище зростає. Антропогенне забруднення довкілля, виснаження природних ресурсів, бойові дії загрожують цілісності екосистем, здоров'ю населення, екологічній безпеці та економічній стабільності держави.

Система моніторингу, обліку та контролю за станом навколишнього природного середовища є важливою складовою системи екологічної та соціально-економічної безпеки держави. В умовах постійного зростання тиску на навколишнє природне середовище, пов'язаного із зміною клімату, дефіцитом природних ресурсів, антропогенним забрудненням

середовища існування біоти, накопиченням великої кількості різноманітних відходів, військовою агресією питання прийняття оперативних рішень у сфері управління та охорони довкілля набувають значної ваги. А прийняття рішень безпосередньо залежить від наявності своєчасної комплексної інформації, головним джерелом якої є система моніторингу довкілля.

Актуальність дослідження. Актуальність вирішення проблем моніторингових досліджень полягає в тому, що хоча в Україні існує низка відомих систем спостережень за станом довкілля, але вони не зведені в єдиний комплекс і не можуть ефективно виконувати узагальнюючу функцію оцінки стану і рівня використання ресурсів, з тим щоб прогнозу-

вати зміни і розробляти рекомендації для прийняття управлінських рішень щодо природокористування в окремих регіонах та на державному рівні.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Об'єктивну інформацію про стан навколишнього середовища можна отримати лише на підставі багаторічного системного спостереження за змінами компонентів геосистем, які можуть бути спричинені як природною мінливістю систем, так і антропогенним впливом на них [1, 2]. Надійні та оперативні дані моніторингу довкілля створюють передумови прийняття обґрунтованих та ефективних рішень для забезпечення екологічної безпеки, планування та впровадження державної політики [3, 4]. Особливо гостро постає потреба забезпечення даними про стан довкілля під час російської військової агресії проти України, що спричиняє значне забруднення довкілля та руйнування екосистем.

Метою статті є аналіз стану і проблем функціонування системи моніторингу довкілля в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день Закон України «Про основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [5] визначає стан системи державного моніторингу навколишнього природного середовища як незадовільний. Стратегія національної безпеки України [6] незадовільний стан системи моніторингу довкілля відносить до основних загроз екологічної та національної безпеки України.

Відповідно до аналітичної записки Міндовкілля [7] державна система моніторингу довкілля (ДСМД) має наступні проблеми: відсутність процедури формування запиту на інформацію екологічного моніторингу, відсутність або низький рівень використання інформації ДСМД для прийняття управлінських рішень; низький рівень координації, взаємодії та комунікації між суб'єктами ДСМД; застаріла матеріально-технічна база ДСМД; недосконалість та неузгодженість між Центральними органами виконавчої влади регламентів проведення спостережень за станом довкілля; необхідність перегляду (оптимізації) розміщення постів спостережень; нестача кваліфікованих та мотивованих кадрів; застарілість законодавства України в сфері моніторингу довкілля та низький рівень його адаптації до вимог Директив ЄС; недостатнє фінансування ДСМД з державного бюджету України та недостатнє залучення коштів з інших джерел фінансування; відсутність єдиного ресурсу, що надає доступ до первинних даних моніторингу довкілля, агрегованих з різних джерел.

У 2015 році згідно з Планом законодавчого забезпечення реформ в Україні, який розроблено відповідно до Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами

передбачалось удосконалення державної системи екологічного моніторингу [8]. В 2017 році прийнята Концепція реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього середовища в Україні [9]. Однак вони не реалізовані повністю.

Наразі екологічна інформація надається в розрізненому вигляді, відбувається дублювання даних, має місце слабкий рівень аналізу та інтерпретації отриманої інформації, а також за рахунок бойових дій та окупації окремих територій ускладнилась ситуація із комунікацією та логістикою.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Результатом діяльності ДСМД є доповіді про стан навколишнього природного середовища (НПС) без комплексного аналізу ситуації, що ускладнює роботу системи прийняття управлінських рішень щодо екологічної політики, екологічної безпеки, впровадження більш екологічно безпечних технологій, тощо [10].

За результатами опитування користувачів звітів про стан довкілля в Україні [11], яке проводило European Environment Agency з метою покращення ефективності екологічної політики і інформування громадськості, п'ята частина респондентів вважає, що звіти не задовольняють потреби зацікавлених сторін, не відповідають потребам екологічної політики, мають низьку аналітичну якість. 40 % опитованих відмітили, що звіти не впливають на формування екологічної політики країни (рис. 1 а). Якість звітів 60 % користувачів оцінили як середню, 15 % вважають, що необхідно посилити аналіз представлених даних. 40 % респондентів оцінюють якість представлення інформації у звітах як середню, 65 % відмітили несвоєчасність надання звітних матеріалів (рис. 1 б). 90 % опитованих вважають, що необхідно удосконалити і посилити форму подачі матеріалів у доповідях (рис. 1 в) в частині зв'язків між різними розділами звітів, наочності представлення матеріалів, їх лаконічності, а також необхідно більше поширювати звітні матеріали серед громадськості [10].

За результатами аудиторського звіту Рахункової палати України [12] діяльність Держекоінспекції, яка здійснює державний контроль у сфері охорони НПС, протягом 2018–2021 років визнана неефективною. Основною причиною цього визнаний тривалий процес її реформування, який повинен був закінчитися у 2020 році, але досі триває. Іншими причинами вказано відсутність закону, який би системно регулював здійснення екологічного нагляду та неналежна координація та взаємодія між центральними органами виконавчої влади у сфері охорони навколишнього природного середовища. Вже декілька років розглядається проект Закону «Про державний екологічний контроль», який би частково вирішив ці проблеми, проте він досі не прийнятий.

Військова агресія, що розпочалася на початку 2022 р. та тимчасова окупація окремих територій, частково порушили нормальне функціонування ДСМД та завдали значних втрат, оскільки в результаті обстрілів пошкоджено майно на мережах спостережень Київської, Запорізької, Харківської, Херсонської, Сумської областей, повністю зупинене функціонування мереж спостережень Донецької та Луганської областей. У Донецькій області через загрозу знищення було демонтоване та вивезене у безпечне місце обладнання першої в Україні регіональної автоматизованої системи моніторингу довкілля. Мобільна лабораторія надає допомогу у проведенні досліджень у інших регіонах держави.

Екосистемний науковий підхід до комплексного оцінювання антропогенного впливу на НПС допо-

може задовольнити потреби екологічної політики і інформування громадськості в науковому аналізі, узагальненні та інтерпретації даних, отриманих ДСМД і представлених в звітах про стан навколишнього природного середовища в частині наочності представлення матеріалів [13], їх лаконічності, зв'язків між різними розділами звітів. На необхідність такого підходу наголошується у Основних засадах (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 року [5].

Новизна. В останні роки йде активне оновлення системи екологічного моніторингу на законодавчому та практичному рівнях та модернізація автоматизованих систем контролю. Новизна дослідження полягає в аналізі сучасного стану системи моніторингу довкілля в Україні з метою визначення про-

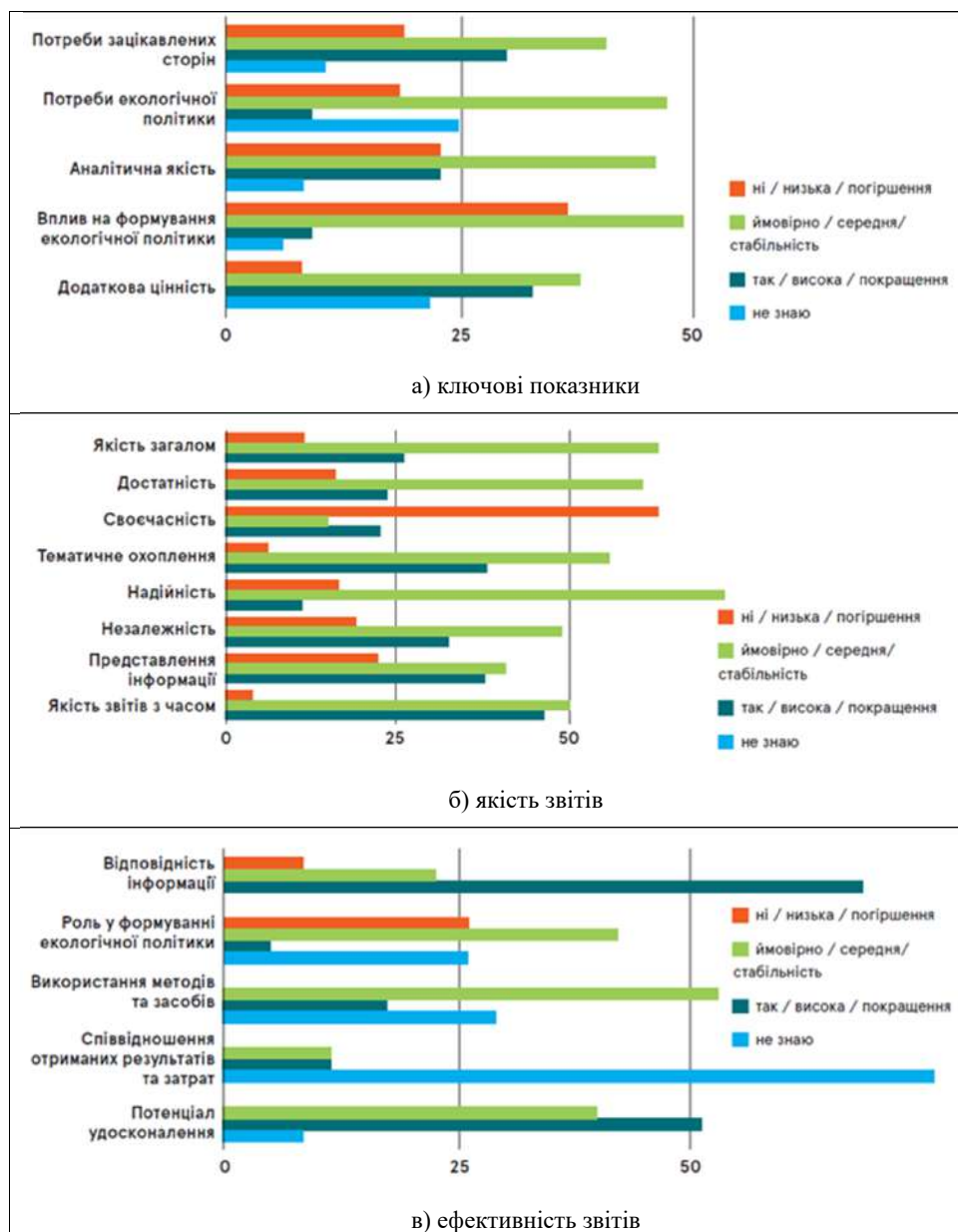


Рис. 1. Результативність доповідей про стан довкілля України [10]

блем її функціонування та прийнятих заходів щодо її удосконалення.

Виклад основного матеріалу. Аналіз наявних даних свідчить, що для впровадження європейського підходу до моніторингу довкілля, стан існуючої матеріально-технічної бази ДСМД всіх суб'єктів моніторингу потребує удосконалення, зокрема впровадження автоматизованих засобів спостереження та надання інформації, а це потребує оновлення існуючої законодавчої та нормативної бази з питань моніторингу довкілля.

В останні роки відбулися значні зміни як в законодавчих актах щодо роботи державної системи моніторингу довкілля, так і в її переоснащенні.

Кабінетом міністрів затверджено Державну цільову екологічну програму технічного переоснащення гідрометеорологічної служби [14]. Держводагентством вжито організаційно-розпорядчих дій з метою проведення оперативного державного моніторингу поверхневих вод в умовах воєнного часу, в тому числі на деокупованих територіях.

У березні 2023 року прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля», який набирає чинності через 6 місяців з дня скасування чи припинення воєнного стану в країні [15]. Він закладає основу для вдосконалення державної системи моніторингу, що ґрунтується на комплексному підході до його здійснення та взаємодії його суб'єктів та зацікавлених сторін з використанням сучасних інформаційних технологій.

В той же період часу прийнято Постанову КМУ щодо порядку запровадження обов'язкових автоматизованих систем контролю викидів забруднюючих речовин, згідно якої вона представляє собою інформаційно-вимірвальну систему, що складається із засобів вимірювань, інших пристроїв і призначена для безперервного вимірювання параметрів відхідних газів та вмісту в них забруднюючих речовин та для розрахунку обсягу викидів і передачі даних вимірювань до Міндовкілля [16]. Платформа «Екосистема» покликана надавати актуальну достовірну інформацію про стан навколишнього середовища та природні ресурси.

Розроблено проект постанови КМУ «Про затвердження Примірного положення про регіональні центри моніторингу довкілля», відповідно до якого до завдань регіонального центру відносяться збирання, зберігання, аналіз даних та інформації, що надходить від суб'єктів державної системи моніторингу довкілля та її передача платформі «Екосистема». Виконання функцій регіонального центру може здійснювати структурний підрозділ обласних держадміністрацій або комунальне підприємство, яке підпорядковане органам місцевого самоврядування та входить до сфери його управління.

Затверджено Постанову КМУ «Деякі питання функціонування сервісу фіксації фактів заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу внаслідок надзвичайних ситуацій, подій, збройної агресії рф «ЕкоЗагроза», якою затверджені положення про деякі питання функціонування сервісу фіксації фактів заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу внаслідок надзвичайних ситуацій, подій, збройної агресії рф «ЕкоЗагроза»; порядок фіксації фактів заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу внаслідок надзвичайних ситуацій, подій, збройної агресії російської федерації; порядок організації та проведення огляду (обстеження) місця заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу внаслідок надзвичайних ситуацій, подій, збройної агресії рф [17].

У липні 2023 року схвалена Концепція Державної цільової екологічної програми моніторингу довкілля, яка має на меті вирішення наступних проблем: застарілість нормативного, технічного та організаційного забезпечення системи моніторингу довкілля; відсутність цілісної мережі спостережень або брак окремих її компонентів; застаріле методичне забезпечення спостережень, відбору та аналізу проб; відсутність єдиних вимог до збору, обробки, зберігання екологічних даних; необхідність забезпечення відкритості інформації про стан довкілля [18].

Головні висновки. Проведений аналіз показав, що система моніторингу довкілля як важлива складова системи державного управління у сфері екологічної безпеки та формування державної політики сталого розвитку, виконання міжнародних зобов'язань України у природоохоронній сфері потребує кардинального удосконалення.

Визначено, що системний науковий підхід до комплексного оцінювання впливу на НПС допоможе задовольнити потреби екологічної політики і інформування громадськості в науковому аналізі, узагальненні та інтерпретації даних, отриманих ДСМД і представлених в звітах про стан навколишнього природного середовища в частині наочності представлення матеріалів, їх лаконічності, зв'язків між різними розділами звітів.

Проведений аналіз підтвердив, що не зважаючи на важкі умови, в яких опинилась країна, йде активний процес впровадження нового підходу до функціонування державної системи моніторингу довкілля, а саме: оновлення законодавчої бази, наближення до європейських принципів організації та здійснення моніторингу довкілля, модернізація обладнання системи моніторингу довкілля. Ці дії стануть запорукою оновлення усіх підсистем державного моніторингу довкілля, що будуть відповідати законодавству та підходам ЄС, визначити інформаційні потреби природоохоронного управління, забезпечувати ефективну координацію роботи усіх суб'єктів державної системи моніторингу довкілля, забезпечувати інтеграцію інформаційно-аналітичних сис-

тем кожної підсистеми моніторингу довкілля до Єдиної екологічної платформи «ЕкоСистема», яка узагальнюватиме отриманні дані від усіх суб'єктів державної системи моніторингу довкілля, оброблятиме їх та забезпечуватиме належне та оперативне інформування населення.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати наукового аналізу свідчать, що процес євроінтеграції потребує удосконалення

нормативно-законодавчої бази та стану існуючої матеріально-технічної бази ДСМД всіх суб'єктів моніторингу, зокрема впровадження автоматизованих засобів спостереження та надання інформації. Виконання цих умов значно розширить можливості міжнародної співпраці України у галузі охорони навколишнього природного середовища та сприятиме поступовому приведенню стану довкілля у відповідність до європейських і світових вимог.

Література

1. Васенко О.Г., Верниченко-Цветков Д. Ю. Перспективи використання біохімічних показників у системі екологічного моніторингу поверхневих вод. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. Т. 2(37). С. 94–100.
2. Васенко О. Г., Верниченко-Цветков Д. Ю., Колесник А. М., Лунгу М. Л. та ін. Результати комплексного екологічного моніторингу довкілля під час експлуатації глибоководного суднового ходу р. Дунай-Чорне море у 2017 році. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: Зб. наук. ст. XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 10–14 вересня 2018 р.). Харків: УКРНДІЕП. 2018. С. 87–91.
3. Варламов Є.М., Гриценко А.Г., Васенко О.Г. Моніторинг впливу на стан навколишнього природного середовища підприємств – об'єктів підвищеної екологічної небезпеки. *Екологія і промисловість*. Харків: ГП УкрНТЦ «Енергосталь». 2011. № 4. С. 107–111.
4. Шарапова С.В. Реформування державної системи моніторингу довкілля в Україні. *Аналітично-порівняльне правознавство*: електронне наукове видання. 2023. № 4(2023). URL: <http://journal-app.uzhnu.edu.ua/article/view/287246>. DOI: <https://doi.org/10.24144/2788-6018.2023.04.40> (дата звернення 14.09.2023 р.).
5. Про основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17> (дата звернення: 12.09.2023).
6. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року «Про Стратегію національної безпеки України»: указ від 14.09.2020 № 392/2020 / Президент України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text> (дата звернення 10.09.2023 р.).
7. Моніторинг довкілля : Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля. К.: Міндовкілля. 2023. 119 с.
8. Про план законодавчого забезпечення реформ в Україні: постанова від 04.06.2015 р. № 509-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/509-19#Text> (дата звернення: 12.09.2023).
9. Про схвалення концепції реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього середовища в Україні: розпорядження від 31.05.2017 р. № 616-р. / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 12.09.2023).
10. Васенко О. Г., Карлюк А. А., Черба О. В. Система моніторингу довкілля і представлення інформації в доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. ст. XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 14–15 вересня 2023 р.). Харків: УКРНДІЕП. 2023. С. 74–78.
11. Результативність та практична цінність звітів про стан довкілля для формування політики та інформування громадськості в Україні: робочий документ. Копенгаген: Європейське агентство з охорони навколишнього середовища. 2017. 20 с.
12. Рахункова палата України. Офіційна звітність. URL: http://rp.gov.ua/upload-files/Activity/Collegium/2021/21-3_2021/Zvit_213_2021.pdf (дата звернення: 12.09.2023).
13. Гриценко А. В., Васенко О. Г., Карлюк А. А. Основні положення Національної Доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2022 році. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. ст. XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 14-15 вересня 2023 р.). Харків: УКРНДІЕП. 2023. С. 3–4.
14. Про затвердження Державної цільової екологічної програми матеріально-технічного переоснащення національної гідрометеорологічної служби на 2022-2024 роки: Постанова від 12.05.2021 р. № 465 / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення 12.09.2023 р.).
15. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля: Закон України від 20.03.2023 р. № 2973-IX / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2973-20#Text> (дата звернення 14.09.2023 р.).
16. Про затвердження Порядку запровадження обов'язкових автоматизованих систем контролю викидів забруднюючих речовин: Постанову від 28.03.2023 р. № 272 / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/272-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення 14.09.2023 р.).
17. Деякі питання функціонування сервісу фіксації фактів заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу внаслідок надзвичайних ситуацій, подій, збройної агресії рф «ЕкоЗагроза»: Постанова від 28.07.2023 р. № 278 / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/783-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення 14.09.2023 р.).
18. Про схвалення Концепції Державної цільової екологічної програми моніторингу довкілля: Розпорядження від 07.07.2023 р. № 610-р. / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/610-2023-%D1%80#Text> (дата звернення 14.09.2023 р.).

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 332.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.12>

ЗЕМЛЕУСТРІЙ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ В УМОВАХ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацева І.Г., Пацев І.С.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

org_vvm@ztu.edu.ua, kgt_shvi@ztu.edu.ua, chaszmin30@gmail.com, rig@ztu.edu.ua

Стаття розглядає основні особливості щодо вдосконалення механізму державного управління земельними ресурсами за рахунок запровадження екологічного землекористування. Земельні ресурси України піддаються виснаженню, забрудненню, втрачають продуктивність та деградуєть. Сьогодні земельний фонд України складає 5,7 % території Європи, з яких 41,4 млн га складають сільськогосподарські землі, а часка ріллі – 27,0 %. Рівень розораності земель в Україні в 1,5 рази більший порівняно з Європою. Для ефективного використання земельних ресурсів необхідно змінити сучасну систему землекористування. Оновлена система землекористування має базуватися на поєднанні екологічного, економічного, соціального, технологічного та правового аспектів взаємодії щодо раціонального використання земельних ресурсів. Землеустрій є одним із інструментів забезпечення екологізації землекористування. Землеустрій є державним регулятором земельних відносин між землекористувачами та забезпечує зв'язок між землеволодінням та землекористуванням в будь-яких галузях господарства. Крім того, сприяє створенню належних умов для територіальної організації земельних ресурсів. Здійснення землеустрою в межах об'єднаних територіальних громад (ОТГ) є основою до сталого розвитку та раціонального використання земельних ресурсів та сприятиме підвищенню фінансової спроможності громади. В ОТГ при проведенні земельнопорядних робіт зазвичай розробляються схеми землеустрою і техніко-економічні обґрунтування використання та охорони земель адміністративно-територіальних одиниць. Завдяки цим документам землеустрою можна спрогнозувати розвиток та охорону земельних ресурсів на території на довгостроковий період. Проте, в даних документах не можна відобразити окремі специфічні особливості земельних ресурсів в ОТГ. Тому виникає питання щодо запровадження нових документів із землеустрою, які б враховували екологічну складову землекористування. *Ключові слова:* управління земельними ресурсами, землеустрій, раціональне використання, земля.

Land structure as a land resource management tool in the conditions of ecologization of land use. Melnyk-Shamrai V., Shamrai V., Patseva I., Patsev I.

The article considers the main features of improving the mechanism of state management of land resources due to the introduction of ecological land use. Land resources of Ukraine are subject to exhaustion, pollution, loss of productivity and degradation. Today, the land fund of Ukraine is 5.7% of the territory of Europe, of which 41.4 million hectares are agricultural land, and 27.0% is arable land. The level of plowed land in Ukraine is 1.5 times higher than in Europe. For effective use of land resources, it is necessary to change the modern land use system. The updated land use system should be based on a combination of ecological, economic, social, technological and legal aspects of interaction regarding the rational use of land resources. Land management is one of the tools for ensuring the greening of land use. Land management is the state regulator of land relations between land users and ensures the connection between land ownership and land use in any branches of the economy. In addition, it contributes to the creation of appropriate conditions for the territorial organization of land resources. Implementation of land management within the boundaries of the united territorial communities (UTCs) is the basis for sustainable development and rational use of land resources and will contribute to increasing the community's financial capacity. Land management schemes, technical and economic justifications for the use and protection of lands of administrative-territorial units are usually developed in the UTC during land management works. Thanks to these land management documents, it is possible to predict the development and protection of land resources in the territory for the long term. However, these documents cannot reflect individual specific features of land resources in the UTC. Therefore, there is a question regarding the introduction of new land management documents that would take into account the ecological component of land use. *Key words:* land management, land structure, rational use, land.

Постановка проблеми. Відповідно до закону України «Про охорону земель» земельні ресурси це – сукупний природний ресурс поверхні суші як просторового базису розселення і господарської діяльності, основний засіб виробництва в сільському та лісовому господарстві [1]. Сьогодні, стан та викори-

стання земельних ресурсів в Україні викликає значне занепокоєння, адже не відповідає їхньому продуктивному потенціалу та вимогам раціонального природокористування. Знана частка земель перебуває в господарському обігу, що призвело до порушення екологічного стану довкілля та стійкості ландшафтів.

Багато земель піддаються водній та вітровій ерозії, техногенному забрудненню, дегуміфікації, руйнуванню структури ґрунту. Внаслідок цих негативних процесів має місце порушення родючості ґрунтового покриву, що обумовлює падіння ефективності екологічного землекористування. Одним із інструментів, що має забезпечити раціональне використання земельних ресурсів є впровадження екологізації землекористування – шляхом вдосконалення системи землеустрою. Саме тому, дослідження особливостей раціонального використання земельних ресурсів за рахунок належної організації системи землеустрою є актуальним та дасть можливість знайти шляхи екологічно-безпечного землекористування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сьогодні питання раціонального використання земельних ресурсів набуває все більшої актуальності. Інтенсивний розвиток сільського господарства, будівництво нових житлових кварталів та промислових об'єктів вимагають надійних управлінських рішень щодо раціонального використання земельних ресурсів. Сучасне управління земельними ресурсами потребує поєднання економічної, екологічної і соціальної складової землекористування із урахуванням властивостей земельних ресурсів. Вирішення цього питання може бути досягнуте шляхом належного здійснення робіт із землеустрою.

Низка робіт вітчизняних науковців стосується вивченню питання управління земельними ресурсами за рахунок системи землеустрою [2–11]: Добряк Д.С., Мартин А.Г., Тихенко Р.В., Третяк А.М. Дорош Й.М., Третяк Р.А, Мазій Н.Г., Футулуйчук В.М., Шапоренко О.І., Бойчук Я.Д., Третяк Н.А., Лялюк Н.М., Радзій В.Ф., Лаврук В.В., Покотильська Н.В., Лаврук О.С., Дудич Г., Дудич Л. та інші. Напрацювання вище зазначених авторів свідчать про системний підхід до вирішення проблеми сучасного землеустрою в системі управління та раціонального використання земельних ресурсів та охорони земель.

Земля це найбільша цінність України. Завдяки потужним земельним ресурсам вирішуються питання продовольчої безпеки на світовому рівні. Проте, земля є обмеженим природним ресурсом. Саме тому, сучасне землекористування має будуватися на засадах сталого розвитку, який в свою чергу базується на вдосконаленні системи землеустрою. Адже, сталий розвиток землеустрою сприяє збереженню та відновленню довкілля, зменшує навантаження на природу та забезпечує гармонійний розвиток людини і природи.

Метою статті є аналіз причин і наслідків нераціонального використання земельних ресурсів, обґрунтування необхідності екологізації землекористування за рахунок організації належної системи землеустрою на місцевому рівні. Об'єктом досліджень є земельні ресурси України. Предмет досліджень – розподіл земельних ресурсів у межах об'єднаних територіальних громад.

Новизна отриманих матеріалів полягає в тому, що отримано теоретичні відомості щодо екологізації землекористування шляхом вдосконалення системи землеустрою на місцевому рівні. Результати дослідження можуть бути використані для пошуку шляхів екологічно безпечного землекористування.

Методика досліджень. Дослідження проводилися шляхом збирання інформації з статистичних щорічників щодо вивчення структури земельного фонду України, опрацювання літературних джерел та інтернет-ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Станом на 01.01.2023 р. земельний фонд України складає 60 354,8 тис. га, або 5,7 % території Європи, з яких 41,4 млн га складають сільськогосподарські землі. Так, частка сільськогосподарських угідь становить майже 19,0 % від території Європи, а часка ріллі – 27,0 % (32,7 млн. га). В Україні на 1 особу припадає 0,90 га, тоді як в Європі в 2 рази менше. Рівень розораності земель в Україні в 1,5 рази більший порівняно з Європою [12]. До земель України належать усі землі в межах її території, в тому числі острови та землі, зайняті водними об'єктами, які за основним цільовим призначенням поділяються на категорії [13]. Основна частка земельної площі це сільськогосподарські угіддя – 70,8 %, лісових угідь в 4 рази менше, а забудованих земель і земель зайнятими водними об'єктами в 4 рази менше порівняно з лісовими угіддями. У структурі сільськогосподарських земель переважає рілля – 55,8 %, пасовищ та сіножатих менше відповідно в 6,0 % та 14,0 % разів порівняно з ріллею, а частка багаторічних насаджень та перелогів не перевищує 1,5 %.

Земельний фонд Житомирської області за даними [14] на 1 січня 2022 р. становить – 2982,7 тис. га. Аналіз розподілу земель Житомирської області є неоднорідним (рис. 1). Так, основна частка земельних ресурсів припадає на сільськогосподарські угіддя, що в 1,3 рази більше порівняно з лісовими землями, а частка інших видів земель та угідь коливається від 1,3 % до 3,4 %.

В період з 2010 по 2022 рр. відмічено зменшення сільськогосподарських угідь на 5,5 тис. га, території, що покриті поверхневими водами на 0,2 тис. га та інших земель на 0,8 тис. га. Для інших земель області відмічено тенденцію незначного зростання площ. Так, в 2022 р. площа лісів та інших лісовкритих земель зросли на 12,9 тис. га порівняно з 2010 р., забудованих земель – на 0,6 тис. га, відкритих заболочених земель – на 0,2 тис. га та відкритих земель без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом на 0,8 тис. га.

Більшу половину земельного фонду Житомирської області – 50,6 % займають сільськогосподарські угіддя. Загальна площа сільськогосподарських угідь з 2010 по 2022 рр. зменшилася на 5,3 тис. га. Площа ріллі зросла на 28,1 тис. га за аналізований період, а от площа сіножатих і пасовищ та

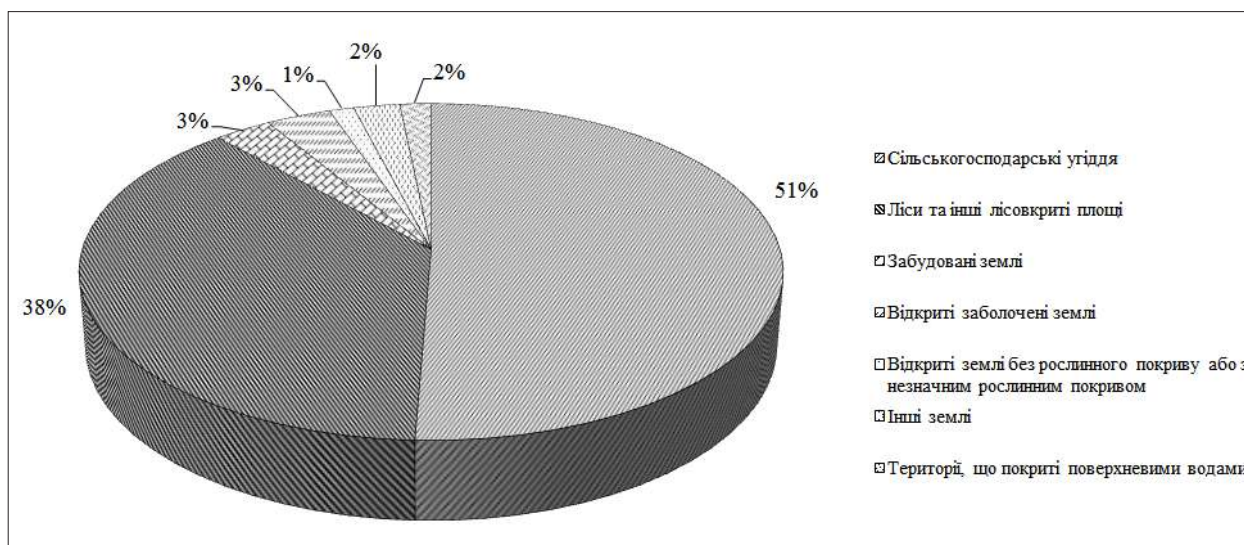


Рис. 1. Структура земельного фонду Житомирської області (станом на 01.01.2022 р.)

Джерело: на основі результатів [15]

перелогів зменшилася на 3,2 тис. га та 30,4 тис. га відповідно, а площа багаторічних насаджень лишилась без змін.

Крім того, необхідно відмітити, що Житомирська область потрапила в зону впливу викидів Чорнобильської АЕС, тому питанню радіоактивного забруднення земель [16–18], на значна площа сільськогосподарських та лісогосподарських земель були виведені з обігу, що негативно вплинуло на розвиток господарства. На території області є достатня кількість об'єктів природно-заповідного фонду [19–20], які займають значні площі земельних ресурсів та організація території яких потребує поліпшення.

Відповідно до Указу Президента України від 15 жовтня 2020 р. № 449/2020 «Про деякі заходи щодо прискорення реформ у сфері земельних відносин» [21] та Постанови Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2020 р. № 1113 «Деякі заходи щодо прискорення реформ у сфері земельних відносин» [22] здійснювалася передача земель сільськогосподарського призначення з державної власності у комунальну власність об'єднаних територіальних громад. Протягом 2020 та 2021 років в Житомирській області було здійснено передачу сільськогосподарських земель з державної в комунальну власність площею – 55230,22 га (рис. 2).

Найбільша площа земельних ділянок сільськогосподарського призначення, переданих з державної власності у комунальну власність в Житомирській області відмічена в об'єднаних територіальних громадах (ОТГ) Житомирського та Коростенського району. Тоді як в Бердичівському та Звягельському районах в 3,0 рази менше порівняно з Житомирським та Коростенським районом.

В межах окремого району розподіл площі земельних ділянок сільськогосподарського призначення,

переданих з державної власності у комунальну власність варіює. Так, в ОТГ Житомирської області площа передачі земель варіює від 3,0 до 3092,0 га (рис. 3). Так, найменша площа земельних ділянок сільськогосподарського призначення була передана з державної в комунальну власність у Високівській, Житомирській, Харитонівській, Корнинській, Новоборівській та Городницькій ОТГ, а найбільша Романівській та Черняхівській ОТГ.

Суспільство в процесі своєї діяльності екологічно необґрунтовано та нераціонально використовує земельний ресурс, що призводить до деградації ґрунтів та ґрунтового покриву. До основних факторів деградації земель можна віднести: неоптимальне співвідношення земельних угідь; погана структура посівних площ; недосконала земельна реформа; нездатність фермерів та агрохолдингів підтримувати родючість ґрунтів; низьке застосування органічних і мінеральних добрив; недотримання законів про охорону земель та низький рівень державного управління земельними ресурсами.

Сучасне ефективне використання земель полягає у забезпеченні балансу між економічними та екологічними показниками. Отримання економічної вигоди від землекористування має забезпечуватися раціональним використанням, охоронною та відтворенням земельних ресурсів. Таке ефективне використання земельних ресурсів має забезпечуватися на всіх рівнях та потребує прогнозування, планування та регулювання. Саме тому, в сучасних умовах розвитку суспільства питання щодо ефективного використання і охорони земель є одним з найважливіших завдань землеустрою, яке можна вирішити шляхом вдосконалення механізмів управління земельними ресурсами.

У ст. 182 Земельного кодексу України [23] зазначено, що основною метою землеустрою є забезпе-

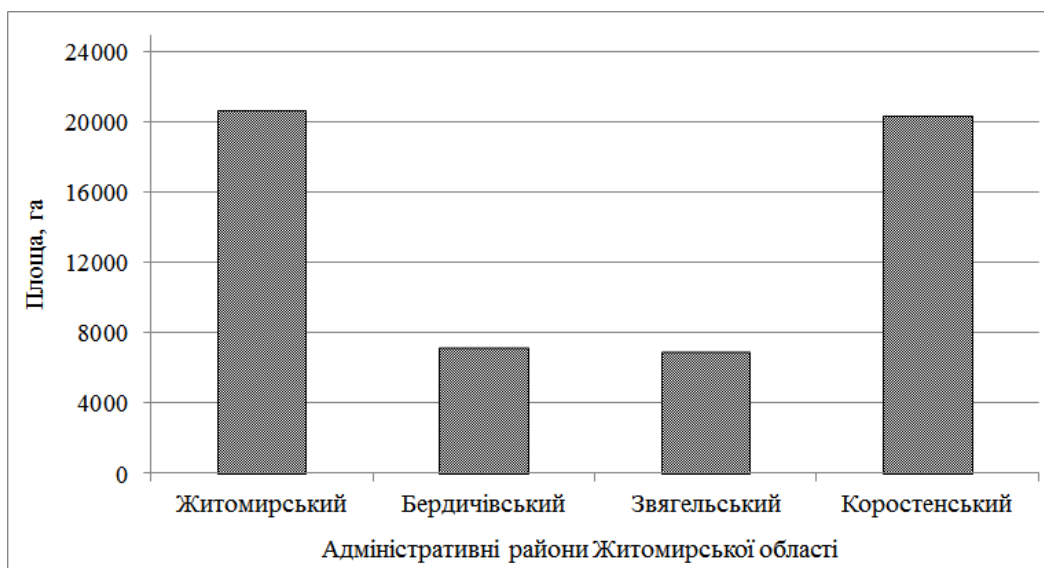


Рис. 2. Розподіл площі земельних ділянок сільськогосподарського призначення, переданих з державної власності у комунальну власність в Житомирській області

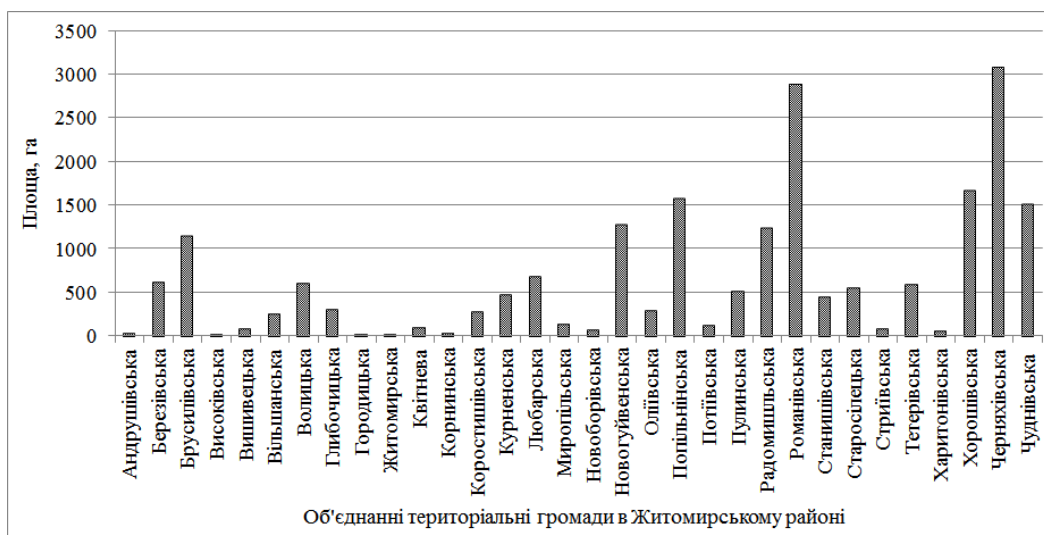


Рис. 3. Розподіл площі земельних ділянок сільськогосподарського призначення, переданих з державної власності у комунальну власність в межах об'єднаних територіальних громадах Житомирського району Житомирської області

чення раціонального використання і охорони земель, створення сприятливого екологічного середовища та поліпшення природних ландшафтів. Таким чином, землеустрій є державним регулятором земельних відносин між землекористувачами. Адже, забезпечує зв'язок між землеволодінням та землекористуванням в будь-яких галузях господарства та створюються належні умови для територіальної організації земельних ресурсів.

Здійснення децентралізаційних процесів сприяло утворенню великої кількості об'єднаних територіальних громад, на «плечі» яких перемістилися проблеми охорони навколишнього природного середовища, в тому числі, і раціональне використання природних ресурсів. Після проведення реформ щодо

децентралізації влади в Україні, новостворені ОТГ отримали додаткову мотивацію та зацікавленість щодо ефективного управління земельними, бо це дає можливість наповнювати місцевий бюджет, чітко розпоряджатися земельними ресурсами та мати стабільний екологічний стан територій громади, що є запорукою процвітання та довіри очільнику ОТГ.

Документація із землеустрою розробляється у вигляді схеми, проекту, робочого проекту або технічної документації. Відповідно до Закону України «Про землеустрій» [13] виділяють наступні види документації із землеустрою:

1. Схеми землеустрою і техніко-економічні обґрунтування використання та охорони земель адміністративно-територіальних одиниць;

2. Проекти землеустрою щодо встановлення (зміни) меж адміністративно-територіальних одиниць;

3. Проекти землеустрою щодо організації і встановлення меж територій природно-заповідного фонду та іншого природоохоронного призначення, оздоровчого, рекреаційного, історико-культурного, лісогосподарського призначення, земель водного фонду та водоохоронних зон, обмежень у використанні земель та їх режимоутворюючих об'єктів;

4. Проекти землеустрою щодо приватизації земель державних і комунальних сільськогосподарських підприємств, установ та організацій;

5. Проекти землеустрою щодо відведення земельних ділянок;

6. Проекти землеустрою щодо впорядкування території для містобудівних потреб;

7. Проекти землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь;

8. Проекти землеустрою щодо впорядкування території населених пунктів;

9. Проекти землеустрою щодо організації території земельних часток (паїв);

10. Робочі проекти землеустрою;

11. Технічна документація із землеустрою щодо визначення та встановлення в природі (на місцевості) державного кордону України;

12. Технічна документація із землеустрою щодо встановлення (відновлення) меж земельної ділянки в природі (на місцевості);

13. Технічна документація із землеустрою щодо встановлення меж частини земельної ділянки, на яку поширюються права суборенди, сервітуту;

14. Технічна документація із землеустрою щодо поділу та об'єднання земельних ділянок;

15. Технічна документація із землеустрою щодо інвентаризації земель.

Політика місцевих органів влади щодо використання та охорони земельних ресурсів зазнала суттєвих змін внаслідок децентралізації влади. Тепер земельні ресурси виступають стимулятором розвитку, що сприяє залученню додаткових ресурсів для належного фінансового управління земельними ресурсами при веденні земельного бізнесу.

Під час формування ОТГ найбільш цінного змісту набули схеми землеустрою і техніко-економічні обґрунтування використання та охорони земель адміністративно-територіальних одиниць. Даний документ є основою для розвитку та охорони земельного фонду в межах адміністративно-територіальних одиниць. Така документація із землеустрою відображає перспективи щодо використання та охорони земель, їх раціонального використання, враховує особливості перерозподілу земель для різних господарств та розвитку сіл, селищ, міст, територій оздоровчого, рекреаційного, історико-культурного призначення,

природно-заповідного фонду та іншого природоохоронного призначення тощо [13].

Варто відмітити, що лише розробка документів із землеустрою дає можливість здійснювати заходи щодо раціонального використання та охорони земель, формування та організації території земельних ділянок, збереження та підвищення родючості ґрунту. Саме таке, поліпшення в управлінні земельними ресурсами дасть можливість збільшити вартість земельних ресурсів в межах ОТГ.

Найбільш часто в процесі здійснення землеустрою ОТГ, звертають увагу, на складання схем землеустрою, де описуються основні особливості щодо використання та охорони земель на місцевому рівні. Дані схеми розробляються на період до 15 років та містять інформацію про формування раціональної системи землеволодіння і землекористувань, відображають матеріали щодо правильного підбору сівозмін та розподілу земель за категоріями, передбачають захист земель від негативних факторів людської діяльності (ерозії, підтоплення, висушення, зсувів, вторинного засолення і заболочення, ущільнення, забруднення різними речовинами), консервацію деградованих і малопродуктивних земель, а також особливості використання цінних територій (природоохоронних, рекреаційних і заповідних). Проте, в цих схемах землеустрою не можна відобразити окремі специфічні особливості ОТГ щодо розподілу земельних ресурсів. Наприклад, це може стосуватися екологізації землекористування чи створення екологічно збалансованих ландшафтів.

Врегулювання земельних питань в межах ОТГ стануть початком розвитку сільських територій та можливістю впровадження земельної реформи. Крім того, це підвищить зацікавленість інвесторів до розвитку агропромислового виробництва, що сприятиме покращенню рівня життя сільського населення.

Головні висновки. Для створення раціональної системи землекористування необхідно вирішити ряд важливих питань щодо обґрунтованого розподілу земель, екологізації землекористування, які не можливо здійснити без розробки схем та проектів землеустрою. Саме тому, для сталого розвитку територій та раціонального використання земельних ресурсів необхідно вдосконалити управління земельними ресурсами шляхом оновлення сучасних підходів до здійснення землеустрою на місцевому рівні. Основою для вдосконалення землеустрою має стати зарубіжний досвід. Перш за все нам необхідно вдосконалити та адаптувати Земельний Кодекс України до європейських стандартів, запровадити обов'язків землеустрій, мати чітку стратегію розвитку земельних відносин, створити інформаційну базу про стан і якість земельних ресурсів на території. Отже, належне управління земельними ресурсами слугуватиме базою для їх раціонального та екологічно-безпечного використання.

Література

1. Закону України «Про охорону земель» URL: <http://surl.li/bafig> (дата звернення: 20.11.2023).
2. Добряк Д.С., Мартин А.Г. «Сучасний землеустрій» – основоположний державний механізм управління у галузі використання та охорони земельних ресурсів у ринкових умовах. *Землеустрій і кадастр*. 2011. № 1. С. 3–10.
3. Мартин А.Г., Тихенко Р.В. Генезис землеустрою та його понятійного апарату: ретроспективний аналіз і сучасне розуміння. *Землеустрій і кадастр*. 2006. № 1. С. 10–27.
4. Третяк А.М. Дорош Й.М., Третяк Р.А. Теоретичні засади Землевпорядного процесу: за заг. ред. А.М. Третяка. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС 2017. 268 с.
5. Мазій Н.Г. Шляхи удосконалення управління земельними ресурсами на прикладі Львівської області: автореферат дис. на здобуття наук. ст. к. е. н. / Н.Г. Мазій. Національний аграрний університет. К., 2008.
6. Футулуйчук В.М., Шапоренко О.І., Бойчук Я. Д. Принципи, завдання та методологічна основа землеустрою. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2017. Вип. 48. С. 166–174.
7. Третяк Н.А. Поняття та сутність земельних ресурсів і землекористування у контексті управління як економічної функції власності. *Землеустрій і кадастр*. 2011. № 4. С. 77–80.
8. Лялюк Н. М., Радзій В. Ф. Теоретичне забезпечення раціонального використання та охорони земель при землеустрої. Перспективи розвитку територій: теорія і практика: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених, Харків, 22–23 листопада 2018 р. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. С. 390–392.
9. Лаврук В.В., Покотильська Н.В., Лаврук О.С. Завдання сучасного землеустрою в системі управління земельними ресурсами та землекористуванням. *Агроекономіка*. № 3, 2019. С. 3–10.
10. Добряк Д.С. Сучасний землеустрій – основоположний інструмент в забезпеченні раціонального використання та охорони земельних ресурсів Землеустрої, кадастр і моніторинг земель. 2018. №4. С. 21–31.
11. Дудич Г., Дудич Л. Розробка проектів землеустрою сільськогосподарських підприємств як важлива умова раціонального використання земель. *Вісник Львівського національного аграрного університету: економіка АПК*. 2015. № 22 (2). С. 66–71.
12. Оспенко О.С., Мельник-Шамрай В.В. Підвищення ефективності використання земельних ресурсів в Україні. Тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та раціональне природокористування», 16 листопада 2023 року. Житомир: Житомирська політехніка, 2023. С. 273.
13. Закон України «Про землеустрій». URL: <http://surl.li/hkthz> (дата звернення: 20.11.2023).
14. Мельник-Шамрай В.В. Аналіз стану використання земельного фонду Житомирської області. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Видавничий дім «Гельветика», 2023. 5(50). С. 20–24.
15. Екологічний паспорт Житомирської області за 2022 рік. URL: <http://surl.li/lfgoe> (дата звернення: 22.11.2023).
16. Melnyk V., Kurbet T. Current distribution of ¹³⁷Cs in sod-podzolic soils of different types of forest conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/10(95). P. 65–71.
17. Мельник-Шамрай В. В. Вертикальний розподіл ¹³⁷Cs у ґрунтах свіжого та вологого субору Українського Полісся. *Вісник ПДАА*. 2021. № 3. С. 101–109.
18. Davydova I., Korbut M., Kreitseva N., Panasyk A., Melnyk V. Vertical distribution of ¹³⁷Cs in forest soil after the ground fires. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9(3). P. 231–240.
19. Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацева І.Г. Аналіз територіального розподілу об'єктів природно-заповідного фонду об'єднаних територіальних громад Коростенського району Житомирської області. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. К. : видавничий дім «Гельветика». 2023. № 4(49). С. 186–193.
20. Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.В., Пацева І.Г., Курбет Т.В. Оцінка стану природно-заповідного фонду Житомирської області. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. К.: видавничий дім «Гельветика», 2023. № 3(48). С. 108–115.
21. Указу Президента України «Про деякі заходи щодо прискорення реформ у сфері земельних відносин». URL: <http://surl.li/pmvfo> (дата звернення: 13.11.2023).
22. Постанови Кабінету Міністрів України «Деякі заходи щодо прискорення реформ у сфері земельних відносин». URL: <http://surl.li/hbtx> (дата звернення: 13.11.2023).
23. Земельний кодекс України. URL: <http://surl.li/ccma> (дата звернення: 18.11.2023).

UDC 504.064

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.13>

NATURE-RESOURCE POTENTIAL OF NATURAL REGIONS OF UKRAINE IN PRESENT-DAY FIGURES

Rudenko S.¹, Rudenko V.²¹Oles Honchar Dnipro National University
Gagarin Ave., 72, 49010, Dnipro²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
Kotsibynskoho str., 2, 58012, Chernivtsi
rudenkostepan@gmail.com, v.rudenko@chnu.edu.ua

The value of the aggregative nature-resource potential (NRP) of Ukrainian natural regions was as of 01.01.2022 estimated to amount to 1395,543 milliard hryvnyas. Estimation of aggregative NRP previously performed in 2013 in 2004–2008 prices was now figured through indexation of monetary evaluation of mineral, water, land, forest, fauna and natural recreation resources within natural regions of Ukraine. NRP estimation was performed for each of 278 primary natural physic-geographical rayons of Ukraine, 57 oblasts, 14 krays (provincial ecosystems, according to M. Holubets), 3 sub-zones, 4 zones (biomes) and 3 natural countries (two of which representing mountain country ecosystems). It is asserted that the NRP of the East-European Plain has covers over 9/10 of the total cost value of the potential nature resources of Ukraine, while the Crimean Mountains account for less than 2%, and the Ukrainian Carpathians – for 6,4%. The leadership among “provincial ecosystems” (krays) was taken by the Donetsk Kray (in the Steppe Biome) (14,3% out of the whole NRP of Ukraine), followed by the Podilsko-Prydniprovskyy Kray (in the Forest-Steppe Biome) (11,6%), Left-Bank-Dnieper-Pryazovskyy Kray (in the Steppe Biome) (10,5%), Dniester-Dnieper Kray (in the Steppe Biome) (9,4%), and the Polissia Kray (in the Mixed Forest Biome) (9,3%), West-Ukrainian Kray (in the Deciduous Forests Biome) (8,2%), Left-Bank-Dnieper Kray (in the Forest-Steppe Biome) (7,8%), mountain country ecosystem Ukrainian Carpathians (6,4%). The aforesaid five provincial ecosystems accumulate over 77% of the potential of nature resources of Ukraine. The least NRP values were observed in the Crimean Mountain Country Ecosystem (1,9%), the Prychornomorsko-Pryazovskyy Provincial Ecosystem (2,8%), the East-Ukrainian Provincial Ecosystem (3,2%), Crimean Steppe (3,9%) the Prychornomorskyy (5,0%) and the Zadonetsko-Donskyy (5,7%) provincial ecosystems. *Key words:* nature-resource potential, indexation, natural regions of Ukraine.

Природно-ресурсний потенціал природних регіонів України у сучасному вимірі. Руденко С.В., Руденко В.П.

Вартісна оцінка сумарного природно-ресурсного потенціалу (ПРП) природних регіонів України станом на 01.01.2022 р. становить 1395, 543 млрд. грн. Величина сучасного потенціалу природних ресурсів регіонів визначена шляхом індексації у цінах 2015–2021 років еколого-економічної оцінки ПРП України, проведеної авторами у 2013 р. ПРП регіонів охоплює мінеральні, водні, земельні, лісові, фауністичні та природні рекреаційні ресурси. Оцінка ПРП доведена до рівня первинних 278 природних районів України та відображена у її 57 природних областях, 14 краях (провінційних екосистемах, за М. Голубцем), 3 підзонах, 4 зонах (біомах), 3 природних країнах (з них дві – гірськокарпатські екосистеми). Стверджується, що ПРП Східно-Європейської рівнини складає 9/10 сумарної вартісної оцінки потенціалу природних ресурсів України, Кримські гори – менше 2%, Карпати – 6,4%. На рівні країв («провінційних екосистем») за величиною ПРП першими є: Донецький край (у Степовому біомі) (14,3% від загальноукраїнського ПРП), Подільсько-Придніпровський край (у Лісостеповому біомі) (11,6%), Лівобережно-Дніпровсько-Приазовський край (у Степовому біомі) (10,5%), Дністровсько-Дніпровський край (у Степовому біомі) (9,4%), а також Поліський край (у біомі мішаних лісів) (9,3%), Західно-Український край (у біомі широколистяних лісів) (8,2%), Лівобережно-Дніпровський край (у Лісостеповому біомі) (7,8%) та гірськокарпатська екосистема Українські Карпати (6,4%). Названі провінційні екосистеми утримують понад 77% усього потенціалу природних ресурсів України. Найменший ПРП мають Кримська гірськокарпатська екосистема (1,9%), Причорноморсько-Приазовська (2,8%), Східно-Українська (3,2%), Кримська степова (3,9%), Причорноморська (5,0%) та Задонецько-Донська (5,7%) провінційні екосистеми. *Ключові слова:* природно-ресурсний потенціал, індексація оцінки, природні регіони України.

Problem statement and topicality. In present-day conditions of social-economic and environmental development of Ukraine and the world on the whole, when years of Russian aggression against Ukrainian state and its people pose a challenge to survival of Ukrainian nation, when Ukrainians fight for their Liberty, Independence, Victory and Peace, the assessment of nature-resource potential (NRP) of Ukrainian regions, perhaps like never before, becomes even the most essential issue. What is the nature-resource strength of this state? What is the contribution of the country's krays and rayons in provision of defensive capacity of Ukraine? Are all of nature-resource reserves already employed and

where the same are not yet operationalized to their full? These and many other questions can find response in the form of the up-to-date monetary ecological-economic evaluation of the NRP of Ukrainian territories (water areas) that includes mineral, water, land, forest, fauna and natural recreation resources.

Analysis of latest studies and publications. Problems of assessment of NRP of the territory (water area), in particular, tourism/recreation potential, have in the last years been given attention in quite a number of scientific works. Among those most closely related to this research, there were studies by M. Malska, N. Pankiv [1], С.Е. Chasovschi [2], G.-L. Cioban [3],

H. Haubrich [4], A.-M. Nedelea [5], O. Beidyk and N. Novosad [6], S. Yaromenko [7]. Thus, performing monetary evaluation of tourism potential, M. Malska and N. Pankiv paid attention to high-priority estimation of tourism resources as its major component. We can not but agree with the authors insisting that “the cadastre should be the foundation of economic assessment of natural recreation resources. ...cadastre system of assessment stays to be a basis in the management of the major portion of nature resources, namely, land, water, forest, mineral resources” [1, p. 88]. The establishment of the value of the aggregative nature-resource potential of Ukrainian natural regions in the present-day cost dimension, commensurable with the other important elements of national wealth represents the *major aim* of this study.

Study methods. Undoubtedly, it is the NRP cadastre-based assessments that allow for monetary evaluation of the overall nature-resource wealth of the state and its regions as a whole. In present-day conditions, when the large-scale ecological-economic assessment of Ukrainian NRP is impossible, it seems worth accentuating upon the existing methods of its indexation. The State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre performs the indexation of normative monetary evaluation of lands on a yearly basis by way of the cumulative method. Thus, the coefficient of indexation of normative monetary evaluation for agricultural lands (plough lands, perennial plantings, hayfields, pastures and grasslands) in 1996 and until 2021 was 4,796, while it amounted to 6,679 for lands of settlements and other lands of non-agricultural designation within the same period [8].

The use of exchange rates of leading currencies, in particular, the UAH/USD exchange rates established

by the National Bank of Ukraine [9] is, to our opinion, another close and even more appropriate approach to indexation of total NRP of Ukrainian regions. It should be at the same time noted that we speak about the UAH/USD rate averaged within the five-seven years' period. The appropriateness of this approach was substantiated by many researchers, in particular, by I. Yukhnovsky and G. Loboda [10].

Thus, if the UAH/USD exchange rate stayed in 1996 preserved within the interval of 1.76–1.823 hryvnias per dollar, it grew to 5.00 in 2004–2008; 6.27 in 2006–2010; 15.55 in 2011–2017; and, finally, 25.866 in 2015–2021 (Archive of currency exchange rates, 2023). Hence we observe that the hryvnia's capacity against the US dollar reduced 15,28 times within 1996–2021, and 5,1732 times within 2015–2021 in comparison to 2004–2008 (see Fig. 1).

The comparison of the periods of 2004–2008 and 2015–2021 was not a random choice. The matter is that, guided by the new scheme of physic-geographical zoning, we had in 2013 performed the absolute ecological-economic evaluation of natural regions of Ukraine in the aspect of its 278 natural rayons, 57 oblasts, 14 krais, 3 subzones, 4 zones, and 3 countries [11].

The choice of physic-geographical (natural) rayon as the primary/the lowest non-zonal object of NRP ecological-economic evaluation was substantiated by the integrity and genetic interrelationship of landscape localities, as well as by the intensity and orientation of modern nature-resource processes. The present-day assessment of Ukrainian NRP is as well important due to new administrative and territorial structure of the state introduced in December 2020, the one that required essential territorial reconsideration and reinterpretation

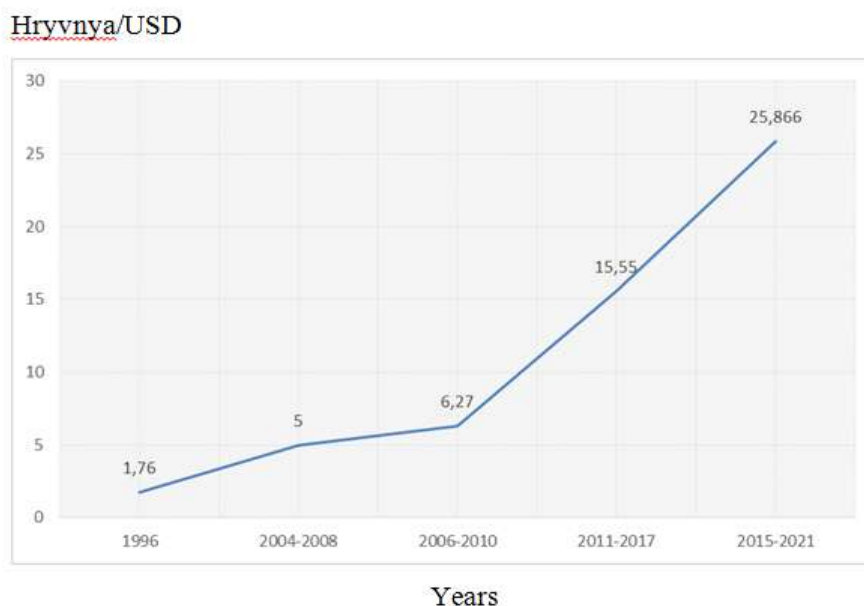


Fig. 1. UAH/USD exchange rate withing 1996–2021 (Archive of currency exchange rates, 2023)

of the available database of cadastre evaluations of nature resources. Thus, the coefficient of indexation of ecological-economic value of NRP of Ukrainian natural regions in 2004–2008 prices in reference to its present-day estimation in 2015–2021 prices has made 5.1732.

Results and Discussion. Table 1 represents the results of indexation of ecological-economic value of nature-resource potentials of natural countries, natural zones, sub-zones and oblasts of Ukraine as of 01.01.2022. As follows from the data, the present-day NRP of Ukraine is counted to amount to 1395, 543 milliard hryvnyas. Here we speak of the NRP value in average annual figures. The East European Plain possesses the potential of nature resources that covers over 9/10 of the whole NRP of Ukraine; the Crimean Mountains (Crimean Mountain Country Ecosystem, according to M. Holubets) account for nearly 2%; and the Ukrainian Carpathians (Carpathian Mountain Country Ecosystem [12]) – for 6,4% of the same.

NRP distribution by Ukrainian natural zones (biomes) is as follows: Mixed Forests Zone is attributable to 9,3%; Deciduous Forests Zone – 8,2%; Forest-Steppe Zone – 22.6%; and Steppe Zone – to 51,6%.

It seems essentially important from scientific point of view to trace the distribution of the value of the aggregative NRP by natural krays, or, according to M. Holubets, provincial ecosystems [12, p. 83].

As follows from Table 1, the leadership among “provincial ecosystems” krays was taken by the Donetsk Kray (in the Steppe Biome) (14,3% out of the whole NRP of Ukraine), followed by the Podilsko-Prydniprovskyy Kray (in the Forest-Steppe Biome) (11,6%), Left-Bank-Dnieper-Pryazovskyy Kray (in the Steppe Biome) (10,5%), Dniester-Dnieper Kray (in the Steppe Biome) (9,4%), and the Polissia Kray (in the Mixed Forest Biome) (9,3%). The aforesaid five provincial ecosystems accumulate over 55% of the potential of nature resources of Ukraine. The least NRP values were observed in the Crimean Mountain Country Ecosystem (1,9%), the Prychornomorsko-Pryazovskyy Provincial Ecosystem (2,8%), and the East-Ukrainian Provincial Ecosystem (3,2%).

Among natural oblasts, the biggest NRP values were manifested by the Donetsk Upland Oblast where 8,8% of the total Ukrainian NRP were accumulated, the South-Prydniprovsk Slope-Upland Oblast in the North-

Table 1
Nature-resource potential of physico-geographical (natural) regions of Ukraine in present-day figures (in prices of 2015–2021)

Physico-geographical countries and zones	Value of the potential (UAH milliard)						
	Mineral	Water	Land	Forest	Fauna	Natural recreation	Integral
1	2	3	4	5	6	7	8
East European Plain	383,613	153,152	591,308	40,506	6,487	104,679	1279,745
Mixed Forests Zone	6,042	26,119	64,537	17,796	0,807	14,045	129,346
Polissia Kray	6,042	26,119	64,537	17,796	0,807	14,045	<u>129,346</u>
I. Oblast of Volyn Polissia	1,045	5,323	11,660	5,970	0,129	2,488	26,616
II. Oblast of Smaller Polissia	0,864	1,888	7,786	1,288	0,047	1,117	12,990
III. Oblast of Zhytomyr Polissia	1,733	6,229	16,244	4,501	0,264	1,987	30,957
IV. Oblast of Kyiv Polissia	1,029	3,280	6,689	2,297	0,057	2,959	16,311
V. Oblast of Chernigiv Polissia	0,993	7,103	15,075	2,043	0,217	4,925	30,356
VI. Oblast of Novgorod-Siversk Polissia	0,378	2,297	7,082	1,697	0,093	0,569	12,116
Deciduous Forests Zone	8,272	16,911	72,927	5,877	0,414	10,460	114,861
West-Ukrainian Kray	8,272	16,911	72,927	5,877	0,414	10,460	<u>114,861</u>
VII. Volyn Upland Oblast	1,562	2,437	12,669	1,392	0,103	1,490	19,653
VIII. Roztoky-Opillia Hilly-Mountainous Oblast	4,454	3,818	7,791	1,743	0,036	3,016	20,858
IX. West-Podillia Upland Oblast	0,533	3,870	15,390	0,983	0,047	1,583	22,406
X. Mid-Podillia Upland Oblast	0,755	4,930	25,711	1,138	0,191	2,090	34,815
XI. Prut-Dniester Upland Oblast	0,967	1,857	11,366	0,621	0,036	2,281	17,128
Forest-Steppe Zone	21,790	36,906	214,935	12,023	2,411	26,947	315,012
Podilsko-Prydniprovskyy Kray	7,754	17,169	117,908	6,363	1,086	11,837	<u>162,117</u>

Continuation of Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8
XII. North-Prydniprovskia Upland Oblast	0,435	2,323	11,552	0,440	0,098	1,107	15,955
XIII. North-Eastern Prydniprovskia Upland Oblast	0,786	1,981	15,825	0,957	0,238	1,852	21,639
XIV. Kyiv Upland Oblast	0,595	1,919	9,519	0,626	0,057	2,318	15,034
XV. Prydnistrovsko-East-Podilska Upland Oblast	0,341	0,973	11,774	0,455	0,057	0,569	14,169
XVI. Mid-Bug Upland Oblast	0,450	2,783	15,147	1,076	0,093	1,728	21,277
XVII. Central-Prydniprovskia Upland Oblast	2,276	4,345	22,152	1,547	0,238	2,297	32,855
XVIII. South-Podilska Upland Oblast	0,450	0,771	13,481	0,667	0,145	0,781	16,295
XIX. South-Prydniprovskia Upland Oblast	2,421	2,074	18,458	0,595	0,160	1,185	24,893
Left-Bank-Dnieper Kray	10,409	13,962	72,756	3,346	1,051	7,387	<u>108,911</u>
XX. North-Prydniprovskia Terrace Lowland Oblast	1,604	3,844	21,769	0,786	0,264	3,057	31,324
XXI. North-Poltava Upland Oblast	4,149	4,366	27,775	1,298	0,383	2,240	40,211
XXII. East-Poltava Upland Oblast	1,640	4,728	13,781	1,040	0,285	1,485	22,959
XXIII. South-Prydniprovskia Terrace Lowland Oblast	3,016	1,024	9,431	0,222	0,119	0,605	14,417
East-Ukrainian Kray	58,308	16,581	79,879	2,794	0,884	16,978	<u>175,424</u>
XXIV. Sumy Slope-Upland Oblast	0,466	2,168	9,865	1,221	0,145	1,107	14,972
XXV. Kharkiv Slope-Upland Oblast	3,161	3,606	14,407	1,092	0,129	6,617	29,012
Steppe Zone	347,509	73,216	238,909	4,810	2,855	53,227	720,526
North-Steppe Sub-Zone	333,716	37,045	148,374	3,839	1,970	31,805	556,749
Dniester-Dnieper Kray	54,681	10,807	55,607	0,481	0,610	9,254	<u>131,440</u>
XXVI. South-Moldavian Slope-Upland Oblast	0,021	0,797	10,243	0,036	0,041	0,848	11,986
XXVII. South-Podillia Slope-Upland Oblast	0,352	1,847	11,490	0,093	0,109	1,386	15,277
XXVIII. South-Prydniprovskia Slope-Upland Oblast	54,308	8,163	33,874	0,352	0,460	7,020	104,177
Left-Bank-Dnieper-Pryazovskyy Kray	70,594	12,990	50,869	1,205	0,677	9,964	<u>146,299</u>
XXIX. Orilsko-Samarska Lowland Oblast	45,721	5,106	21,702	0,786	0,290	3,694	77,299
XXX. Kinsko-Yalynska Lowland Oblast	20,693	6,110	18,003	0,222	0,248	2,509	47,785
XXXI. Pryazovska Upland Oblast	2,437	1,252	7,765	0,145	0,072	1,624	13,295
XXXII. Pryazovska Lowland Oblast	1,743	0,522	3,399	0,052	0,067	2,137	7,920
Donetsk Kray	157,399	7,935	25,722	0,998	0,238	7,481	<u>199,773</u>
XXXIII. West-Donetsk Slope-Upland Oblast	54,075	2,788	15,639	0,574	0,160	3,073	76,309
XXXIV. Donetsk Upland Oblast	103,324	5,147	10,083	0,424	0,078	4,408	123,464

Continuation of Table 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Zadonetsko-Donskyi Kray	51,044	5,313	16,332	1,154	0,445	5,106	<u>79,394</u>
XXXV. Starobilsk Slope-Upland Oblast	51,044	5,313	16,332	1,154	0,445	5,106	79,394
Mid-Steppe Sub-Zone	6,513	12,136	43,454	0,300	0,346	7,305	70,054
Prychornomorskyi Kray	6,513	12,136	43,454	0,300	0,346	7,305	<u>70,054</u>
XXXVI. Zadnistrovsko-Prychornomorska Lowland Oblast	0,057	2,002	7,656	0,036	0,041	0,760	10,552
XXXVII. Dniester-Bug Lowland Oblast	0,274	1,148	6,642	0,036	0,036	4,377	12,513
XXXVIII. Bug-Dnieper Lowland Oblast	1,614	4,827	16,027	0,088	0,145	0,631	23,332
XXXIX. Dnieper-Molochanka Lowland Oblast	1,573	3,714	8,137	0,078	0,088	0,347	13,937
XL. West-Pryazovska Slope-Upland Oblast	2,995	0,445	4,992	0,062	0,036	1,190	9,720
South Steppe (Dry Steppe) Sub-Zone	7,280	24,035	47,081	0,671	0,539	14,117	93,723
Prychornomorsko-Pryazovskyy Kray	1,144	9,782	<u>23,310</u>	0,418	0,285	4,149	<u>39,088</u>
XLI. Lower Bug-Dnieper Lowland Oblast	0,683	3,657	4,739	0,072	0,031	1,402	10,584
XLII. Lower Dnieper Terrace-Delta Lowland Oblast	0,197	1,666	6,047	0,274	0,078	0,848	9,110
XLIII. Prysyvasko-Pryazovska Lowland Oblast	0,264	4,459	12,524	0,072	0,176	1,899	19,394
Crimean Steppe Kray	6,136	14,253	<u>23,771</u>	0,253	0,254	9,968	<u>54,635</u>
XLIV. Prysyvasko -Crimean Lowland Oblast	1,247	5,727	6,492	0,010	0,078	2,550	16,104
XLV. Tarkhankut Upland Oblast	0,202	2,540	7,843	0,005	0,057	2,173	12,820
XLVI. Central Crimean Upland Oblast	0,978	5,784	7,791	0,228	0,103	4,671	19,555
XLVII. Kerch Hilly-Ridge Oblast	3,709	0,202	1,645	0,010	0,016	0,574	6,156
Crimean Mountains	2,530	2,111	8,996	1,257	0,041	11,014	25,949
Crimean Mountainous Kray	2,530	2,111	8,996	1,257	0,041	11,014	25,949
I. Piedmont-Crimean Oblast	1,148	0,927	3,657	0,522	0,015	5,323	11,593
II. Mountainous Crimea Oblast	1,211	0,905	3,673	0,538	0,010	3,735	10,072
III. South Coast Crimean Oblast	0,171	0,279	1,666	0,197	0,016	1,955	4,294
Ukrainian Carpathians	8,179	27,216	19,095	16,430	0,083	18,846	89,849
I. Pre-Carpathian Upland Oblast	4,678	7,863	9,406	5,162	0,043	5,835	32,987
II. Outer-Carpathian Oblast	2,193	6,172	1,914	3,797	0,010	2,302	16,388
III. Vododilno-Verkhovynska Oblast	0,285	4,754	0,735	2,499	0,005	2,002	10,280
IV. Polonynsko-Chornogirska Oblast	0,191	3,647	0,817	2,535	0,005	2,499	9,694
V. Marmaros Oblast	-	0,538	0,036	0,378	-	0,222	1,174
VI. Volcanic-Intermountain-Hollow Oblast	0,341	2,840	2,695	1,583	0,010	3,430	10,899
VII. Zakarpattia Lowland Oblast	0,491	1,402	3,492	0,476	0,010	2,556	8,427
Ukraine	394,322	182,479	619,399	58,193	6,611	134,539	1395,543

Steppe Sub-Zone (7,5%), and the Starobilsk Slope-Upland Oblast in the same sub-zone (5,7%). The least value of the potential was observed in the Marmaros Oblast belonging to the Carpathian Mountain Country Ecosystem (less than 0,1%).

The richness of ecosystems with nature resources and the size of territories of ecosystems themselves undoubtedly determine the volume of their aggregative NRP.

Major conclusions and perspectives of use of the study results. Appropriateness of the use of exchange rates of leading currencies, in particular, the US dollar to Ukrainian hryvnya as established by the National Bank of Ukraine, to indexation of the nature-resource potential of Ukraine was substantiated.

Indexation of previously estimated ecological-economic value of NRP in Ukrainian natural

regions as of 01.01.2022 was performed in 2015–2021 prices.

It was established that the NRP of the East European Plain makes over 9/10 of its total value; the Crimean Mountains account for nearly 2%; and the Ukrainian Carpathians – for 6,4% of the national value.

Among provincial ecosystems, the biggest value of the NRP was observed in the Donetsk, Podilsko-Prydniprovskyy and Left-Bank-Dnieper-Pryazovskyy krays. The Donetsk Upland Oblast possesses the most powerful NRP among all Ukrainian natural oblasts.

The perspectives of further application of the results of the NRP ecological-economic (cost) estimation lie in ecosystems analysis and synthesis of the potential of nature resources at the level of 278 primary natural rayons of Ukraine.

References

1. Мальська М., Паньків Н. Туристично-ресурсний потенціал території: підручник. К.: Видавець ФОП Піча Ю.В. 2022. 534 с.
2. Chasovschi C.E. Development of a cross-border cultural route. A quality assessment proposal. *The USV annals of economics and public administration*. 2022. 22, 2 (36). 32–43.
3. Cioban G.-L. Tourist destination – “Bucovina”. *Revista de turism-studii si cercetari in turism*. 2022. 35. p. 1–6.
4. Haubrich H. Geography education for sustainable development. / In Geographical Views on Education for Sustainable Development, *Proceedings of the Lucerne-Symposium*, Lucerne, Switzerland. 2007. 29–31 July.
5. Nedelea A.-M.. Promoting Bucovina’s Tourism Brand. *Advertising and Branding: Concepts, Methodologies, Tools and Applications*, edited by Information Resources Management Association. IGI Global. 2017. p. 1603-1620. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-1793-1.ch074>.
6. Бейдик О.О., Новосад Н.О. Унікальна Україна: географія та ресурси туризму: навч. посіб. К.: Альтерпрес. 2013. 572 с.
7. Ярьоменко С.Г. Туристичні ресурси України: навч. посіб. К.: Олді – Плюс. 2021. 472 с.
8. Щорічна індексація нормативної грошової оцінки земель. 2023. URL: <https://auc.org.ua/novyna/shchorichna-indeksaciya-normativnoyi-groshovoyi-ocinky-zemel> (дата звернення: 01.08.2023).
9. Архів валютних курсів – Курси Національного банку України. 2023. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/exchange/archive/plbi> (дата звернення: 01.08.2023).
10. Юхновський І., Лобода Г. Ціна землі. *Урядовий кур’єр*. 11 черв. 2002. № 105. С. 7.
11. Руденко В.П., Руденко С.В. Оцінка природно-ресурсного потенціалу як основа менеджменту природоохоронної діяльності: Монографія. Чернівці: Чернівецький національний університет. 2014. 248 с.
12. Голубець М. Екосистемологія. Львів: Вид-во «Поллі». 2000. 316 с.

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ СТАНУ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ ТКАНИН НАСІННЯ *ZEА MAYS L.* ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ ЗБЕРІГАННЯ

Боброва М.С.¹, Голодаєва О.А.²¹Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка
вул. Шевченка, 1, 25006, м. Кропивницький²Міжнародний європейський університет
пр. Академіка Глушкова, 42, 03187, м. Київ
kazna4eeva@gmail.com, elena.gologaeva@gmail.com

У статті розкрито вплив тривалості зберігання насіння на зміни значення показників стану прооксидантно-антиоксидантної системи. Основним маркером прооксидантної активності обрано супероксиданіонрадикал, рівень деструктивної дії якого визначали за зростанням концентрації ТБК-активних продуктів. Ензимними складовими антиоксидантної лінії захисту в дослідженні обрано супероксиддисмутази та каталазу. Маркерними неферментативними антиоксидантами обрано глутатіон та аскорбінову кислоту. Наслідки впливу прооксидантів та ступінь вільнорадикального перекисного окиснення макромолекул оцінювали за зміною активності цитохромоксидази. Тривалість експозиції складала 12 місяців, заміри показників стану прооксидантно-антиоксидантної системи проводили в тканинах зернівок *Zea mays L.*, щомісячно. Експериментально встановлено загальне зростання вмісту супероксиданіонрадикалу та малонового діальдегіду за весь дослідний період та динаміку помісячного зростання. Здійснено порівняння впливу ферментної та низькомолекулярної лінії антиоксидантного захисту, здійснено обрахунок щомісячної зміни значення її показників. Підтверджено, що відсоток зростання рівня вільнорадикального перекисного окиснення макромолекул та зменшення антиоксидантного захисту зі збільшенням терміну зберігання тканин залежить від величини стартового рівня показників стану прооксидантно-антиоксидантної системи. Виявлено періоди стрибків зростання прооксидантної активності та відповідного зниження антиоксидантного захисту, що свідчить про підвищену чутливість насіння до зміни екологічних факторів та дії стресових чинників, що слід враховувати для забезпечення оптимального терміну посадки насіння та догляду за ним. *Ключові слова:* прооксиданти, антиоксиданти, аскорбінова кислота, каталаза, глутатіон, супероксиданіонрадикал, *Zea mays L.*

Features of changes in the state of the prooxidant-antioxidant system of seed tissues *Zea mays L.*, depending on the duration of storage. Bobrova M., Holodaieva O.

The article reveals the influence of the duration of seed storage on changes in the values of indicators of the state of the pro-oxidant-antioxidant system. The superoxide anion radical was selected as the main marker of pro-oxidant activity, the level of destructive action of which was determined by the increase in the concentration of TBA-active products. Superoxide dismutase and catalase were selected as enzyme components of the antioxidant line of defense in the study. Glutathione and ascorbic acid were selected as marker non-enzymatic antioxidants. The effects of prooxidants and the degree of free radical peroxidation of macromolecules were assessed by changes in cytochrome oxidase activity. The duration of the exposure was 12 months, measurements of the indicators of the state of the pro-oxidant-antioxidant system were carried out in the tissues of *Zea mays L.* grains, monthly. The general increase in the content of superoxide anion radical and malondialdehyde over the entire experimental period and the dynamics of monthly growth were determined experimentally. A comparison of the effect of the enzymatic and low-molecular line of antioxidant protection was made, and the monthly change in the value of its indicators was calculated. It has been confirmed that the percentage of increase in the level of free radical peroxidation of macromolecules and decrease in antioxidant protection with increasing tissue storage time depends on the value of the starting level of indicators of the state of the pro-oxidant-antioxidant system. Periods of jumps in the growth of pro-oxidant activity and a corresponding decrease in antioxidant protection were revealed, which indicates the increased sensitivity of seeds to changes in environmental factors and the action of stress factors, which should be taken into account to ensure the optimal timing of seed planting and its care. *Key words:* prooxidants, antioxidants, ascorbic acid, catalase, glutathione, superoxidation radical, *Zea mays L.*

Постановка проблеми. Вміст біологічно-активних речовин в продуктах харчування залежить від терміну їх зберігання. Таким чином навіть найбільш корисні продукти, ретельно підібрані для забезпечення потреб здорового харчування можуть з часом не лише втрачати користь, а й утворювати шкідливі речовини [1, 17, 20]. Найбільш яскравим науковим

обґрунтуванням вищезокресленого є зміна стану прооксидантно-антиоксидантної системи (ПАС) організму. Так, антиоксиданти (АО) є природними протекторами нашого організму від дії стресорів різної природи [6]. Зменшення вмісту АО в організмі призводить до зростання кількості прооксидантів (ПО), представлених активними формами Оксигену

(АФО), іншими вільними радикалами та продуктами їх перетворення [14], які зумовлюють перекисне окиснення біополімерів, руйнування мембран, порушення поділу та загального метаболізму. АФО руйнують біологічно активні речовини, синтезовані нашим організмом та отримані з продуктів харчування, що спричинює зниження харчової цінності продуктів, їх метаболічної здатності, а отже і їх користі [9, 11, 16]. Саме тому проблема дослідження залежності стану ПАС від тривалості зберігання рослинної продукції має вагоме практичне значення та посилену актуальність.

Мета дослідження – виявити закономірності зміни прооксидантно-антиоксидантного балансу в тканинах насіння *Zea mays L.*, залежно від термінів зберігання рослинної продукції.

Актуальність дослідження. Кукурудза є однією з основних сільськогосподарських культур в Україні протягом принаймні останнього десятиліття, що має широке коло застосування в різноманітних галузях промисловості. Для дієтологів, прихильників здорового способу життя та правильного харчування слід обов'язково враховувати термін зберігання рослинної продукції при плануванні харчового раціону, адже рослинна продукція, що піддавалася тривалому зберіганню може містити зовсім низький базовий рівень АО, або не містити їх взагалі. Порушення балансу прооксидантно-антиоксидантної системи (ПАС) в тканинах насіння призводить до зменшення його схожості, що у свою чергу веде до зайвих витрат при закупівлі насіння, нераціонального використання посівних площ та екстенсивного господарювання [3]. Все вищеокреслене посилює актуальність теми дослідження та її вагоме практичне значення для широкого кола читачів і споживачів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Основними завданнями проведеного дослідження стали:

1) дослідити зміну вмісту ферментних АО в тканинах насіння *Zea mays L.*, залежно від терміну зберігання;

2) виявити зміну вмісту низькомолекулярних АО в тканинах насіння *Zea mays L.*, залежно від терміну зберігання;

3) експериментально підтвердити зміну вмісту ПО в тканинах насіння *Zea mays L.*, залежно від терміну зберігання;

4) встановити зміну вмісту продуктів вільнорадикального перекисного окиснення (ВРПО) мембран в тканинах насіння *Zea mays L.*, залежно від терміну зберігання;

5) дослідити зміну активності маркерів ВРПО мембран в тканинах насіння *Zea mays L.*, залежно від терміну зберігання;

6) прослідкувати зміну балансу ланок прооксидантно-антиоксидантної системи (ПАС) в тканинах насіння *Zea mays L.*, залежно від терміну зберігання рослинної продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення ролі окремих компонентів ПАС проводили ряд передових вчених [2, 7, 8, 12, 13]. Наймасштабнішою біохімічною школою, що регулярно працює в даному напрямку є школа Ніколаса Смірнова [17, 18]. В Україні в даному напрямку результати численних досліджень описані в роботах О.П. Дмитрієва, З.М. Кравчука, Ю.Т. Дьякова, Ю.Є. Колупасва, Ю.В. Карпеця, В.А. Костюка, М.Н. Мерзляка, О.І. Цебржинського [4, 5, 9, 10]. Основними ферментними АО є супероксиддисмутаза (СОД) та каталаза [2, 13], низькомолекулярними – аскорбінова кислота (АК) та глутатіон (GSH) [7, 15]. На думку ряду вчених [5, 6, 9] першим ПО, який виникає в рослинній клітині як побічний продукт фотосинтезу є синглетний кисень, що перетворюється на супероксиданіонрадикал ($\bullet\text{O}_2^-$). Мішенню $\bullet\text{O}_2^-$ є клітинні мембрани, результатом ВРПО яких є утворення малонового діальдегіду (МДА) та інших ТБК-активних продуктів [12, 16, 18]. Маркером пошкодження мембран є зміна активності цитохромоксидази, значення якої розкрито в працях Wikström [19].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Недостатньо висвітленим залишається питання збереження кількісного і якісного вмісту біологічно-активних речовин у складі насіння рослинної продукції, що піддавалася різній тривалості зберігання, що відображається на перспективі та доцільності її подальшого використання в посівних цілях та при плануванні збалансованого харчування.

Новизна. У роботі вперше виявлена залежність між тривалістю зберігання насіння *Zea mays L.*, та зміною рівня генерації супероксиду, вмісту МДА, АК, GSH, активності СОД, каталази та цитохромоксидази.

Методологічне або загальнонаукове значення. В результаті проведеної роботи виявлено найбільш стабільні та лабільні до тривалості зберігання показники стану ПАС, а також часові рамки, на які припадають піки змін значення показників стану ПАС насіння. Результати, отримані при виконанні роботи, використовуються в наукових дослідженнях кафедри фундаментальних та медико-профілактичних дисциплін Міжнародного Європейського університету, а також кафедри природничих наук і методик їхнього навчання Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом експериментальних досліджень стали тканини насіння *Zea mays L.* Дослідний матеріал не піддавали дії попередньої термічної обробки та замочування. Гомогенізацію тканин здійснювали механічним шляхом. Кожна дослідна група включала 10 проб.

Методи дослідження. Для кількісного визначення зміни значення показників стану ПАС використовували загальноприйняті класичні методики,

детально описані в наших попередніх роботах [3, 4]. Так, базовий рівень генерації $\bullet\text{O}_2^-$ визначали за допомогою спектрофотометричного тесту відновлення нітросинього тетразолію (НСТ-тесту), для визначення вмісту ТБК-активних продуктів використовували прооксидантний ферум-аскорбінатний буфер та фотометрію. Для оцінки зміни активності СОД визначали відсоток гальмування окислення $\bullet\text{O}_2^-$ адреналіну в адренохром, каталазу визначали титруванням розчином калій перманганату. Титриметрією за Тільмансом визначали вміст АК, концентрацію GSH – за методом Елмана. Активність цитохромоксидази визначали спектрофотометрично. Біохімічні показники вимірювали щомісяця протягом 1 року. Повторність вимірів кожного показника стану ПАС десятикратна.

Результати. Для більшого унаочнення цифрових даних та зручності обрахунку наводимо експериментально встановлений нами базовий рівень ПО та АО в тканинах насіння *Zea mays L.* (табл. 1).

Всі подальші зміни значення показників обраховувалися у відсотках від базового рівня, що дозволило нам представити їх разом на комплексній діаграмі (рис.1). Аналізуючи одержані результати можна стверджувати, що зі збільшенням терміну зберігання до 12 місяців в тканинах насіння *Zea mays L.*, зростає концентрація супероксиданіон-радикалу. Середній показник в кінці експозиції склав 115%, середня швидкість зростання 9,6% на місяць. Щомісячна швидкість зростання вмісту ТБК-активних продуктів також висока (8,1%), що загалом призвело до різниці лише на 97% від початкового рівня.

Середній показник зниження активності каталази в кінці експозиції складає 26%, СОД – 17% від початкового рівня. Середня щомісячна швидкість зменшення активності СОД (6,9%) більша ніж каталази (6,2%), що може свідчити про компенсаторну протекторну роль інших пероксидаз.

Зі збільшенням терміну зберігання концентрація низькомолекулярних антиоксидантів в тканинах насіння *Zea mays L.*, зменшується. Середній показник в кінці експозиції для АК складає 14%, для GSH – 66% від початкового рівня. Середня щомісячна швидкість спадання склала 7,2% для АК та 2,8% для GSH, що підкреслює першочергове значення глютатіону в метаболічних та протекторних процесах.

Порівнюючи ферментну і низькомолекулярну ланку АО захисту звертає увагу переважання останньої, що можливо пояснюється значним різноманіттям та кількісним вмістом мікроелементів, а також протекторною роллю каротинів у складі тканин насіння *Zea mays L.*

Активність цитохромоксидази в тканинах насіння *Zea mays L.*, за час експерименту зменшилась середньому до 70% від початкового рівня (середня швидкість спадання активності 2,5% на місяць), що свідчить про низький вплив ПО ланки на макромолекули та мембрани клітини і пояснюється потужністю АО ланки. Аналізуючи графік зміни значення показників стану ПАС, наведений на рис. 1, можна стверджувати, що стрибок зростання ПО активності та відповідного зниження АО активності припадає на 7-8 місяці зберігання, що свідчить про підвищену чутливість насіння до зміни екологічних факторів та дії стресових чинників. Це треба обов'язково враховувати для забезпечення оптимального терміну посадки насіння та догляду за ним.

Головні висновки: 1) Зі збільшенням терміну зберігання активність ферментних антиоксидантів в тканинах насіння *Zea mays L.*, падає. Середній показник в кінці експозиції для каталази складає 26%, для СОД – 17% від початкового рівня.

2) Зі збільшенням терміну зберігання концентрація низькомолекулярних антиоксидантів в тканинах насіння *Zea mays L.*, зменшується. Середній показник в кінці експозиції для АК складає 14%, для GSH – 66% від початкового рівня.

Таблиця 1

Базовий рівень значення показників стану ПАС в тканинах насіння *Zea mays L.*

Показник стану ПАС	Значення
Показники прооксидантної активності	
НСТ тест (фоновий рівень), нмоль $\bullet\text{O}_2^-$ /г \cdot с	1,273 \pm 0,015
Δ ТВАар, %	111,83 \pm 5,19
Рівень ВРПО пошкодження	
Активність цитохромоксидази, ОД	0,159 \pm 0,008
Ферментні антиоксиданти	
Активність каталази, $\frac{\text{МКМОЛЬ}}{\text{КГ}\cdot\text{ХВ}}$	0,09 \pm 0,01
Активність СОД, ОД	0,19 \pm 0,01
Низькомолекулярні антиоксиданти	
Концентрація АК, $\frac{\text{ММОЛЬ}}{\text{КГ}}$	0,085 \pm 0,02
Концентрація GSH, $\frac{\text{ММОЛЬ}}{\text{КГ}}$	37,16 \pm 0,99

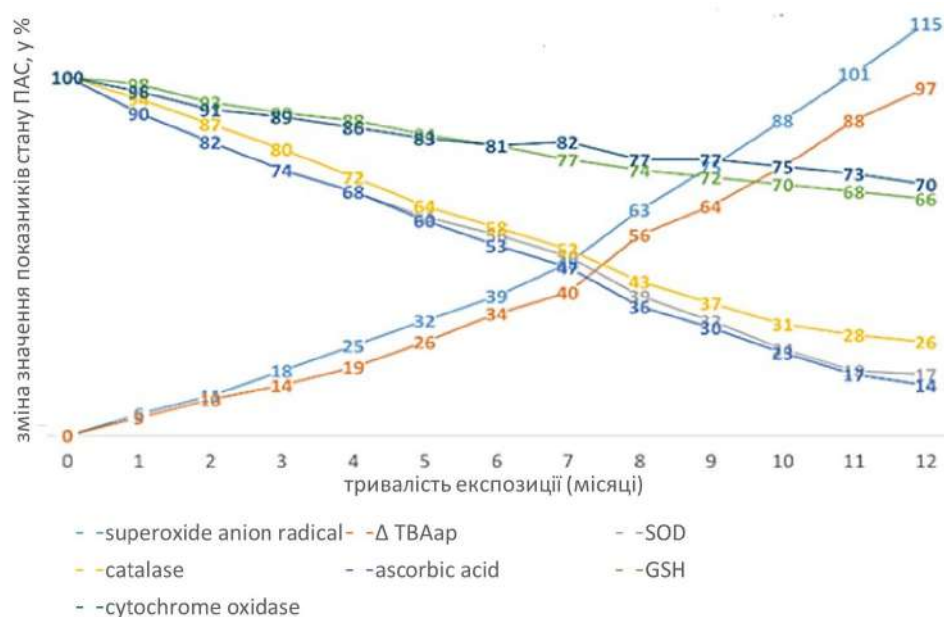


Рис. 1. Вплив терміну зберігання на зміну значення показників стану ПАС в тканинах насіння *Zea mays L.*

3) Зростання вмісту супероксиданіонрадикалу в тканинах насіння *Zea mays L.*, зі збільшенням терміну зберігання до 12 місяців в середньому складає 115%.

4) Концентрація ТБК-активних продуктів в тканинах насіння дослідних рослин за 12 місяців зберігання зросла в середньому на 97%.

5) Активність цитохромоксидази в тканинах насіння *Zea mays L.*, за час експерименту зменшилась в середньому до 70%.

6) Відсоток зростання рівня ВРПО та зменшення АО захисту зі збільшенням терміну зберігання тканин залежить від величини стартового рівня показників стану ПАС.

7) Характерним для тканин насіння *Zea mays L.*, є стрибок зростання ПО активності та відповід-

ного зниження АО активності, який припадає на 7–8 місяці зберігання, що свідчить про підвищену чутливість насіння до зміни екологічних факторів та дії стресових чинників, що слід враховувати для забезпечення оптимального терміну посадки насіння та догляду за ним.

Перспективи використання результатів дослідження. Оптимізація терміну посадки насіння та догляду за ним залежно від піків ПО та АО активності є перспективним та економічно обґрунтованим напрямком інтенсифікації сільського господарства. Розуміння біохімічних механізмів зміни стану ПАС відкриває перспективу використання цих важелів для регуляції метаболізму та адаптації рослин до змінних умов існування.

Література

- Baiano A., del Nobile M.A. Antioxidant compounds from vegetable matrices: Biosynthesis, occurrence, and extraction systems. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2015. № 56. P. 2053–2068.
- Berwal M.K., Ram C. Superoxide Dismutase: A stable biochemical marker for abiotic stress tolerance in higher plants. 2018. *Open access peer-reviewed chapter*. DOI: 10.5772/intechopen.82079
- Bobrova M., Holodaieva O., Koval S., Kucher O., Tsviakh O. Features of changes in prooxidant- antioxidant balance of tissues during activation of seed germination. *Journal of the University of Zulia.* 2022. № 13(37). P. 362–382.
- Bobrova, M., Holodaieva O., Koval S., Kucher O., Tsviakh O. The effect of hypothermia on the state of the prooxidant-antioxidant system of plants. *Revista de la Universidad del Zulia.* № 33. 2021. P. 82–101.
- Дмітрієв О.П., Кравчук З.М. Активні форми кисню та імунітет рослин. *Цитологія і генетика.* 2005. № 39 (4). С 64–75.
- Gill, S. S., Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol. Biochem.* 2010. № 48. P. 909–930.
- Hasanuzzaman M., Nahar K., Anee T.I., Fujita M. Glutathione in plants: Biosynthesis and physiological role in environmental stress tolerance. *PMBP.* 2017. № 23. P. 249–268.
- Janků M, Luhová L, Petřivalský M. On the Origin and Fate of Reactive Oxygen Species in Plant Cell Compartments. *Antioxidants (Basel).* 2019. № 8(4). P. 105.
- Колупасв Ю. С., Мусатенко Л. І., Косаківська І. В., Карпець Ю. В. Вплив саліцилової кислоти і фітогормонів на теплостійкість сім'ядолей *Cucumis sativus L.* у зв'язку зі зрушенням прооксидантно-антиоксидантної рівноваги. *Укр. ботан. журн.* 2006. № 6. С. 837–844.

10. Колупасв Ю.Є., Карпець Ю.В., Мусатенко Л.І. Участь активних форм кисню в індукуванні солестійкості проростків пшениці саліциловою кислотою. *Доповіді Національної академії наук України*. 2007. № 6. С. 154–158.
11. Marrocco I, Altieri F, Peluso I. Measurement and Clinical Significance of Biomarkers of Oxidative Stress in Humans. *Oxid Med Cell Longev*. 2017. 6501046. doi: 10.1155/2017/6501046
12. Morales M, Munné-Bosch S. Malondialdehyde: Facts and Artifacts. *Plant physiology*. 2019. № 180(3). P. 1246–1250.
13. Nandi A., Liang-Jun Y., Jana C.K., Dascorresponding N. Role of Catalase in Oxidative Stress- and Age-Associated Degenerative Diseases. *Oxid Med Cell Longev*. 2019. 9613090. doi: 10.1155/2019/9613090
14. Pacheco J. H. L., M. A. Carballo, and M. E. Gonsebatt. “Antioxidants against environmental factor-induced oxidative stress” in Nutritional Antioxidant Therapies. *Treatments and Perspectives*. 2018. № 8. P. 189–215.
15. Paciolla C.; Fortunato, S.; Dipierro, N.; Paradiso, A.; De Leonardis S. (2019). Vitamin C in Plants: From Functions to Biofortification. *Antioxidants*. 2019. № 8(11). P. 519.
16. Rampon C., Volovitch M., Joliot A., Vrız S. Hydrogen Peroxide and Redox Regulation of Developments. *Antioxidants*. 2018. № 7. P. 159.
17. Smirnoff N. Antioxidants and reactive oxygen species in plants. NY: *Blackwell Publishing*, 2005. 320 p.
18. Smirnoff N., Arnaud D. Hydrogen peroxide metabolism and functions in plants. *New Phytol*. 2019. № 22. P. 1197–1214.
19. Wikström M., Krab K., Sharma V. Oxygen activation and energy conservation by cytochrome c oxidase. *Chem. Rev*. 2018. № 118. P. 2469–2490.
20. Xu, D.-P.; Li, Y.; Meng, X.; Zhou, T.; Zhou, Y.; Zheng, J.; Zhang, J.-J.; Li, H.-B. Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources. *Int. J. Mol. Sci*. 2017. № 18. P. 96.

UDC 664.7:666.123.4(477.4)(292.485)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.15>

INTENSITY OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF FODDER GRAIN OBTAINED IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT BANK FOREST STEPPE

Vradii O.

Vinnytsia National Agrarian University
Sonyachna str., 3, 21008, Vinnytsia
oksanavradii@gmail.com

In the conditions of technogenic load on the environment, one of the priority areas is the monitoring of heavy metals in the trophic chain: «soil → plant (feed) → animal → product → human». In order to prevent poisoning of agricultural animals with heavy metals, it is recommended to systematically monitor the presence of toxic metals in the feed ration. Of particular concern is the production of poultry meat at home, where it has free access to natural minerals, most of which contain heavy metals and other toxicants. Based on this, there is a need for constant monitoring of the contamination of the fodder base of poultry kept at home and the use of control measures to increase the safety of domestic products. The content of heavy metals in meat is one of the most important sanitary indicators of its safety in conditions of contamination of feed with heavy metals. To improve the sanitary safety of poultry products by the level of cadmium and lead. For the correct organization of poultry feeding, it is necessary to take into account, first of all, the nutritional value of feed and its quality. The basis of the ration of agricultural poultry is grain feed (55–80% of the ration), which is part of compound feed. In order to control feed safety, it is necessary to conduct monitoring at all stages of production: starting with the production of raw materials and components, their further processing, storage, transportation and before use. A soil sample taken in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine was studied and analyzed, and an excess of the MPC in it and vegetative mass for cadmium by 1.28 and 1.5 times, respectively, barley, corn and sunflower meal. At the same time, exceedances of maximum permissible concentrations were investigated. In particular, in wheat grain, which, among the concentrated feeds of poultry kept at home, makes up 55% on average, an excess of cadmium and copper was found by 2.1 times and 2.0 times, respectively. An excess of the maximum permissible concentrations by 3.0 times was also observed in sunflower meal. The lowest level of heavy metals such as lead, cadmium, zinc and copper was observed in corn grain. *Key words:* soil, fodder grain, heavy metals, coefficient of danger.

Інтенсивність забруднення важкими металами фуражного зерна отриманого в умовах Лісостепу Правобережного. Врадїї О.І.

В умовах техногенного навантаження на довкілля одним з пріоритетних напрямків є моніторинг важких металів у трофічному ланцюгу: «грунт → рослина (корм) → тварина → продукція → людина». З метою попередження отруєнь сільськогосподарських тварин важкими металами рекомендується систематично проводити контроль за наявністю токсичних металів у кормовому раціоні. Особливе занепокоєння викликає виробництво м'яса птиці в домашніх умовах, де вона має вільний доступ до природних мінералів, більшість з яких містить важкі метали та інші токсиканти. Виходячи з цього, виникає необхідність постійного моніторингу зараженості кормової бази птиці, що утримується в домашніх умовах, та застосування заходів контролю для підвищення безпеки вітчизняної продукції. Вміст важких металів у м'ясі є одним із найважливіших санітарних показників його безпеки в умовах забруднення кормів важкими металами та підвищення санітарної безпеки продукції птахівництва за вмістом кадмію та свинцю. Для правильної організації годівлі птиці необхідно враховувати, перш за все, поживність корму та його якість. Основу раціону сільськогосподарської птиці складають зернові корми (55–80% раціону), які входять до складу комбікормів. Для контролю безпечності кормів необхідно проводити моніторинг на всіх етапах виробництва: починаючи з виробництва сировини та компонентів, їх подальшої обробки, зберігання, транспортування і до використання. Досліджено та проаналізовано проби ґрунту, відібраних в умовах Правобережного Лісостепу України, виявлено перевищення ГДК у ґрунті та вегетативній масі по кадмію у 1,28 та 1,5 раз відповідно у зерні ячменю, кукурудзи та соняшникового шроту. При цьому досліджувалися перевищення гранично допустимих концентрацій. Зокрема, у зерні пшениці, яке являється концентрованим кормом птиці, що утримується в домашніх умовах і становить у середньому 55%, виявлено перевищення вмісту кадмію у 2,1 та міді у 2,0 рази відповідно. Перевищення гранично допустимих концентрацій у 3,0 рази виявлено також у соняшниковому шроті. Найменший вміст важких металів, таких як свинець, кадмій, цинк і мідь, спостерігався в зерні кукурудзи. *Ключові слова:* ґрунт, фуражне зерно, важкі метали, коефіцієнт небезпеки.

Formulation of the problem. The man-made activity of the population has led to the pollution of the natural environment with various toxicants, including heavy metals, which move along the trophic chains from the soil to the plants, significantly affecting the quality of the harvest. A particular problem is the growing intensity of pollution of agricultural soils due to the high level of chemicalization in the field of crop production. As a result, heavy metals are introduced into the soil every

year, creating certain problems regarding the quality of crop production [2, 33].

Currently, a powerful source of heavy metal contamination of agricultural soils is mineral fertilizers and means of combating weeds and plant pests, which are used in agriculture. About 130 million tons of fertilizers are applied to the soil every year, including more than 70 million tons of nitrogen, 39 million tons of phosphorus, and 26 million tons of potassium fertilizers

[3, 32]. The use of organic fertilizers in crop production also pollutes the soil with heavy metals [4, 10] In particular, about 25 g of zinc, 4 g of copper and 0.3 g of cobalt enter the soil with one ton of litter manure. It is known that one kilogram of dry mass of organic fertilizers contains lead – 6.6–16 mg, zinc 15–250, copper – 2–60, cadmium – 0.3–0.8, manganese – 30–550, nickel – 7.8–30 milligrams [7, 8].

Having migration properties, heavy metals pollute all components of the biosphere, namely: soil, water, and air [9, 12]. In terms of toxicity, metals rank second after pesticides. They rank first in the volume of emissions into the natural environment. Such metals as lead, cadmium, mercury are extremely toxic to humans and animals even in very small concentrations. Some of these elements play an important role, increasing the biological activity of enzymes, hormones and vitamins. It should be noted that lead is characterized by low migration properties. Lead can accumulate in the soil in high concentrations. This element is classified as a particularly dangerous pollutant due to its toxicity and the intensity of its entry into the environment.

The connection of the author's work with important scientific and practical tasks. It is known that the average lead content in agricultural soils can reach up to 10 mg/kg. Lead in agricultural soils is unevenly distributed: up to 57–74% of this element remains in the 0–10 cm layer and from 3 to 8% – at a depth of 30–40 cm [14]. Cadmium is a highly toxic chemical element. Solubility and migration of cadmium in soils depends on their active acidity. In particular, it has the greatest mobility in acidic soils in the range of 4.5–5.5, while it is not mobile in alkaline soils. Cadmium intensively migrates from the soil through the root system into plants and their products [11, 16]. The concentration of cadmium in terms of dry matter in plants is $1 \cdot 10^{-4}\%$. The average content of cadmium in the dry matter for cereal grain ranges from 0.013 to 0.22 mg/kg, in legumes – 0.08–0.28, in herbs – 0.07–0.27 mg/kg [17].

Copper is classified as a moderately toxic element. It is widely used, in particular, in mechanical engineering, the chemical industry, and other branches of the national economy. In agriculture, a number of preparations containing copper compounds are used, for example, fungicides, anti-helminths, etc. Unlike other studied metals, copper is considered an element necessary for life, as it is a component of the active groups of many enzymes [15, 30]. Copper performs a number of functions in the body, namely: participates in hematopoiesis, promotes the transformation of iron into an organically bound form, which in turn enhances the synthesis of hemoglobin, participates in carbohydrate and mineral metabolism.

Analysis of recent research and publications. Among the heavy metals, cadmium and zinc are more available elements for plants compared to lead, chromium and mercury. Zinc is necessary for crop formation,

but in high concentrations it acts as a toxicant, which negatively affects living organisms [29]. The soil is a sorption barrier of heavy metals, especially its humus layer. It was found that high-buffer carbonate horizons fix about 99% of heavy metals that fell in a layer of 10–20 cm. In weakly acidic soils, migration can occur to a depth of 40 cm. In low-buffer soils, the penetration of heavy metals is observed up to 60–80 cm. In general, it was established, that horizontal migration occurs 3–4 times more intensively than vertical migration [28].

The increased content of heavy metals in the soil contributes to their intensive migration into plants [18]. It is known that the concentration of heavy metals in a plant can be tens or even hundreds of times higher than their concentration in the soil. The main factors that affect the migration of heavy metals from the soil to plants include: the amount of organic matter, the mechanical composition of the soil, acidity and the content of phosphorous substances in it [27].

Acidic soils have a lower ability to retain metals than neutral ones [19], although the main sorption of heavy metals is observed in an alkaline environment. The influence of strong dissociations of substances formed during the interaction of the components of chemical production emissions with atmospheric moisture, causes a change in the pH of the soil solution, negatively affects the soil absorption complex, the buffering capacity of soils. Due to the insufficient amount of moisture, neutral reaction, oxidizing conditions, stability of humus, the mobility of metals is limited, which determines their accumulation in the upper root humus horizon of soils [26].

The use of such grain as fodder contributes to the accumulation of heavy metals in the body of animals, including birds, which is accompanied by contamination of the products produced from them [20]. The population's consumption of livestock products contaminated with heavy metals causes a number of disorders, accompanied by the occurrence of various diseases [25]. It has been proven that in the conditions of zinc smelters and in the areas of lead and zinc ore development and shale deposits, the transfer of heavy metals into livestock products with feed is 16 times higher, compared to a conditionally clean area [21].

A previously unsolved part of the overall problem. Feed raw materials play a leading role in the poultry food chain, and up to 95% of heavy metals enter the poultry body mainly through the trophic chain, in particular, with feed and water [24]. The most resistant to heavy metals among agricultural plants are winter rye, winter wheat, oats and barley. Rye adapts better to heavy metals, and barley the least [22].

In order to reduce the migration of heavy metals through food chains, a number of measures are being introduced to reduce their mobility in the soil and reduce their accumulation in agricultural products (Baggio et al., 2016). Maize has a pronounced resistance to heavy metals, which allows effective use of territories

contaminated by these substances without removing them from agricultural use. A positive relationship between the accumulation of heavy metals in corn grain and the amount of protein was revealed, with correlation coefficients for lead of 0.95, cadmium – 0.88, and zinc – 0.77 [1].

In order to control the entry of toxic metals in Ukraine, the Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food No. 131 dated 19.03.2012 approved the “List of maximum permissible levels of undesirable substances in fodder and feed raw materials for animals”, which regulates the content of feed and feed raw materials for animals heavy metals, mycotoxins, toxins of various origins. Summarizing the analysis of primary sources, it should be noted that in modern conditions of man-made load on the soils of agricultural lands, there is a need for constant monitoring of the migration of heavy metals in the soil-plant-human organism system in order to predict their movement in natural systems and the high level of risk from these toxicants.

Research results. The analysis of the intensity of pollution of agricultural land within the limits of local man-made load (Fig. 1) showed that the concentration of cadmium in the soil was 1.28 times higher compared to the MPC, while that of lead, zinc, and copper was 1.2 times lower, 4.6 and 9.5 times, respectively.

The highest content of heavy metals in arable land soils was Pb, compared to Cd, Zn, and Cu by 2.7, 3.8 and 1.0 times, respectively.

The results of studies on the intensity of heavy metal contamination of feed raw materials for poultry (Table 1) showed that the concentration of lead, cadmium, copper and zinc in corn grain was lower, compared to the MPC, by 7.1, 30.0, 44.0 respectively. 2.0 and 600.0 times, in wheat grain the concentration of lead, copper and zinc was lower than the MPC by 1.2, 4.2 and 1.9 times, respectively, while cadmium exceeded the MPC by 2.1 times. In oat and barley grains, the concentration of lead, cadmium, copper, and zinc was 16.7, 11.5, 19.2, and 66.0 times lower than the MPC, respectively. In sunflower meal, it was found that the content of lead, zinc, and copper was 1.25, 7.0, and 30.3 times lower, respectively, and cadmium was 3.0 times higher compared to the MPC.

Compared to the MPC, the highest intensity of contamination of feed raw materials of the poultry diet was observed in wheat grain. Thus, in wheat grain, lead, cadmium, zinc and copper were 5.7, 21.0, 239.4 and 22.6 times higher compared to similar raw materials of corn, oats – by 4.4, 12.3, 5.1 and 1.9 times, barley – 1.3, 8.0, 2.6 and 2.3 times, respectively (Fig. 2).

Compared to wheat, sunflower meal had 12.0 times lower zinc content, 3.6 times more copper, and 1.4 times more cadmium.

Analyzing the coefficient of danger of heavy metals in fodder grain (Table 2), it should be noted that this indicator was the highest for lead in wheat grain and sunflower meal. Specifically, compared to corn, oat, and

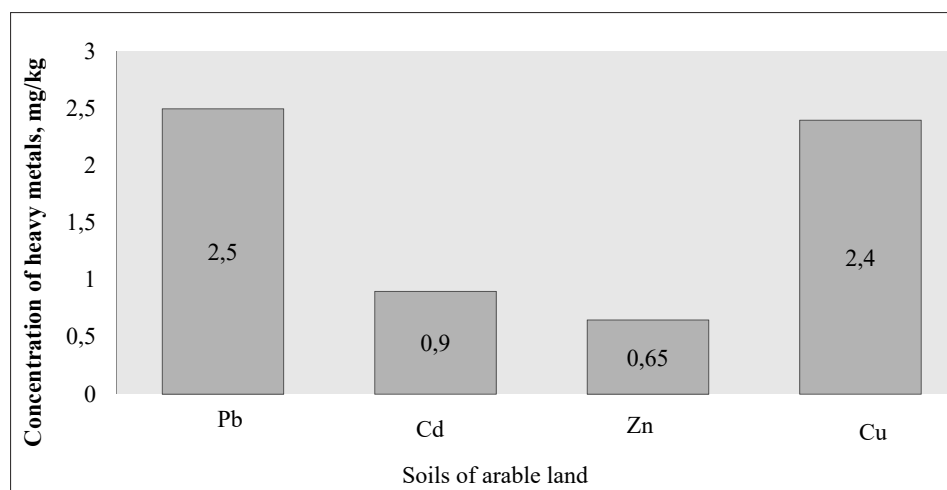


Fig. 1. Intensity of heavy metal contamination of arable land soils

Table 1

Concentration of heavy metals in fodder grain, mg/kg ($\bar{x} \pm SE$, n = 4)

Components of poultry diet	Pb	MPC	Cd	MPC	Cu	MPC	Zn	MPC
Corn	0.07 ± 0.04	5.0	0.01 ± 0.02	0.3	0.05 ± 0.03	30.0	1.13 ± 0.02	50.0
Wheat	0.41 ± 0.01	0.5	0.21 ± 0.03	0.1	11.97 ± 0.04	30.0	25.61 ± 0.03	50.0
Oat	0.09 ± 0.01	5.0	0.01 ± 0.02	0.3	2.34 ± 0.05	30.0	13.12 ± 0.01	50.0
Barley	0.33 ± 0.03	5.0	0.02 ± 0.02	0.3	4.53 ± 0.01	30.0	11.32 ± 0.03	50.0
Sunflower meal	0.42 ± 0.02	0.5	0.32 ± 0.03	0.1	0.99 ± 0.03	30.0	7.12 ± 0.02	50.0

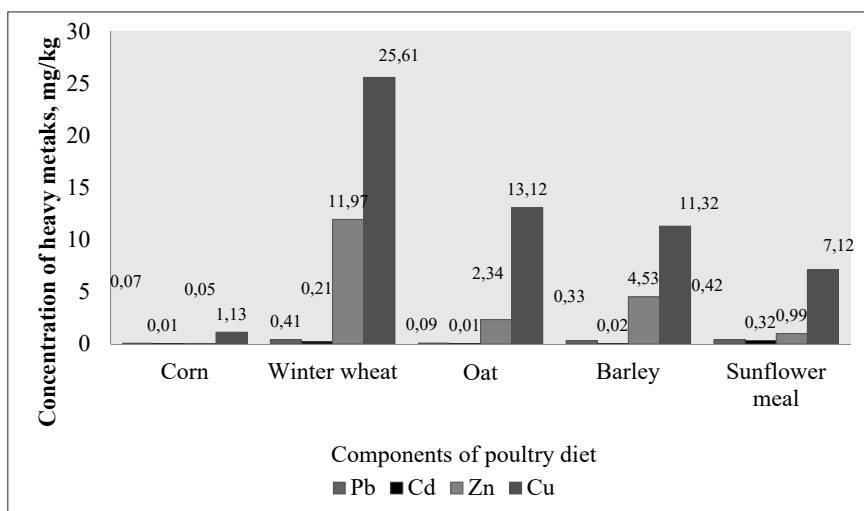


Fig. 2. Comparative characteristics of the intensity of fodder grain contamination, mg/kg

Table 2

The coefficient of danger of heavy metals in feed

Components of poultry diet	% in the diet	Pb	Cd	Zn	Cu
Corn	30	0.014	0.01	0.05	1.13
Wheat	55	0.8	0.21	11.97	25.60
Oat	5	0.018	0.017	2.34	13.12
Barley	5	0.06	0.026	4.53	11.30
Sunflower meal	5	0.8	0.3	0.99	7.12

barley grains, the hazard ratio of lead in wheat and sunflower meal was 5.7, 44.4, and 13.3 times higher, respectively. The highest hazard ratio of cadmium in fodder grain was found in sunflower meal, which was 0.3 mg/kg.

Compared to corn, wheat, oat, and barley grains, the hazard ratio of cadmium in sunflower meal was 30.0 times higher, 1.4, 17.6, and 11.5 times, respectively. The highest zinc hazard ratio was in wheat grain compared to corn grain, oat, barley, and sunflower meal at 239.4 times, 5.1, 2.6, and 12.1 times, respectively. The copper hazard ratio was 22.6 times highest in corn grain, 1.9 times in oats, 2.3 times in barley, and 3.6 times in sunflower meal compared to wheat grain.

That is, in the study areas of the Right Bank Forest Steppe, an excess of heavy metals in fodder grain was detected for cadmium in wheat grain and sunflower meal. At the same time, it should be noted that wheat and sunflower meal are characterized by a high content of lead, although without exceeding the maximum permissible limit.

Main conclusions. In the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, there is a 1.28- and 1.5-fold excess of the MPC in soil and vegetative mass for cadmium, respectively.

In the fodder grain of the diet of poultry in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, an excess of the MPC was found in poultry grain for cadmium and copper by 2.1 times and 2.0 times, respectively, and in sunflower meal for cadmium by 3.0 times.

In the conditions of agricultural lands of gray forest soils with soil content of Pb – 2.5 mg/kg, Cd – 0.9 mg/kg, Zn – 0.65 mg/kg and Cu – 2.4 mg/kg in the produced fodder grain exceeding the MPC of these toxicants was not observed, except for Cd in poultry grain and sunflower meal. The highest content of Pb, Cd, Zn, and Cu was found in fodder grain of winter wheat.

The discussions in this paper. Man-made pollution of the environment with harmful substances, especially agricultural soils, to one degree or another can affect the safety of feed raw materials for poultry, the level of which depends on the efficiency of its use in poultry farming. It is known that in technogenically polluted territories, a certain part of heavy metals is translocated in plants and their products, in particular, grain, which occupies the main part of the diet of poultry.

Contamination of poultry feed with heavy metals on its free access to soil minerals creates a danger of obtaining high-quality poultry products.

References

- Aloud S.S., Alotaibi K.D., Almutairi K.F., Albarakah F.N. Assessment of heavy metals accumulation in soil and native plants in an industrial environment, Saudi Arabia. Sustainability. 2022. Vol. 14. P. 1–15. DOI: 10.3390/su14105993.

2. Alengebawy A., Abdelkhalik S. T., Qureshi S. R., Wang M. Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. *Toxics*. 2021. Vol. 9(3). P. 42–48. DOI: 10.3390/toxics9030042/
3. Baggio S.R., Vicente E., Bragagnolo N. Cholesterol oxides, cholesterol, total lipid and fatty acid composition in turkey meat. *Journal of Agricultural and food chemistry*. 2002. Vol. 50. P. 5981–5986.
4. Бойко В.І. *Зерно і ринок: монографія*. К.: ННЦ ІАЕ, 2007. 312 с.
5. Balabanova B., Stafilov T., Baceva K. Bioavailability and bioaccumulation characterization of essential and heavy metals contents in *R. acetosa*, *S. oleracea* and *U. dioica* from copper polluted and referent areas. *Journal of Environmental Health Science Engineering*, 2015. Vol. 13(1). P. 114–121. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0159-1>.
6. Bigalke M., Ulrich A., Rehmus A., Keller A. Accumulation of cadmium and uranium in arable soils in Switzerland. *Environmental Pollution*. 2017. Vol. 221. P. 85–93. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.11.035.
7. Caldas D., Pestana I.A., Almeida M.G., Henry F.C. Risk of ingesting As, Cd, and Pb in animal products in north Rio de Janeiro state, Brazil. *Chemosphere*. 2016. Vol. 164. P. 508–515. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.08.130.
8. Chen F., Muhammad F.G., Khan Z.I., Ahmad K. Ecological risk assessment of heavy metal chromium in a contaminated pastureland area in the Central Punjab. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 11(2). P. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15904-0>.
9. Chen F., Muhammad F.G., Khan Z.I., Ahmad K. Bioaccumulation and transfer of zinc in soil plant and animal system: a health risk assessment for the grazing animals. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 17(4). P. 14–22. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15808-z>
10. Gadzhiev R. Sh. Indicators of Soil-Ecological Monitoring in Intensive Agriculture Area Biogeosyst. *Technique*. 2016. Vol. 10(4). P. 50–68. DOI: 10.13187/bgt.2016.10.250
11. Gosset T., Trancart J., Thevenot D.R. Batch metal removal by peat. *Kinetics and thermodynamics*. 2016. Vol. 20(1). P. 21–26. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(86\)90209-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(86)90209-5)
12. Герасименко В.Г., Бойко В.С. Ефективність згодовування сапонітового борошна молодняку свиней. Ефективне птахівництво та тваринництво. 2003. № 4. С. 34–35.
13. Hetmanska B., Tomasik P. The metal interactions in biological systems. *Water, air and Soil Pollution*. 1994. Vol. (74). P. 281–288.
14. Horckmans L.R., Deckers J.S. Geochemical and mineralogical study of a site severely polluted with heavy metals (Maattheide, Lommel, Belgium). *Environmental Geology*. 2006. Vol. 50. P. 725–742. DOI: 10.1007/s00254-006-0245-x.
15. Hussain M.I., Khan Z.I., Naem M., Ahmad K. Blood, hair and feces as an indicator of environmental exposure of sheep, cow and buffalo to cobalt: a health risk perspectives. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. P. 77–83. <https://doi.org/10.3390/su13147873>
16. Янчева М.О., Пешук Л.В., Дроменко О.Б. *Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса та м'ясопродуктів*. К.: Центр учбової літератури. 2009. 304 с.
17. Ismael M.A., Elyamine A.M., Moussa M.G., Cai M. Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics*. 2019. Vol. 11. P. 255–277. DOI: 10.1039/C8MT00247A
18. Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*. 2018. Vol. 7(2). P. 60–72. DOI: 10.2478/intox-2014-0009
19. Кабаченко О.С. Інтенсивність забруднення фуражної кормової сировини важкими металами в зоні інтенсивного землеробства. Сільське господарство та лісівництво. 2017. №7. Т. 2. С.130–137.
20. Khan M.J., Jones D.L. Effect of Composts, Lime and Diammonium Phosphate on the Phytoavailability of Heavy Metals in a Copper. *Mine Tailing Soil Pedosphere*. 2019. Vol. 19(5). P. 631–41. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(09\)60158-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(09)60158-2).
21. Korobova E.M. Combined assessment of the ecological and geochemical state of anthropogenically impacted areas. *Geochemical International*. 2017. Vol. 55(10). P. 861–871. DOI: 10.1134/S0016702917100068
22. Low K.S., Lee C.K., Liew S.C. Sorption of cadmium and lead from aqueous solutions by spent grain. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 68(2). P. 205–208. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00177-1](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00177-1)
23. Miclean M., Cadar O., Levei E. A., Roman R., Ozunu A. Metal (Pb, Cu, Cd, and Zn) transfer along food chain and health risk assessment through raw milk consumption from free-range cows. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16(21). P. 40–64. DOI: 10.3390/ijerph16214064
24. Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Chaplygin V. A. Accumulation of Heavy Metals by Forb Steppe Vegetation. *Arid Ecosystem*. 2018. Vol. 8(3). P. 190–202. DOI: 10.1134/S2079096118030058
25. Pereira C. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet Cardoso Pereira. 2013. Baltazar Vicente *Meat Science*. Vol. 93 (3). P. 586–592.
26. Ratie R., Vaňkova Z., Baragano D., Liao R. Antagonistic Cd and Zn isotope behavior in the extracted soil fractions from industrial areas. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 12(9). P. 519–524. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.129519
27. Roy M., McDonald L.M. Metal uptake in plants and health risk assessments in metalcontaminated smelter soils. *Land Degradation*. 2013. Vol. 49. P. 517–524. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2237>.
28. Tefera M., Gebreyohannes F., Saraswathi M. Heavy metal analysis in the soils of in and around Robe town, Bale zone, South Eastern, Ethiopia Eurasian. *Journal of Soil Science*. 2018. Vol. 7(3). P. 251–256. DOI: 10.18393/ejss.430116
29. Wood J.D., Enser V., Fisher A.V. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*. 2008. Vol. 78. (4). P. 343–358.
30. Wu, T., Song, M., Shen, X. (2020). Seasonal dynamics of copper deficiency in Wumeng semi-fine wool sheep. *Biological Trace Elements Research*, (197), 487–494. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-02018-5>
31. Wuana R.A., Okieimen F.E. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Improvement Science Research Network Ecology*. 2021. Vol. 20(90). P. 4614. DOI: 10.5402/2011/402647
32. Сачко Р.Г., Лесик Я.В., Лучка І.В. Вміст важких металів у доквіллі, кормах та продукції ВРХ в біогеохімічній провінції Прикарпаття. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. 2016. № 3 (71). Т. 18. С. 87–90.
33. Sharma, C., & Forster, C. F. (2018). Removal of hexavalent chromium using sphagnum moss peat. *Water Research*, 27, (7), 1201–1208 [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(93\)90012-74](https://doi.org/10.1016/0043-1354(93)90012-74).

ВПЛИВ ІОНІВ КАДМІЮ, НІКЕЛЮ, ХРОМУ ТА ЦИНКУ НА СТІЙКІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ НА ПОЧАТКУ ЮВЕНІЛЬНОГО ЕТАПУ РОЗВИТКУ РОСЛИН

Гришко В.М.¹, Лисенко О.І.¹, Ахмедова В.В.²

¹Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг

²Криворізька гімназія №5 Криворізької міської ради
вул. Тарапаківська, 28, 50019, м. Кривий Ріг

vit.gryshko@yahoo.com, olyalis080991@gmail.com, etoyavictoria@gmail.com

Досліджено вплив важких металів на сільськогосподарські культури. в Останнім часом значну увагу привертають проблеми захисту довкілля, пов'язані не лише з промисловими забрудненнями, але й з екологічними наслідками воєнних дій на терені України.

Вивчено впливи іонів кадмію, нікелю, хрому та цинку на стійкість гібридів кукурудзи на початку ювенільного етапу розвитку рослин. Досліди проводили в наступних варіантах: контроль (дистильована вода); 1 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 5 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 5 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+10$ ГДК $Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 5 ГДК $Cd^{2+}+Cr^{6+}+10$ ГДК $Zn^{2+}+Ni^{2+}$; 10 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+5$ ГДК $Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 10 ГДК $Cd^{2+}+Cr^{6+}+5$ ГДК $Zn^{2+}+Ni^{2+}$ і 10 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+Zn^{2+}+Cr^{6+}$. Під час досліджень означено, що ГДК $Ni^{2+}-4$; $Zn^{2+}-23$; $Cd^{2+}-3$ і $Cr^{6+}-6$ мг/л. Перші три іони вносили у вигляді водних розчинів сульфатів, а хром – $K_2Cr_2O_7$. Загальною закономірністю для всіх п'яти гібридів було пригнічення процесу проростання насіння з підвищенням концентрації іонів металів, тоді як іони за мінімальних концентрацій або не впливали на схожість насіння (гібриди ДМС Триумф, ДМС Орion, ДМ Петрос і ДМС Корал), або підвищували її (гібриди ДМ Петрос та ДМ Експенсів). Доведена металоспецифічність дії іонів високонебезпечних (кадмію та цинку) металів, яка проявляється в більшому пригніченні схожості зернівок, коли кадмій присутній у максимальній концентрації, порівняно з відповідними варіантами для іонів цинку. Також для гібридів ДМС Триумф, ДМ Експенсів та ДМС Корал встановлено більшу статистично достовірну негативну дію на схожість насіння, коли Cd^{2+} і Cr^{6+} знаходяться в максимальній концентрації на тлі 5ГДК Zn^{2+} і Cr^{6+} , або 5 ГДК Zn^{2+} і Ni^{2+} , тоді як для гібридів ДМС Орion і ДМ Петрос не встановлено значущої різниці між цими варіантами дослідів. За мінімального вмісту іонів металів у середовищі вирощування гібриди розподілились на 2 групи: до першої, для проростків якої характерне зменшення довжини головного кореня, і відповідно значень кореневого індексу, належать гібриди ДМ Експенсів, ДМ Петрос і ДМС Корал. Для гібридів другої групи (ДМС Орion, ДМС Триумф) не встановлено статистично достовірного зменшення довжини головного кореня. У проростків гібридів ДМС Орion, ДМС Корал, ДМ Експенсів і ДМС Триумф значення довжини кореня у варіанті 10ГДК $Cd^{2+}+Cr^{6+}+5$ ГДК $Zn^{2+}+Ni^{2+}$ статистично достовірно не відрізнялися від варіанту, коли іони металів були у максимальній концентрації, тобто призводили до однакового найбільшого негативного ефекту, на відміну від інших варіантів дослідів, коли іони кадмію і цинку були в максимальній концентрації на тлі менших концентрацій Ni^{2+} і Cr^{6+} . *Ключові слова:* гібриди кукурудзи, хром, нікель, кадмій, цинк, схожість насіння, довжина кореня, токсичність.

The effect of cadmium, nickel, chromium and zinc ions on the stability of maize hybrids at the beginning of the juvenile stage of plant development. Gryshko V., Lysenko O., Akhmedova V.

The study of the impact of heavy metals on agricultural crops has recently attracted more and more attention not only in connection with industrial pollution, but also with the ecological consequences of military actions on the territory of Ukraine. The article analyzes the results of studying the influence of Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} on the stability of corn hybrids at the beginning of the juvenile stage of plant development. Experiments were carried out in the following variants: control (distilled water); 1 MPC $Cd^{2+}+Ni^{2+}+Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 5 MPC $Cd^{2+}+Ni^{2+}+Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 5 MPC $Cd^{2+}+Ni^{2+}+10$ MPC $Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 5 MPC $Cd^{2+}+Cr^{6+}+10$ MPC $Zn^{2+}+Ni^{2+}$; 10 MPC $Cd^{2+}+Ni^{2+}+5$ MPC $Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 10 MPC $Cd^{2+}+Cr^{6+}+5$ MPC $Zn^{2+}+Ni^{2+}$ and 10 MPC $Cd^{2+}+Ni^{2+}+Zn^{2+}+Cr^{6+}$. In the experiments, it was believed that MPC $Ni^{2+}-4$; $Zn^{2+}-23$; $Cd^{2+}-3$ and $Cr^{6+}-6$ mg/l. The first three ions were introduced in the form of aqueous solutions of sulfates and chromium – $K_2Cr_2O_7$. The general regularity for the hybrids was inhibition of the process of seed germination with an increase in the concentration of metal ions, while ions at minimum concentrations either did not affect seed germination (DMS Triumph, DMS Orion, DM Petros and DMS Koral) or increased it (DM Petros and DM Ekspensiv). The metal specificity of the action of highly dangerous Cd and Zn ions is proven, which is manifested in a greater inhibition of grain germination when Cd^{2+} is present in the maximum concentration compared to the corresponding variants for Zn ions. Also, for DMS Triumph, DM Ekspensiv and DMS Koral, a greater statistically reliable negative effect on seed germination was established when Cd^{2+} and Cr^{6+} are in maximum concentration against the background of 5 MPC Zn^{2+} and Cr^{6+} , or 5 GDK Zn^{2+} and Ni^{2+} , while for DMS Orion and DM Petros no significant difference was found between these variants of experiments. According to the minimum content of metal ions, the hybrids were divided into 2 groups: the first, the seedlings of which are characterized by a decrease in the length of the main root, and accordingly, the values of the root index, belong to DM Ekspensiv, DM Petros and DMS Koral. For the hybrids of the second group (DMS Orion, DMS Triumph) no statistically significant decrease in the length of the main root was established. In the seedlings of DMS Orion, DMS Koral, DM Ekspensiv and DMS Triumph, the root length in the variant of 10 MPC $Cd^{2+}+Cr^{6+}+5$ MPC $Zn^{2+}+Ni^{2+}$ did not statistically significantly differ from the variant when metal ions were in the maximum concentration, that is, they led to the same greatest negative effect, unlike in other variants of experiments, when cadmium and zinc ions were in the maximum concentration against the background of lower concentrations of Ni^{2+} and Cr^{6+} . *Key words:* maize hybrids, chromium, nickel, cadmium, zinc, seed germination, root length, toxicity.

Постановка проблеми. Забруднення довкілля є актуальним питанням для України, оскільки вміст важких металів у багатьох регіонах перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) [1]. Значні концентрації важких металів унаслідок міграційних процесів надходять із ґрунту і акумулюються у продукції рослинництва суттєво погіршуючи її якість [3–5]. Також необхідно враховувати, що у зв'язку з негативними наслідками для довкілля продовження активних воєнних дій на території України підвищується вірогідність подальшого вилучення посівних площ для отримання рослинної сільськогосподарської продукції. Водночас деякі важкі метали у мінімальних кількостях необхідні для здійснення біохімічних і фізіологічних процесів у рослин. За нестачі цих металів порушується ріст і розвиток рослин [1]. У світі близько п'ятої частини вирощеної кукурудзи використовується для задоволення технічних потреб людини і ця частка співставна з продовольчими потребами людини [6]. Для України кукурудза є однією з провідних зернових культур і її частка в зерновому балансі країни в останні роки значно перевищує виробництво пшениці та соняшнику [7].

Тому доцільним є розглядати можливість вирощування цієї культури для технічних потреб на площах, що мають незначний рівень надлишку певних елементів. Актуальність досліджень у цьому напрямку полягає в оцінці можливості використання гібридів кукурудзи вітчизняної селекції, які можуть вирощуватись на таких площах. Одним з найуразливіших періодів формування проростків є проростання насіння на початку ювенільного етапу розвитку рослин. Метою роботи було визначити стійкість гібридів кукурудзи в цей період до сумісної надлишкової дії іонів хрому, кадмію, нікелю та цинку.

Актуальність досліджень та аналіз останніх досліджень і публікацій. Значну увагу наукової спільноти продовжують привертати питання впливу важких металів на фізіологічні процеси в рослинах. Зазначене пов'язане, в першу чергу, з визначенням ролі певних елементів у підвищенні продуктивності основних продовольчих культур шляхом збалансування їх мінерального живлення. По-друге, процеси індустріалізації як в промисловості, так і в сільському господарстві призвели до значного прискорення мобілізації та міграції важких металів у літосфері, атмосфері і гідросфері та включення до рослинного компоненту екосистем, що спричинює потрапляння в трофічні ланцюги [8, 9].

Тому актуальним є вивчення ролі елементів, які на сьогодні вважаються неесенціальними (Cd, Cr та ін.) на ріст та розвиток рослин, особливо коли вони присутні в надлишковій кількості. До сьогодні більшість робіт була присвячена вивченню акумуляції та можливих фізіологічних ефектів окремих елементів, тоді як їх поліелементне надходження розглядалось в доволі обмеженій кількості робіт. Вивчення впливу Cd²⁺, Cr⁶⁺, Cu²⁺, Ni²⁺ та Zn²⁺ на люцерну довели, що

за концентрації 10 мг/л Cd²⁺ і Cr⁶⁺ та 20 мг/л Cu²⁺ і Ni²⁺ вони істотно впливали на показники схожості насіння та приріст біомаси, тоді як Zn²⁺, навіть за вмісту в поживному середовищі 40мг/л, не змінював схожість насіння [10]. Внесення до середовища вирощування 3мг/л Cd²⁺ і 4 мг/л Ni²⁺ показало, що гібриди кукурудзи відзначаються дещо вищою стійкістю до сумісного впливу сполук порівняно із сортами гороху. Вивчення особливостей акумуляції Ni²⁺ і Cd²⁺ до коренів проростків кукурудзи дозволило довести, що останній до 2,8 разів надходить в тканини кореня швидше, ніж Ni²⁺ [11]. Наші попередні дослідження свідчать, що у проростків кукурудзи на початкових етапах їх онтогенетичного розвитку на приріст головного кореня та надземної частини, утворення сирі та сухої маси спостерігається більший до 15% негативний вплив іонів нікелю, ніж хрому (III). Іони хрому (III) і нікелю за їх сумісного внесення проявляють більший фітотоксичний ефект на розвиток кореневої системи, ніж надземної частини рослин [12]. Тому вивчення особливостей ростових реакцій у кукурудзи за сумісного впливу Cd²⁺, Cr⁶⁺, Ni²⁺ та Zn²⁺ дозволить наблизитись до розкриття механізмів стійкості рослин.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Підґрунтям для виконання роботи є «Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук НАН України на 2019-2023 роки», а саме: «Молекулярні, клітинні та фізіологічні механізми регуляції процесів у біологічних об'єктах. Принципи формування стійкості живих систем і визначення резервів фотосинтетичної і продукційної здатності рослин» [13]. Робота є продовженням наукових досліджень, що проводились у Криворізькому ботанічному саду НАН України та виконуються в установі зараз: «Фізіологічний сигналінг у трав'янистих рослин за стресової дії важких металів» (0121U100358).

Методологія дослідження. У модельному лабораторному досліді використовували каліброване непротруєне насіння кукурудзи гібридів вітчизняної селекції ДМС Триумф (середньоранній простий модифікований гібрид, ФАО 290), ДМС Оріон (середньостиглий гібрид, ФАО 300), ДМ Петрос (середньоранній простий гібрид, ФАО 260), ДМ Експенсів (середньостиглий простий міжлінійний гібрид, ФАО 320) та ДМС Корал (ранньостиглий простий міжлінійний зерновий гібрид, ФАО 190), надане НВФГ «Компанія «Маїс» (м. Синельникове, Дніпропетровської обл.). В досліді вважали, що ГДК Ni²⁺ – 4; Zn²⁺ – 23; Cd²⁺ – 3 і Cr⁶⁺ – 6 мг/л. Перші три іони вносили у вигляді водних розчинів сульфатів, а хром – K₂Cr₂O₇ у варіантах: контроль (дистильована вода); 1 ГДК Cd²⁺+Ni²⁺+Zn²⁺+Cr⁶⁺; 5 ГДК Cd²⁺+Ni²⁺+Zn²⁺+Cr⁶⁺; 5 ГДК Cd²⁺+Ni²⁺+10 ГДК Zn²⁺+Cr⁶⁺; 5 ГДК Cd²⁺+Cr⁶⁺ +10 ГДК Zn²⁺+Ni²⁺;

10 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+5$ ГДК $Zn^{2+}+Cr^{6+}$; 10 ГДК $Cd^{2+}+Cr^{6+}+5$ ГДК $Zn^{2+}+Ni^{2+}$ і 10 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+Zn^{2+}+Cr^{6+}$. Пророшування насіння, визначення енергії і швидкості проростання, схожості проводили за ДСТУ 4138–2002 [14]. Кореневий індекс (KI) розраховували за D. Wilkins [15]. Повторність у межах окремого варіанту досліду складала 100 рослин, аналітична повторність була 4-кратна. Статистична обробка експериментальних даних проводилась за загальноприйнятими методами параметричної статистики на 95% рівні значимості за О.О. Єгоршиним [16].

Викладення основного матеріалу. Аналіз отриманих даних (табл. 1) свідчить, що вплив мінімальної концентрації важких металів (1 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+Zn^{2+}+Cr^{6+}$) призводить до статистично достовірного підвищення до 5% схожості зернівок у гібридів ДМ Петрос та ДМ Експенсів, тоді як у інших вона не відрізняється від контролю. З цим добре узгоджується і швидкість проростання насіння, яка у більшості гібридів не відрізняється від контрольного варіанту досліду, або збільшується на 8%, як у гібриду ДМ Експенсів. Проте необхідно зауважити, що у останнього спостерігається гальмування початкового етапу проростання зернівок, про що свідчить статистично достовірне зменшення енергії проростання майже на 7%.

Більш висока концентрація іонів важких металів (5 ГДК) у більшості гібридів спричинювала суттєве гальмування проростання насіння. Залучені до експериментів гібриди можна розподілити на дві групи. До першої, у яких схожість зернівок зменшувалась до 21%, належать гібриди ДМС Тріумф, ДМ Експенсів та ДМС Корал, а до другої – гібриди ДМС Оріон і ДМ Петрос у яких іони важких металів у концентрації 5 ГДК не спричинювали статистично достовірного зниження схожості. Зазначене пояснюється зменшенням швидкості та енергії проростання насіння у першої групи гібридів в середньому на 23 і 31% відповідно, тоді як у іншої групи вони або зменшуються лише до 10%, або не відрізняються від значень контролю.

Сумісна дія іонів металів за концентрації 10 ГДК призводила до значно суттєвішого пригнічення процесу проростання насіння кукурудзи, ніж у попередніх варіантах дослідів. Так, у гібридів ДМ Петрос і ДМС Тріумф схожість зернівок зменшувалась на 40 і 44%, тоді як найбільше пригнічення процесів проростання встановлено у гібриду ДМ Експенсів (схожість знижувалась у 3 рази). У насіння останнього була і найменша швидкість його проростання (вона зменшувалась на 70%). Поряд з цим сумісна дія іонів металів в максимальній концентрації лише на 20–25% пригнічувала проростання зернівок гібридів ДМС Оріон і ДМС Корал. Однак, якщо у гібриду Оріон енергія та швидкість проростання знижувалась на 30%, то у гібриду ДМС Корал початкові етапи проростання насіння гальмувались набагато силь-

ніше (енергія проростання зменшувалась більше, ніж на 50%).

Для нас було важливим оцінити як на схожість насіння впливає різна комбінація 2 типів іонів металів у максимальних концентраціях, які відносяться, згідно з попередніми дослідженнями різних науковців та чинних на сьогодні стандартів [17, 18], до високонебезпечних (кадмій і цинк) та помірно небезпечних (хром і нікель). Обговорюючи отримані результати необхідно констатувати, що дія іонів металів у різних комбінаціях по-різному гальмувала схожість зернівок. Дані таблиці 1 дозволяють констатувати, що у варіантах дослідів, коли Cd^{2+} був у максимальній концентрації, відбувалося більше пригнічення процесів проростання насіння кукурудзи, ніж коли Zn^{2+} був у максимальній концентрації. Також для більшості гібридів встановлено однаковий негативний вплив на схожість зернівок, коли Zn^{2+} , разом з Ni^{2+} або Cr^{6+} , були присутні у максимальній концентрації на тлі 5 ГДК Cd^{2+} і Cr^{6+} , або 5 ГДК Cd^{2+} і Ni^{2+} . Лише для гібриду ДМ Експенсів статистично достовірно доведено, що у варіанті 5 ГДК $Cd^{2+}+Ni^{2+}+10$ ГДК $Zn^{2+}+Cr^{6+}$ схожість зернівок була на 22% більшою, ніж у варіанті 5 ГДК $Cd^{2+}+Cr^{6+}+10$ ГДК $Zn^{2+}+Ni^{2+}$.

Для гібридів ДМС Тріумф, ДМ Експенсів та ДМС Корал встановлено більшу статистично достовірну негативну дію на схожість насіння, коли Cd^{2+} і Cr^{6+} знаходяться в максимальній концентрації на тлі 5 ГДК Zn^{2+} і Cr^{6+} , або 5 ГДК Zn^{2+} і Ni^{2+} . У гібридів ДМС Оріон і ДМ Петрос не встановлено значущої різниці між цими варіантами дослідів (схожість була 71 і 69 та 76 і 77 відповідно).

Тобто, загальною закономірністю для гібридів кукурудзи є пригнічення процесу проростання насіння з підвищенням концентрації іонів металів, тоді як іони за мінімальних концентрацій або не впливають на схожість насіння (гібриди ДМС Тріумф, ДМС Оріон, ДМ Петрос і ДМС Корал), або підвищують її (гібриди ДМ Петрос та ДМ Експенсів). Доведена металоспецифічність дії іонів високонебезпечних (кадмію та цинку) металів, яка проявляється в більшому пригніченні схожості зернівок, коли кадмій присутній в максимальній концентрації, порівняно з відповідними варіантами для іонів цинку. Також для гібридів ДМС Тріумф, ДМ Експенсів та ДМС Корал встановлено більшу статистично достовірну негативну дію на схожість насіння, коли Cd^{2+} і Cr^{6+} знаходяться в максимальній концентрації на тлі 5 ГДК Zn^{2+} і Cr^{6+} , або 5 ГДК Zn^{2+} і Ni^{2+} , тоді як для гібридів ДМС Оріон і ДМ Петрос не встановлено значущої різниці між цими варіантами дослідів.

Одними з найбільш загальних та інтегральних показників токсичного впливу надлишкових концентрацій важких металів на рослини є гальмування ростових процесів і зменшення біомаси. Закордонними дослідниками запропонований

Таблиця 1

Показники схожості насіння гібридів кукурудзи, n=100

Варіант досліджу	Енергія проростання		Швидкість проростання		Схожість	
	M±m	% до контролю	M	% до контролю	M±m	% до контролю
ДМС Триумф						
Контроль	88±2	s	14	s	97±1	s
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	93±2*	105,7	14	100,0	97±1	100,0
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	71±2*	80,7	12	85,7	82±1*	84,5
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	64±1*	72,7	12	85,7	81±2*	83,5
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	61±1*	69,3	9	64,3	66±1*	68,0
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	44±2*	50,0	8	57,1	55±2*	56,7
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	74±4*	84,1	12	85,7	83±3*	85,6
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	47±2*	53,4	8	57,1	54±1*	55,7
ДМ Експенсів						
Контроль	85±1	s	13	s	92±2	s
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	81±2*	93,3	14	108,0	97±1*	105,4
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	48±1*	56,5	8	61,5	80±1*	87,0
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	45±5*	52,9	11	84,6	59±3*	64,1
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	18±1*	21,2	6	46,2	43±2*	46,7
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	27±2*	31,8	5	38,5	34±1*	37,0
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	41±1*	48,2	7	53,8	46±2*	50,0
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	24±1*	28,2	4	30,8	31±3*	33,7
ДМС Оріон						
Контроль	91±2	s	13	s	92±2	s
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	91±3	100,0	13	100,0	94±2	102,2
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	82±2*	90,1	12	92,3	87±2	90,1
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	87±1	95,6	13	100,0	92±1	100,0
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	64±3*	70,3	10	76,9	71±2*	77,2
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	56±4*	61,5	10	76,9	69±2*	75,0
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	84±1*	92,3	13	100,0	89±2	96,7
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	63±3*	69,2	10	76,9	73±3*	79,3
ДМ Петрос						
Контроль	90±2	s	14	s	96±1	s
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	98±1*	108,9	14	100,0	99±1*	103,1
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	83±1*	92,2	14	100,0	97±1	101,0
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	83±1*	92,2	13	92,9	89±1*	92,7
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	64±1*	71,1	11	78,6	76±2*	79,2
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	66±2*	73,3	11	78,6	77±2*	80,2
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	86±2	95,6	13	92,9	92±2	95,8
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	47±1*	52,2	8	57,1	59±1*	61,5
ДМС Корал						
Контроль	82±1	s	12	s	85±2	s
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	85±1	103,7	12	100,0	86±1	101,2
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	57±3*	69,5	10	83,3	67±3*	78,8
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	50±3*	61,0	10	83,3	67±1*	78,8
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	57±2*	69,5	10	83,3	70±1*	82,4
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	35±3*	42,7	6	50,0	45±2*	52,9
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	39±2*	47,6	9	75,0	64±4*	75,3
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	33±2*	40,2	9	75,0	64±2*	75,3

Примітка: * – статистично достовірна різниця за t-критерієм Стьюдента розраховувалась по відношенню до контролю, стандартне значення t-критерію Стьюдента = 2,0 при p<0,05.

ряд показників за якими можна визначають зміни накопичення біомаси та росту рослин в умовах стресового впливу різноманітних токсикантів. До показників за якими запропоновано оцінювати фітотоксичність певних елементів на ріст рослин можна віднести індекс толерантності (ІТ) впроваджений M.Lenka [19], ростового інгібування (ІРІ) розроблений L.Leita [20] та кореневий індекс (КІ) запропонований D.Wilkinson [15]. Наведені індекси можуть ефективно використовуватися при визначенні ступеня толерантності рослин до негативного впливу важких металів.

В нашій роботі для оцінки стійкості рослин та фітотоксичності сумісної дії іонів кадмію, цинку, нікелю та хрому (VI) застосовували зміну довжини головного кореня та КІ. Порівнюючи ефекти фітотоксичності металів, залучених до експерименту, необхідно констатувати, що це питання неможливо розглядати без врахування особливостей гібридоспецифічності.

Аналізуючи результати оцінки впливу комплексу іонів металів на показники росту кореня у гібридів кукурудзи, наведені в таблиці 2, необхідно констатувати, що вже за мінімального вмісту іонів металів у середовищі вирощування гібриди розподілились на 2 групи: до першої, для проростків якої характерне зменшення довжини головного кореня, і відповідно значень КІ, належать гібриди ДМ Експенсів, ДМ Петрос і ДМС Корал (для двох останніх зменшувались найсуттєвіше – до 0,77 і 0,76 відповідно). Для гібридів другої групи (ДМС Оріон, ДМС Тріумф) не встановлено статистично достовірного зменшення довжини головного кореня (значення КІ коливались від 0,95 до 1,02).

З підвищенням вмісту іонів у середовищі вирощування до 5 ГДК встановлено різке зниження довжини головного кореня. Найменше гальмування росту кореня було у проростків гібриду ДМ Експенсів (35,7% до контролю), а найбільше (25,3% до контролю) – у ДМС Тріумф.

Таблиця 2

Фітотоксична дія іонів кадмію, цинку, хрому (VI) і нікелю на проростки кукурудзи за сумісного внесення до середовища вирощування, n=100

Варіант дослідю	Довжина головного кореня, мм			КІ
	M±m	V,%	Tst	
1	2	3	4	5
ДМС Тріумф				
Контроль	43,04±1,09	24,9	–	–
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	41,00±1,03 ^{x*}	24,7	1,4	0,95
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	10,89±0,30 ^{x*}	24,9	29,0	0,25
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	9,04±0,27 ^x	24,9	30,0	0,21
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	9,02±0,27 ^x	24,4	30,3	0,21
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	8,70±0,29	22,1	30,5	0,20
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	8,73±0,27	27,4	30,6	0,20
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	8,17±0,27	23,3	31,1	0,19
ДМС Оріон				
Контроль	56,60±1,43	24,5	–	–
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	57,45±1,49 ^{x*}	25,2	0,41	1,02
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	18,21±0,51 ^{x*}	25,0	25,3	0,32
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	16,36±0,43 ^{x*}	24,9	26,9	0,29
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	13,98±0,43 ^{x*}	24,7	28,5	0,25
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	12,25±0,41	24,8	29,8	0,22
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	16,79±0,49 ^{x*}	27,0	26,3	0,30
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	12,71±0,39	24,4	29,6	0,22
ДМ Петрос				
Контроль	59,83±1,52	24,7	–	–
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	45,89±1,09 ^{x*}	23,5	7,5	0,77
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	16,88±0,44 [*]	25,0	27,1	0,28
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	17,14±0,44 ^{x*}	23,8	26,9	0,29
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	16,66±0,49 [*]	24,7	27,0	0,28
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	14,72±0,48	26,7	28,2	0,25
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	17,71±0,47 ^{x*}	25,2	26,4	0,30
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	15,72±0,54	25,7	27,3	0,26

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
ДМ Експенсів				
Контроль	38,30±1,02	24,9	–	–
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	34,82±0,92 ^{x*}	26,1	2,5	0,91
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	13,67±0,43 ^x	24,5	22,3	0,36
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	11,96±0,31	23,5	24,8	0,31
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	12,51±0,45	23,8	23,2	0,33
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	12,41±0,53	24,7	22,6	0,32
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	13,74±0,53 [*]	25,2	21,5	0,36
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	11,81±0,31 [*]	14,8	24,9	0,31
ДМС Корал				
Контроль	43,68±1,19	24,7	–	–
1 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	33,28±0,89 ^{x*}	24,7	7,0	0,76
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	13,35±0,44 ^{x*}	24,8	23,9	0,31
5 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	13,56±0,49 ^{x*}	25,7	23,4	0,31
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ +Cr ⁶⁺	13,51±0,45 ^{x*}	25,3	23,7	0,31
10 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +5 ГДК Zn ²⁺ + Ni ²⁺	10,0±0,38	24,3	27,0	0,23
5 ГДК Cd ²⁺ + Cr ⁶⁺ +10 ГДК Zn ²⁺ +Ni ²⁺	13,76±0,56 ^{x*}	24,9	22,8	0,32
10 ГДК Cd ²⁺ +Ni ²⁺ +Zn ²⁺ + Cr ⁶⁺	10,54±0,35	26,0	26,8	0,24

Примітка: Tst – фактичне значення t-критерію Стьюдента розраховувалось по відношенню до контролю; x – статистично достовірна різниця за t-критерієм Стьюдента по відношенню до варіанту 10 ГДК Cd²⁺+Ni²⁺+Zn²⁺+Cr⁶⁺; * – статистично достовірна різниця за t-критерієм Стьюдента по відношенню до варіанту 10 ГДК Cd²⁺+Cr⁶⁺+5 ГДК Zn²⁺+Ni²⁺; стандартне значення t-критерію Стьюдента = 2,0 при p<0.05.

Збільшення рівня іонів важких металів у середовищі вирощування до 10 ГДК призводило до статистично значущого зменшення довжини кореня по відношенню до варіанту 5 ГДК у всіх гібридів. Найсуттєвіше гальмування росту кореня по відношенню до контрольних значень було зафіксоване для гібриду ДМС Триумф ДМ (на 81%), тоді як іони металів найменше пригнічували ріст головного кореня у проростків гібриду ДМ Експенсів (на 69,2%).

Виконана статистична обробка отриманих даних дозволила встановити, іншу гібридоспецифічність впливу іонів металів на ріст кореня. Так, у проростків гібридів ДМС Оріон, ДМС Корал, ДМ Експенсів і ДМС Триумф значення довжини кореня у варіанті 10ГДК Cd²⁺+ Cr⁶⁺+5ГДК Zn²⁺+ Ni²⁺ статистично достовірно не відрізнялися від варіанту, коли іони металів були у максимальній концентрації, тобто призводили до однакового найбільшого негативного ефекту, на відміну від інших варіантів дослідів, коли іони кадмію і цинку були в максимальній концентрації на тлі менших концентрацій Ni²⁺ і Cr⁶⁺. Металоспецифічність дії іонів у варіанті 10ГДК Cd²⁺+ Cr⁶⁺+5ГДК Zn²⁺+ Ni²⁺ у проростків гібридів ДМ Експенсів і ДМС Триумф проявлялася в тому, що вони виявили однаковий негативний ефект на ріст головного кореня, як і за інших варіантів, коли іони кадмію і цинку були в максимальній концентрації без залежності від концентрації іонів нікелю та хрому.

Головні висновки. Загальною закономірністю для гібридів кукурудзи було пригнічення процесу

проростання насіння з підвищенням концентрації іонів металів, тоді як мінімальні їх концентрації або не впливали на схожість насіння (гібриди ДМС Триумф, ДМС Оріон, ДМ Петрос і ДМС Корал), або підвищували її (гібриди ДМ Петрос та ДМ Експенсів). Доведена металоспецифічність дії іонів високонебезпечних (кадмію та цинку) металів, яка проявляється в більшому пригніченні схожості зернівок, коли кадмій присутній у максимальній концентрації, порівняно з відповідними варіантами для іонів цинку.

Для гібридів ДМС Триумф, ДМ Експенсів та ДМС Корал встановлено більшу статистично достовірну негативну дію на схожість насіння, коли Cd²⁺ і Cr⁶⁺ знаходяться в максимальній концентрації на тлі 5ГДК Zn²⁺ і Cr⁶⁺, або 5 ГДК Zn²⁺ і Ni²⁺, тоді як для гібридів ДМС Оріон і ДМ Петрос не встановлено статистично достовірної різниці між цими варіантами дослідів.

За мінімального вмісту іонів металів у середовищі вирощування гібриди розподілились на 2 групи: до першої належать гібриди ДМ Експенсів, ДМ Петрос і ДМС Корал для проростків яких характерне зменшення довжини головного кореня, і відповідно значень кореневого індексу. Для гібридів другої групи (ДМС Оріон, ДМС Триумф) не встановлено статистично достовірного зменшення довжини головного кореня.

У проростків гібридів ДМС Оріон, ДМС Корал, ДМ Експенсів і ДМС Триумф довжина кореня у варіанті 10ГДК Cd²⁺+ Cr⁶⁺+5ГДК Zn²⁺+ Ni²⁺ статистично

достовірно не відрізнялася від варіанту, коли іони металів були у максимальній концентрації, тобто спричинювали найбільший негативний ефект, на відміну від інших варіантів дослідів, коли іони кадмію і цинку були в максимальній концентрації на тлі менших концентрацій Ni^{2+} і Cr^{6+} .

Література

1. Гришко В.М., Сишиков Д.В., Піскова О.М., Данильчук О.В., Машталер Н.В. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека. Донецьк: Донбас, 2012. 304 с.
2. Кузьменко Є.І., Кузьменко А.С. Оцінка фітотоксичності важких металів в умовах моно- і поліелементного забруднення ґрунту. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 1. С. 33–35.
3. Антоняк Г.Л., Мамчур З.І., Першин О.І., Бубис О. С., Кордош Т.В. Біологічна доступність важких металів та їх акумуляція в тканинах рослин. *Вісник проблем біології і медицини*. 2005. Вип. 3. Т. 2 (123). С. 11–16.
4. Шевчук В.Д., Мудрак Г.В. Франчук М.О. Екологічна оцінка інтенсивності забруднення ґрунтів важкими металами. *Agricultural sciences / «Colloquium-journal»* 2021. 12(99). С. 40–46.
5. Гришко В.М., Лисенко О.І. Ефективність використання препарату «Антистрес» на врожайність різних за стійкістю гібридів кукурудзи на ґрунтах за надлишкового вмісту хрому і нікелю *Екологічні науки*. 2020. № 6(33). С. 103–109. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.15>.
6. Ranum, P.; Peña-Rosas, J.P.; Garcia-Casal, M.N. Global maize production, utilization, and consumption. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2014. 1312. P. 105–112. DOI: 10.1111/nyas.12396.
7. Державна служба статистики України. Рослинництво України. Статистичний збірник 2018. Київ, 2019. 220 с. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/04/zb_rosl_2018.pdf
8. Basharat Ali, Rafaqat A. Gill. Heavy metal toxicity in plants: Recent insights on physiological and molecular aspects, volume II. *Front Plant Sci. Sec. Plant Nutrition*. 2022. Vol. 13. DOI:10.3389/fpls.2022.1016257.
9. Vasilachi I.C, Stoleru V., Gavrilesco M. Analysis of Heavy Metal Impacts on Cereal Crop Growth and Development in Contaminated Soils. *Agriculture* 2023. 13(10). DOI:10.3390/agriculture13101983.
10. Aydinalp C., Marinova S. The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2009. 15 (№ 4). P. 347–350.
11. Артюшенко Т.А. Участь аскорбінової кислоти і ферментів її метаболізму у фізіологічній адаптації гороху та кукурудзи до сумісної дії сполук нікелю і кадмію: автореф. дис. ... канд біол. наук: 03.00.12. Київ, 2012. 21 с.
12. Гришко В.М., Лисенко О.І. Фітотоксичність хрому і нікелю на початковому етапі онтогенетичного розвитку кукурудзи. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Біологія»*. 2019. Вип. 33, С. 123–132. DOI: 10.26565/2075-5457-2019-33-15.
13. Постанова Президії Національної академії наук України від 30.01.2019 №30. Про Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2019–2023 роки URL: <https://www.nas.gov.ua/legaltexts/DocPublic/P-190130-30-0.pdf>.
14. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. – [Чинний від 2002-12-28]. Київ, 2003. 170 с.: (Держстандарт України).
15. Wilkins D.A. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. *New Phytol.* 1978. Vol. 80. № 3. P. 623–633.
16. Сторшин О.О., Лісовий М.В. Математичне планування польових дослідів та статистична обробка експериментальних даних. Харків: Вид-во Ін-ту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н.Соколовського, 2005. 193 с.
17. Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soil and Plants. Boca Raton FL.CRC Press, 2001. 403 p.
18. ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. [Действующий от 1985-01-01]. Москва, 1985. 28 с.
19. Lenka M., Dos B.L., Panda K.K., Panda B.B. Mercury-tolerance of *Chloris barbata* Sw. and *Cyperus rotundus* L. isolated from contamination sites. *Biol. Plant.* 1993. Vol. 35. № 3. P. 443–446.
20. Leita L., Nobili M.D., Mondini C., Garcia M.T.B. Response of Leguminosae to cadmium exposure. *J. Plant Nutr.* 1993. Vol. 16. P. 2001–2012.

УДК 551.5: 633.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.17>

ДИНАМІКА ВІНОСУ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ПЛОЩ, ЗАЙНЯТИХ ПІД ЗЕРНОВІ ТА ЗЕРНОБОБОВІ КУЛЬТУРИ В УМОВАХ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Ільїна В.Г., Нікітін П.С.

Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса
agroecology87@gmail.com, Vilina653@gmail.com

Сучасна агропромислова діяльність, насичена інтенсивними методами сільськогосподарського виробництва, вимагає глибокого розуміння процесів, які відбуваються в агроекосистемах. Однією з ключових складових цього розуміння є динаміка виносу біогенних елементів з площ, зайнятих під зернові та зернобобові культури. Умови Одеської області, характеризуються своєрідною агрокліматичною специфікою та особливостями ґрунтового покриву, роблять цю тему особливо актуальною для нашого регіону.

На тлі зростаючих вимог до продуктивності сільськогосподарських культур та збалансованого використання природних ресурсів, вивчення процесів виносу біогенних елементів набуває важливості для оптимізації сільськогосподарської діяльності та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору. Недостатня увага до цього аспекту може призвести до екологічних проблем, таких як забруднення водойм та зниження родючості ґрунтів, що, в свою чергу, загрожує якістю та кількістю сільськогосподарської продукції.

Актуальність дослідження полягає в необхідності розкриття особливостей динаміки виносу біогенних елементів в умовах Одеської області, з урахуванням агрокліматичних та ґрунтових особливостей. Важливо визначити оптимальні підходи до сільськогосподарського виробництва, які забезпечать ефективне використання ресурсів та збереження природних біогенних елементів у системі «ґрунт – рослина – атмосфера».

У зв'язку з вищезазначеним, мета даного дослідження – систематичне вивчення динаміки виносу біогенних елементів, зокрема в зернових та зернобобових культурах, на обраній території. Дана стаття присвячена аналізу впливу агрокліматичних та агротехнічних факторів на процеси виносу, а також виявленню можливих шляхів оптимізації цих процесів для забезпечення сталого розвитку сільськогосподарського виробництва в регіоні. *Ключові слова:* динаміка, методика, біогенні елементи, мінеральні добрива, урожайність.

Dynamics of biogeochemical element removal from areas under grain and legume crops in the Odesa region. Ilyina V., Nikitin P.

Modern agroindustrial activity, saturated with intensive methods of agricultural production, requires a deep understanding of the processes occurring in agroecosystems. One of the key components of this understanding is the dynamics of the removal of biogenic elements from areas under grain and legume crops. The conditions of the Odesa region, characterized by its unique agroclimatic specificity and soil cover characteristics, make this topic particularly relevant for our region.

Against the backdrop of growing demands for the productivity of agricultural crops and the balanced use of natural resources, the study of biogenic element removal processes is becoming important for optimizing agricultural activity and ensuring the sustainable development of the agricultural sector. Insufficient attention to this aspect can lead to environmental problems, such as water pollution and soil fertility decline, which, in turn, threatens the quality and quantity of agricultural products.

The relevance of the study lies in the need to reveal the features of the dynamics of biogenic element removal in the conditions of the Odesa region, taking into account agroclimatic and soil characteristics. It is important to identify optimal approaches to agricultural production that will ensure the efficient use of resources and the conservation of natural biogenic elements in the “soil-plant-atmosphere” system.

In connection with the above, the purpose of this study is to systematically study the dynamics of biogenic element removal, in particular in grain and legume crops, in the selected area. This article is devoted to the analysis of the impact of agroclimatic and agrotechnical factors on the removal processes, as well as the identification of possible ways to optimize these processes to ensure the sustainable development of agricultural production in the region. *Key words:* dynamics, methodology, biogenic elements, mineral fertilizers, yield.

Постановка проблеми, актуальність. У сучасному аграрному виробництві, зокрема в Одеській області, де широко розвинуті зернові та зернобобові культури, проблема динаміки виносу біогенних елементів є актуальною та важливою. Збалансований виніс та збереження цих елементів є ключовим для підтримання родючості ґрунтів та забезпечення високих врожаїв. Однак, незбалансований виніс може призвести до екологічних проблем та зниження сільськогосподарської продуктивності.

Зараз спостерігається значний ріст популяції та питомої ваги населення, що робить сільське господарство ключовим гравцем у глобальній економіці. У цьому контексті, дослідження динаміки виносу біогенних елементів з площ зернових та зернобобових культур набуває особливого значення, оскільки воно може визначити ефективні методи захисту ґрунтів та вдосконалення сільськогосподарської технології.

Виклад основного матеріалу. Для отримання високих та стійких врожаїв зернових та зернобобо-

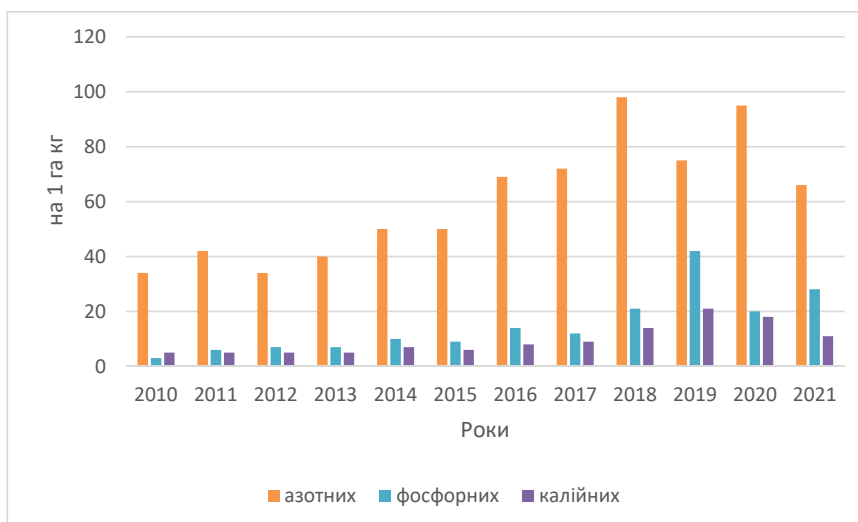


Рис. 1. Внесення мінеральних добрив сільськогосподарськими підприємствами Одеської області

вих культур в умовах Одеської області, де ґрунти мають невелике значення вмісту органічної речовини, необхідне внесення достатньої кількості мінеральних добрив, до складу яких входять біогенні елементи. При динаміці виносу біогенних елементів з площ зайнятих під зернові та зернобобові культури в умовах Одеської області необхідна інформація про кількісні та якісні характеристики внесення мінеральних добрив, які наведені на рисунку 1.

Графік відображає зростання динаміки внесення мінеральних добрив сільськогосподарськими підприємствами Одеської області протягом 2010–2021 років. Це зростання пов'язане із збільшенням площі оброблюваних сільськогосподарських угідь, підвищенням продуктивності культур та погіршенням ґрунтових та кліматичних умов.

Аналіз графіку вказує на високий рівень внесення азотних, фосфорних і калійних добрив, обумовлений їхньою ключовою роллю у рості і розвитку рослин. Загалом, позитивна тенденція внесення мінеральних добрив сприяє підвищенню врожайності та якості сільськогосподарської продукції. Проте, важливо врахувати, що ексцесивне внесення може призвести до деградації ґрунтів та забруднення довкілля.

Розрахунок виносу біогенних елементів з сільськогосподарських угідь проводять на основі відомих агрохімічних залежностей, які зв'язують кількість речовин, що виносяться з властивостями ґрунту, видами та врожайністю сільськогосподарських культур.

Розрахункове рівняння для визначення виносу біогенів з ґрунту базується на врожайності сільськогосподарських культур як на інтегральному показнику стану декількох базових факторів (ґрунт, метеорологічні умови, тривалість вегетаційного періоду, кількість добрив, які використовуються, засобів їх внесення та ін.) [4].

Питомий винос біогенів з площі, зайнятою i -ю сільськогосподарською культурою (R_i), визначають за формулою:

$$R_i = \alpha_N k_i y_i + \alpha_P k_i y_i + \alpha_K k_i y_i \quad (1)$$

де $\alpha_N, \alpha_P, \alpha_K$ – відповідно коефіцієнти виносу азоту, фосфору та калію для різних ґрунтових умов та сільськогосподарських культур;

k_i – винос біогенів з ґрунту з урожаєм, кг/т;

y_i – фактична врожайність сільськогосподарської культури.

Розрахунок виконувався для зернових та зернобобових культур, тому за методикою були взяті коефіцієнти: $\alpha_N(0,16)$; $\alpha_P(0,12)$; $\alpha_K(0,07)$ для ґрунтів чорнозему звичайні.

Винос біогенів з ґрунту з урожаєм зернових та зернобобових культур, кг/т які вирощуються на чорноземах звичайних: N (29,0); P₂O₅ (10,0); K₂O (27,0).

Відповідно загальний винос біогенних речовин з водоохоронної зони річки або іншого водного об'єкту визначають за формулою:

$$\sum W_{пл} = \sum_{i=1}^n R_i S_i \quad (2)$$

де $\sum W_{пл}$ – загальний винос біогенів з площі водоохоронної зони, кг/у рік;

R_i – питомий винос біогенів з площі, зайнятої сільськогосподарською культурою; n – кількість сільськогосподарських культур на площі водоохоронної зони; S_i – площа, яка зайнята сільськогосподарською культурою, га.

При розрахунках використовують значення врожайності культури за прогнозом. Площу, зайняту культурою, визначають за фактичними даними господарства про структуру посівів у водоохоронній зоні річки [4].

Початкову кількість внесених біогенних елементів визначають за формулою (3):

$$W_{исх} = \sum_{j=1}^m \Phi_{M_j} W_{CP_j} \quad (3)$$

де $W_{исх}$ – вихідна кількість внесених у ґрунт біогенів, кг/рік;

m – кількість видів добрив;

Φ_{M_j} – фізична маса j -го виду добрив, що вносяться, т;

W_{CP_j} – середній вміст біогенних елементів у добриві j -го виду.

Фізичну масу добрив розраховують за формулою:

$$\Phi_{M_j} = \sum_{j=1}^m S_j N_j \quad (4)$$

де S_j – площа внесення j -го добрива, га;

N_j – норма внесення j -го добрива, т/га.

Підвищені втрати біогенів можуть спостерігатись при низьких рівнях технологій використання добрив 16 одиниць.

Використовуючи дані, можна визначити долю втрат біогенних елементів та розрахувати їх сумарний винос з ділянки внаслідок порушень технології ($W_{пот}$, кг/рік) за формулою:

$$\sum W_{пот} = \sum_{j=1}^m W_{исх_j} q_j \quad (5)$$

де q_j – доля втрат біогенних елементів в наслідок порушень технології внесення j -го добрива;

$W_{исх_j}$ – вихідна кількість внесення біогенних добрив j -го виду, кг/рік [4].

Втрати добрив в наслідок порушень технології їх використання, %.

Вид добрив: Мінеральні; Рівень технологій: Високий – 2; Середній – 4; Низький – 6.

Загальна величина виносу біогенів ($W_{об}$, кг/рік) буде складати:

$$W_{об} = \sum W_{пл} + \sum W_{пот}, \quad (6)$$

а коефіцієнт втрат

$$\alpha_{пот} = W_{об} / W_{исх} \quad (7)$$

На рисунку 2 приведена динаміка початкової кількості внесених біогенних елементів з сільськогосподарських угідь Одеської області, зайнятих під вирощуванням зернових та зернобобових культур. Наступні графіки також відносяться цієї території вирощування даного набору культур.

Графік відображає динаміку початкової кількості внесених біогенних елементів у ґрунти Одеської області. У всіх випадках виявлено високий рівень внесення, що пояснюється наявністю родючих ґрунтів у регіоні з достатньою кількістю поживних речовин.

Проте, у окремих випадках ця кількість може бути недостатньою для оптимального розвитку сільськогосподарських культур. Графік також вказує на високий рівень внесення азоту, фосфору та калію, ключових елементів для росту рослин. Загалом, позитивна динаміка початкової кількості біогенних елементів створює сприятливі умови для вирощування високопродуктивних сільськогосподарських культур в Одеській області.

На рисунку 3 наведена динаміка загального виносу біогенних речовин з водоохоронної зони річки або іншого водного об'єкту з сільськогосподарських угідь Одеської області, зайнятих під вирощуванням зернових та зернобобових культур.

Графік відображає динаміку загального виносу біогенних речовин з водоохоронної зони водного об'єкту. Винос азоту, фосфору та калію є високим, оскільки ці елементи є важливими для розвитку рослин.

На рисунку 4 вказана динаміка сумарного виносу біогенних речовин з ділянки внаслідок порушень технології з сільськогосподарських угідь Одеської області, зайнятих під вирощуванням зернових та зернобобових культур.

Графік ілюструє збільшення сумарного виносу біогенних речовин з ділянки через порушення технології. Спостерігається щорічне зростання цього виносу, що є наслідком неправильного використання

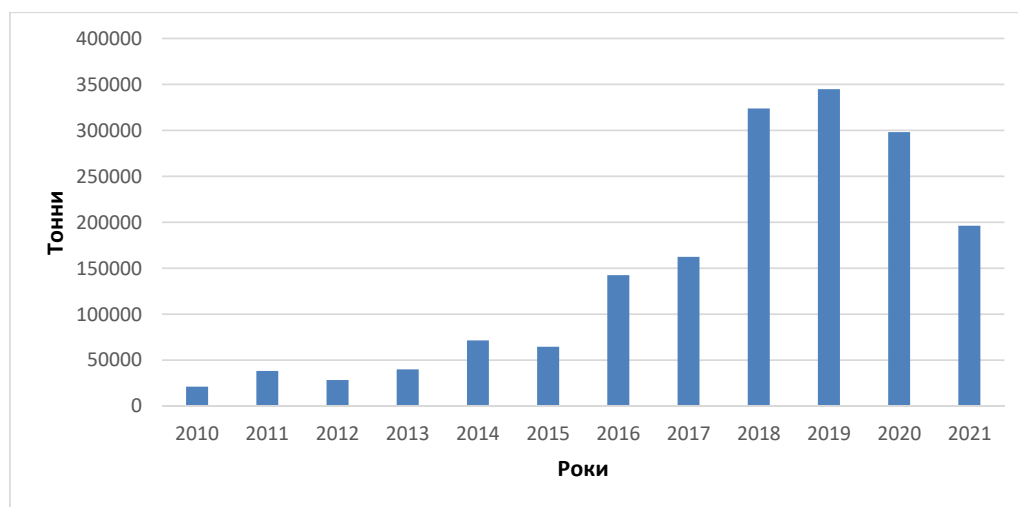


Рис. 2. Динаміка початкової кількості внесених біогенних елементів

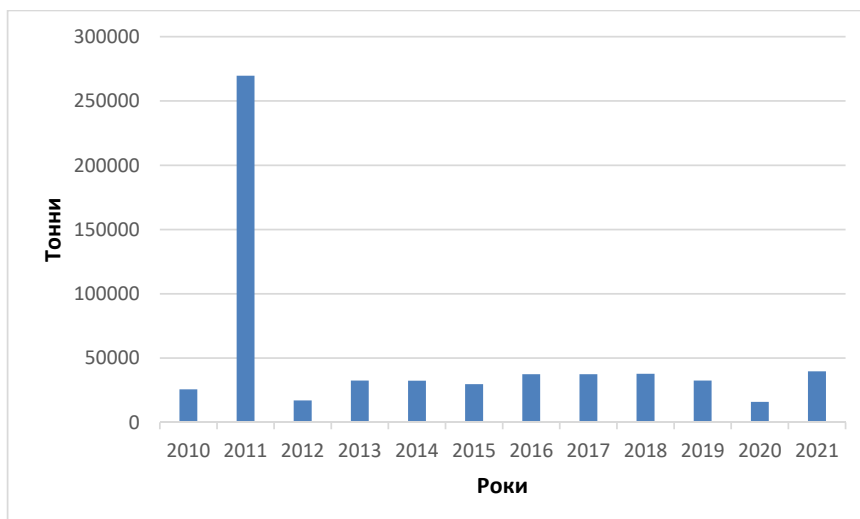


Рис. 3. Динаміка загального виносу біогенних речовин з водоохоронної зони річки або іншого водного об'єкту

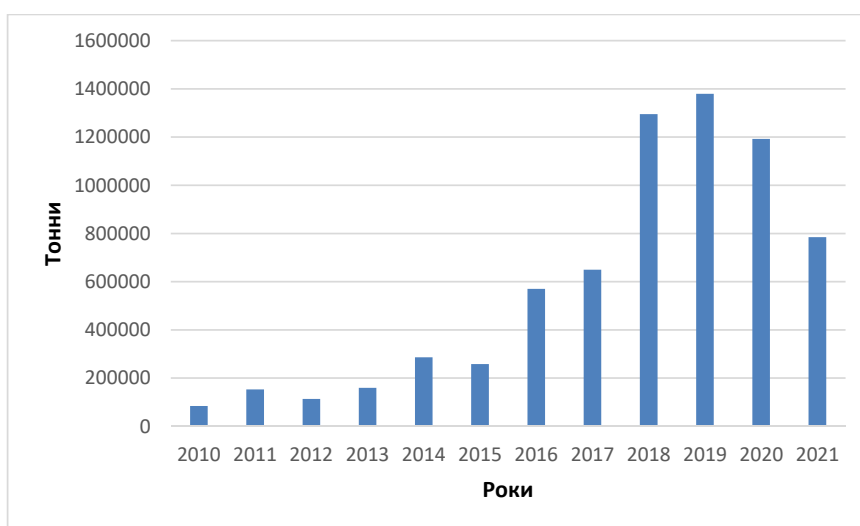


Рис. 4. Динаміка сумарного виносу біогенних речовин з ділянки внаслідок порушень технології

мінеральних добрив і їхнього вимивання в ґрунтові води та річки. Відзначено, що сумарний винос азоту, фосфору та калію піднімається, оскільки ці елементи є ключовими для росту рослин і це свідчить про серйозні проблеми на ділянці внаслідок порушень технології.

На рисунку 5 вказана динаміка загального виносу біогенних речовин з ділянки внаслідок порушень технології з сільськогосподарських угідь Одеської області, зайнятих під вирощуванням зернових та зернобобових культур.

Графік відображає динаміку загального виносу біогенів з ґрунтів Одеської області. Виявлено, що винос азоту є найвищим, що відображає його ключову роль у рості рослин. Виноси фосфору і калію також високі.

На рисунку 6 представлена динаміка коефіцієнту втрат біогенів з сільськогосподарських угідь

Одеської області, зайнятих під вирощуванням зернових та зернобобових культур.

Графік відображає зростання коефіцієнту втрат біогенів з ґрунтів Одеської області. Ця тенденція обумовлена збільшенням використання мінеральних добрив, неправильною агротехнікою та несприятливими кліматичними умовами, що призводить до вимивання біогенів.

На графіку видно, що коефіцієнт втрат азоту найвищий, оскільки азот є ключовим елементом для рослин. Коефіцієнти втрат фосфору і калію також високі. Загалом, динаміка вказує на негативний вплив на стан ґрунтів і навколишнє середовище через збільшення втрат біогенів.

Головні висновки. Графік динаміки виносу біогенів з площ, зайнятих під зернові та зернобобові культури в Одеській області, підтверджує втрати біогенних елементів в період вегетаційного росту та розвитку рослин.

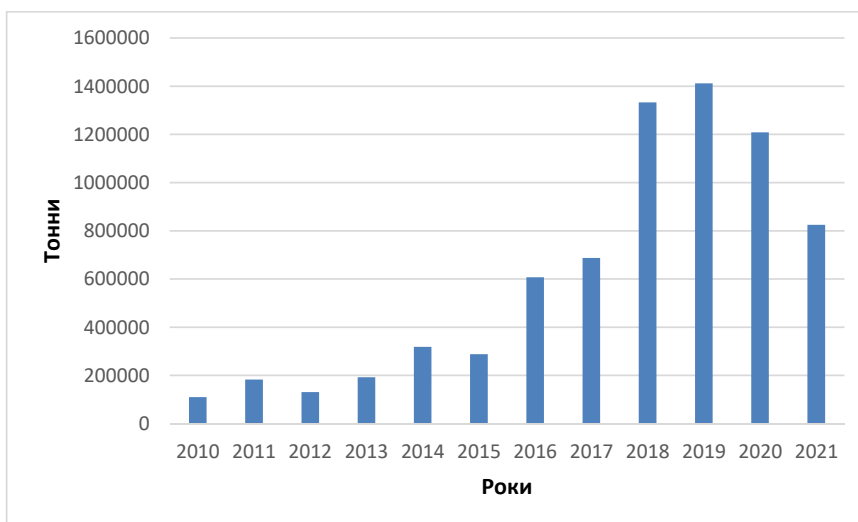


Рис. 5. Динаміка загального виносу біогенів

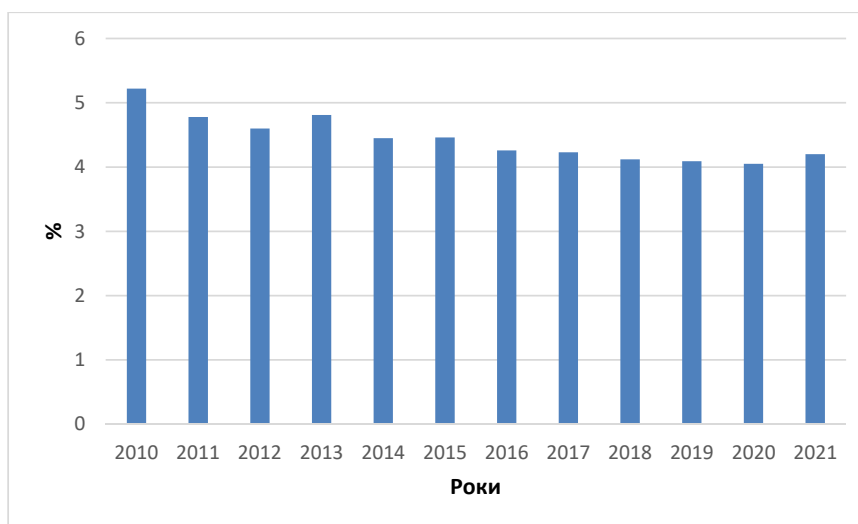


Рис. 6. Динаміка коефіцієнту втрат біогенів

Загальний винос має тенденцію до зростання, обумовлену збільшенням площі сільськогосподарських угідь, зайнятих під дані культури у зв'язку із попитом на зернову та зернобобову продукцію.

Використання результатів дослідження. Більш екологічними для ґрунтового – рослинного покриву є органічні добрива, тому проблема оптимізації внесення мінеральних добрив і системи чергування культур для забезпечення сталого розвитку сільськогосподарського виробництва є дуже актуальною і отримані результати роботи можуть бути використані саме для раціонального використання мінеральних добрив. Результати дослідження в Одеській області служать основою для розробки стратегій сільськогосподарського виробництва та забезпечення екологічної стійкості.

Ці дані можуть бути використані для:

1. Оцінки стану ґрунтів та їх деградації: Дослідження дозволяє визначити баланс біогенних

елементів у ґрунтах та оцінити вплив сільськогосподарської діяльності на їх стан. Ця інформація важлива для розробки заходів щодо охорони ґрунтів та підвищення родючості.

2. Оптимізації використання мінеральних добрив: Результати визначають оптимальні норми та строки внесення мінеральних добрив для різних сільськогосподарських культур в умовах області. Це сприяє зменшенню негативного впливу надмірного внесення добрив на навколишнє середовище.

3. Розвитку екологічно безпечних технологій сільськогосподарського виробництва: Дослідження служить підґрунтям для створення екологічно безпечних підходів, таких як органічне землеробство, сидерація та мінімальне обробіток ґрунту. Ці технології сприяють скороченню використання мінеральних добрив та пестицидів, а також підвищують стійкість сільськогосподарських систем до змін клімату.

Література

1. Звіти / Департамент екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації. Офіційний веб-портал. URL: <https://ecology.od.gov.ua/zvity/> (дата звернення: 12.09.2023).
2. Статистична інформація. Сільське, лісове та рибне господарство. Рослинництво (1995-2022) / Головне управління статистики в Одеській області. Офіційний веб-портал. URL: <http://od.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 02.10.2023).
3. Полетаєва Л.М., Юрасов С.М., Ільїна В.Г. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. Одеса: ВМВ, 2006. 181 с.
4. Моделювання та прогнозування стану довкілля: збірник методичних вказівок до практичних робіт / Л.М. Полетаєва та ін. Одеса, 2006. 140 с.

RESOURCE POTENTIAL OF THE GENUS *SORBUS* L. PLANTS AS SOURCE OF METABOLITES WITH ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY

Liashenko O., Khromykh N., Lykholat Yu.
Oles Honchar Dnipro National University
Gagarin Ave., 72, 49010, Dnipro
Khromykh2012@gmail.com

The work is devoted to determining the anti-inflammatory ability of the genus *Sorbus* L. plants and establishing correlations between the biological activity of plants and the phenolic compounds content and composition. Common plant species in Ukraine, known in traditional medicine for various curative and preventive properties, are a valuable, but insufficiently studied source of biologically active compounds. The rationale for the relevance of research aimed at identifying natural substitutes for the currently used synthetic anti-inflammatory drugs in order to get rid of the negative side effects of their use is provided. The anti-inflammatory ability of rowan plants was evaluated by the degree of inhibition of heat-induced denaturation of albumin by plant leaf extracts in comparison with the effect of the well-known synthetic drug diclofenac. A dose-dependent decrease in albumin denaturation by ethanolic extracts of the leaves of *S. domestica*, *S. torminalis*, and *S. aucuparia* plants was experimentally established. At the highest concentration of extracts, their activity in inhibiting heat-induced albumin denaturation was almost half of the maximum activity of diclofenac, which indicates a significant anti-inflammatory potential of plant extracts. Correlation analysis revealed a strong positive relationship between the degree of inhibition of heat-induced denaturation of albumin and the content of polyphenols, flavonoids and phenolic acids in plant extracts. The study of the seasonal dynamics of the total content of phenolic compounds in plant leaves showed the highest level of their accumulation in June in all species, which can serve as a criterion for selecting the best plant material. It was concluded that the ethanolic extracts of *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia* leaves are an available source of biologically active secondary metabolites, potentially suitable for the development of natural anti-inflammatory drugs. *Key words*: rowan species, plant extracts, biologically active substances, anti-inflammatory activity, polyphenols, flavonoids, phenolic acids.

Ресурсний потенціал рослин роду *Sorbus* L. як джерела метаболітів із протизапальною активністю. Ляшенко О.В., Хроміх Н.О., Лихолат Ю.В.

Робота присвячена визначенню протизапальної здатності рослин роду *Sorbus* L. та встановленню кореляційних зв'язків між біологічною активністю рослин і вмістом та складом фенольних сполук. Поширені в Україні рослинні види, відомі у традиційній медицині різноманітними лікувально-профілактичними властивостями, є цінним, проте недостатньо вивченим джерелом біологічно активних сполук. Надано обґрунтування актуальності досліджень, спрямованих на виявлення природних замінників використовуваних наразі синтетичних протизапальних препаратів задля позбавлення від негативних побічних ефектів їх застосування. Протизапальну здатність рослин горобини оцінювали за ступенем інгібування теплової денатурації альбуміну екстрактами листя рослин у порівнянні з ефектом відомого синтетичного препарату диклофенак. Експериментально встановлено дозово-залежне зниження денатурації альбуміну етаноловими екстрактами листя рослин *S. domestica*, *S. torminalis* і *S. aucuparia*. За найвищої концентрації екстрактів їх активність щодо інгібування теплової денатурації альбуміну становила майже половину від максимальної активності диклофенаку, що свідчить про значний протизапальний потенціал рослинних екстрактів. Кореляційний аналіз виявив сильний позитивний зв'язок між ступенем інгібування теплової денатурації альбуміну та вмістом поліфенолів, флавоноїдів і фенольних кислот у рослинних екстрактах. Дослідження сезонної динаміки загального вмісту фенольних сполук у листі рослин показало найвищий рівень їх накопичення у червні в усіх видів, що може слугувати критерієм відбору рослинної сировини. Зроблено висновок про перспективність етанолових екстрактів листя *S. domestica*, *S. torminalis* і *S. aucuparia* як доступного джерела біологічно активних вторинних метаболітів, потенційно придатних для розробки натуральних протизапальних препаратів. *Ключові слова*: види горобини, рослинні екстракти, біологічно активні речовини, протизапальна активність, поліфеноли, флавоноїди, фенольні кислоти.

Formulation of the problem. One of the modern trends in the human health protection is the elimination of synthetic compounds from food and the use of natural plant extracts as the raw materials for the medicines production [1]. The most valuable are the extracts of traditional medicinal plants, which contain biologically active substances in perfect synergy, which can promise to obtain a therapeutic effect without undesirable consequences. The use of bioactivity of plants is becoming common because of the harmfulness and toxicity of some synthetic drugs. In particular, the unwanted side effects of some effective synthetic non-steroidal

anti-inflammatory drugs can manifest in the form of heartburn, rash, and gastrointestinal bleeding [2]. The above determines the expediency of research aimed at identifying the anti-inflammatory activity of plant extracts with the potential for practical application of the results for the development of medicinal products.

The aim of the work was to estimate the anti-inflammatory ability and its correlation with the polyphenols content in leaf extracts of the genus *Sorbus* L. plants, widespread in the flora of Ukraine.

The relevance of research. Plants are the important source of health-protective substances for humans,

including the *Sorbus* species, which are known in ethnopharmacology, but remain an underestimated and little-studied in terms of their different therapeutic effects' confirmation [3]. The anti-inflammatory activity was shown today in a few *Sorbus* species by the in vitro assays [4; 5], which indicates the promising direction of such researches.

Connection of the article with important scientific and practical tasks. Achievement of the research objective will improve the understanding the relationship between the health-promoting effects of plants and the phytochemical compounds that may be responsible for the biological activity, and will also expand the plant resource for the creation of therapeutic agents.

Analysis of recent research and publications. Plants are a traditional source of biologically active compounds that have served humans for a long time. So, it is quite expected that even today about 30% of pharmaceuticals worldwide are made from plant sources [1]. More than 250 species of the genus *Sorbus* L. grow in different climatic zones and are well known for their ethnomedicinal importance, but are underestimated today [3]. In Ukraine, the most common autochthonous species are *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia*. Recent studies confirmed several beneficial medical effects of the extracts derived from different parts of *Sorbus* plants. Anti-inflammatory ability was exhibited by the water extracts of *S. commixta* stem bark [4] and the methanol-water leaf extracts of *S. domestica* [5].

Inflammation is believed to be a normal protective response of living cells of the body to damage or injury, which is necessary as a way to limit and localize irritation, infection, and pathogens [6]. In turn, the body's response to inflammation causes a pathological condition accompanied by redness, heat, swelling and pain and can reduce physiological capabilities [2]. It has been established that inflammation is mainly caused by the formation of free radicals, so the effect of antioxidants may have a protective role in inflammatory processes [7]. In particular, the numerous health-promoting properties of phenolic compounds were associated [8] precisely with their high antioxidant potential, since the presence and distribution of numerous hydroxyl groups in the chemical structure of polyphenols makes them excellent antioxidants. According to the known data [2], inflammation accompanies the course of many diseases, during which the denaturation of intracellular proteins can lead to tissue damage. Therefore, the ability of a substance to inhibit protein denaturation means the potential for anti-inflammatory activity.

Highlighting previously unsolved parts of the general problem to which this article is devoted. This work is caused by the limited knowledge about the anti-inflammatory ability of plant extracts of various species of the genus *Sorbus* L.

The novelty of the study. The comparative studying the anti-inflammatory potential of leaf extracts of

the most common *Sorbus* species in the steppe zone of Ukraine was carried out for the first time.

Methodological and general scientific significance. Analysis of correlation between anti-inflammatory activity and polyphenols, flavonoids and phenolic acids content of leaf extracts of *Sorbus* species reflect a relationship between plant biological activities and phytoconstituents which can be responsible for these effects.

Description of the study. Plant material was collected during 2023 growing season from trees of *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia* in the botanical garden of Oles Honchar Dnipro National University. Washed, dried and crushed leaves were used for the crude extracts preparing. All measurements of polyphenols content and biological activity were carried out in threefold repetition. The results were expressed as mean \pm standard deviation ($\bar{x} \pm SD$). Correlations between biological activities and polyphenols were considered significant at $P \leq 0.05$.

Research methods. Method of cold maceration in 96% ethanol (1:10, w/v) was used to prepare leaf extracts followed by extractant removing at 45 °C with a rotary evaporator IKA® RV 10 (Germany), and dry mass was stored at 4°C.

The anti-inflammatory activity was estimated by the ability to inhibit heat-induced albumin denaturation according to [9] with a slight modification. Tested leaf extracts at concentrations of 800 $\mu\text{g/ml}$, 400 $\mu\text{g/ml}$, and 200 $\mu\text{g/ml}$ were prepared by dissolving evaporated dry mass in ethanol. Fresh chicken egg albumin (5% aqueous solution) served as a protein source. The reaction mixture (1 ml of extract, 1.5 ml of phosphate buffer, and 0.2 ml of albumin) was incubated for 15 min at 37°C, then kept at 70°C for 15 min. After cooling, the optical density of the mixture was measured at 660 nm. Negative control contained distilled water instead of extract; reagent-control did not contain albumin. As a positive standard, anti-inflammatory drug diclofenac sodium was used. The degree of inhibition of albumin denaturation (as a percentage of complete denaturation in the negative control) was calculated using the formula:

$$\text{Percentage inhibition (\%)} = 100 - [(A_{\text{extract}} - A_{\text{reagent-control}}) / A_{\text{negative control}}] \times 100.$$

Total polyphenols content was determined according to [10], measuring at 726 nm the optical density of the reaction mixture (plant extract, Folin-Chiocalteu reagent and sodium carbonate), cooled after standing for 40 minutes at 45°C. Results were expressed in gallic acid (GA) equivalents. The total content of flavonoids was determined using the aluminum chloride method [11] by the optical density of the mixture (extract, acetate buffer and AlCl_3 solution) at 425 nm, and the results were expressed in rutin (Ru) equivalents. The content of phenolic acids was determined according to [8] with Arnov's reagent, measuring the optical density of the mixture at 490 nm and expressing the results in caffeic acid (CA) equivalents.

Study results of crude leaf extracts of *Sorbus* plants showed variability of polyphenols accumulation in plant leaves during the vegetative period (Table 1).

The capacity of tested ethanol leaf extracts of *Sorbus* species to inhibit heat-induced denaturation of albumin varied from $12.56 \pm 0.02\%$ (*S. torminalis* extracts at $200 \mu\text{g/ml}$) to $47.73 \pm 0.11\%$ (*S. domestica* extracts at $800 \mu\text{g/ml}$). The highest albumin denaturation decrease was shown by *S. domestica* extracts, which in concentration of $800 \mu\text{g/ml}$ exceeded the appropriate activities of *S. torminalis* and *S. aucuparia* by 2.50% and 12.13%. The inhibiting ability of plant extracts was comparable with anti-inflammatory activity of the reference drug diclofenac sodium, which inhibited albumin denaturation by 89.14%, 78.64%, and 42.46%, respectively in the concentrations of $800 \mu\text{g/ml}$, $400 \mu\text{g/ml}$, and $200 \mu\text{g/ml}$. The maximal albumin denaturation inhibiting achieved by tested leaf extracts at $800 \mu\text{g/ml}$, were close to diclofenac activity at $200 \mu\text{g/ml}$, which indicate the prominent anti-inflammatory potential of *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia* leaf extracts.

Study results are consistent with data [9] about the *B. racemosa* methanol leaf extract inhibition of heat albumin denaturation by 65.29%, whereas diclofenac activity was 94.9% of inhibition. Similar result was exhibited by *Cycas pectinata* methanol leaf extract [2] in different concentrations (62.5, 125, 250, and $500 \mu\text{g/ml}$), which caused 20.96–38.12% decreasing protein denaturation compared to diclofenac

sodium (65.40–83.50%). Crude root extracts of *Berberis orthobotrys* produced 93.30% inhibition of protein denaturation at $800 \mu\text{g/ml}$, while diclofenac sodium at the same concentration brought about 99.19% suppression of protein denaturation [13].

Correlation analysis established the relationship between the polyphenols, flavonoids, and phenolic acids content and bioactivity of the extracts (Table 2).

The strong positive correlation was revealed between phenolic compounds content in the tested extracts and their ability to decrease heat-inducing albumin denaturation, which confirm the known [12; 14] polyphenols significance for bioactivity of the genus *Sorbus* plants. At the same time, the obtained correlation coefficients also indicate the contribution of non-phenolic compounds in decrease of albumin denaturation, which require further studying.

The results obtained indicate promising leaf extracts of *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia* as the natural source of anti-inflammatory activity. Taking into account the ethnomedical data [15] about the use of preparations made from leaves *S. domestica* and *S. aucuparia* plants as a natural remedy for gastrointestinal problems, one can expect the absence of undesirable side effects of the use of extracts.

Conclusion

1. Ability of leaf ethanol extracts of *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia* to inhibit the heat-induced albumin denaturation had a dose-dependent character, and at the highest concentration might be comparable

Table 1

Seasonal changes of phenolic compounds content in leaves of *Sorbus* plants

Plant species	Total polyphenols content, mg GA/g DW				
	May	June	July	August	September
<i>S. domestica</i>	$31,4 \pm 0,4$	$40,7 \pm 0,2$	$37,7 \pm 0,9$	$29,6 \pm 1,0$	$27,6 \pm 0,2$
<i>S. torminalis</i>	$12,6 \pm 0,4$	$16,5 \pm 0,2$	$9,4 \pm 0,4$	$15,9 \pm 0,9$	$13,5 \pm 0,4$
<i>S. aucuparia</i>	$23,1 \pm 0,3$	$26,9 \pm 0,4$	$21,7 \pm 0,3$	$18,4 \pm 0,8$	$16,9 \pm 0,2$

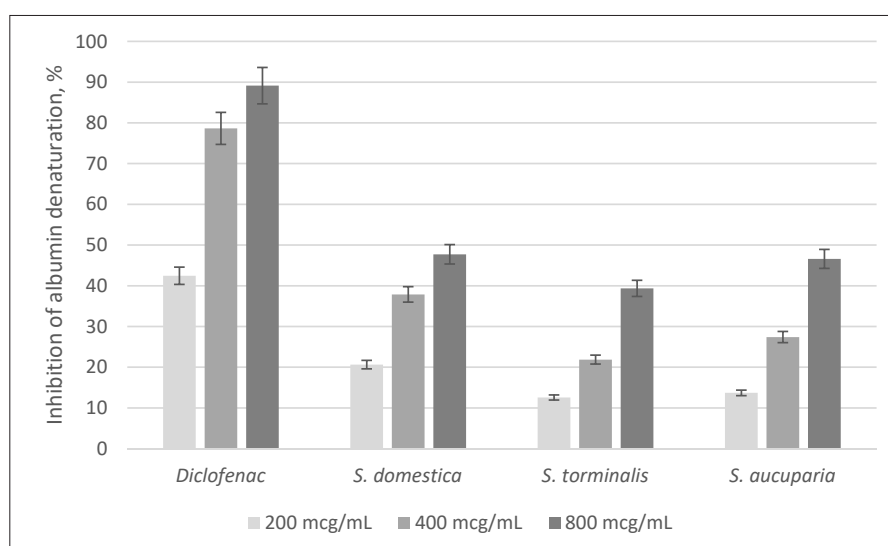


Fig. 1. Inhibition (%) of egg albumin denaturation by leaf extracts of *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia* as compared to diclofenac sodium

Table 2

Correlation between phenolic compounds content and denaturation inhibition ability of the ethanol leaf extracts of *Sorbus* plants

Indicator	Concentration	<i>S. domestica</i>	<i>S. torminalis</i>	<i>S. aucuparia</i>
Polyphenols content in extract	800 µg/ml	198.4 ± 0.5	79.1 ± 0.3	125.1 ± 0.5
	400 µg/ml	119.6 ± 0.3	39.4 ± 0.3	61.6 ± 0.2
	200 µg/ml	79.8 ± 0.3	28.5 ± 0.1	32.4 ± 0.1
Correlation	$y = 0,2145 \cdot x + 11,539; R^2 = 0,7617$			
Flavonoids content in extract	800 µg/ml	37.4 ± 0.3	26.6 ± 0.2	45.3 ± 0.4
	400 µg/ml	12.6 ± 0.2	10.7 ± 0.1	18.7 ± 0.2
	200 µg/ml	8.5 ± 0.1	9.3 ± 0.1	9.2 ± 0.1
Correlation	$y = 0,8642 \cdot x + 11,756; R^2 = 0,7125$			
Phenolic acids content in extract	800 µg/ml	0.69 ± 0.02	0.27 ± 0.02	0.25 ± 0.01
	400 µg/ml	0.21 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.13 ± 0.01
	200 µg/ml	0.17 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.06 ± 0.01
Correlation	$y = 58,745 \cdot x + 14,524; R^2 = 0,7127$			

with the inhibiting capacity of the known anti-inflammatory drug diclofenac sodium. Considering ethnomedical data about the health-protective properties of *Sorbus* plants, one can expect the absence of undesirable side effects of leaf extracts which are promising source for natural anti-inflammatory remedy.

2. Correlation analysis confirmed high contribution of polyphenols, flavonoids, and soluble phenolic acids content into the anti-inflammatory ability of leaf extracts of *Sorbus* species, and indicated the contribution of non-phenolic compounds as well.

3. Studying seasonal dynamics showed the highest polyphenols content in leaves of *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia* collected in June, which indicated the best plant material to extract the phytoconstituents having anti-inflammatory ability.

Prospects for the use of research results. The discovery of significant ability of *S. domestica*, *S. torminalis* and *S. aucuparia* ethanol leaf extracts to inhibit the heat-induced albumin denaturation opens up prospects for obtaining an available and inexpensive natural source of anti-inflammatory agents.

References

1. Anti-inflammatory, anti-diarrheal, thrombolytic and cytotoxic activities of an ornamental medicinal plant: *Persicaria orientalis* / P. Ansari et al. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*. 2016. Vol. 28, № 1. P. 51–58.
2. Chemical profiles, pharmacological properties, and in silico studies provide new insights on *Cycas pectinate* / A. M. Tareq et al. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, № 6. e04061.
3. Sołtys A., Galanty A., Podolak I. Ethnopharmacologically important but underestimated genus *Sorbus*: a comprehensive review. *Phytochemistry Reviews*. 2020. Vol. 19. P. 491–526.
4. Anti-inflammatory activity of *Sorbus commixta* water extract and its molecular inhibitory mechanism / T. Yu et al. *Journal of Ethnopharmacology*. 2011. Vol. 134, № 2. P. 493–500.
5. *Sorbus domestica* L. leaf extracts as functional products: phytochemical profiling, cellular safety, pro-inflammatory enzymes inhibition and protective effects against oxidative stress in vitro / M. Matczak et al. *Journal of Functional Foods*. 2018. Vol. 40. P. 207–218.
6. Abdulbary M., Shakir M. R., Sadik A. M. Detection about the Anti-Inflammatory Effect in Alcoholic Extract of *Rosmarinus officinalis* in vitro. *Journal of Pharmaceutical Sciences & Research*. 2019. Vol. 11, № 4. P. 1531–1533.
7. In vitro anti-inflammatory and wound healing properties of *Andrographis echinoides* and *Andrographis paniculate* / K. Selvaraj et al. *Bioinformation*. 2022. Vol. 18, № 4. P. 331–336.
8. Gawron-Gzella A., Dudek-Makuch M., Matlawska I. DPPH radical scavenging activity and phenolic compound content in different leaf extracts from selected blackberry species. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*. 2012. Vol. 54, № 2. P. 32–38.
9. In vitro xanthine oxidase and albumin denaturation inhibition assay of *Barringtonia racemosa* L. and total phenolic content analysis for potential anti-inflammatory use in gouty arthritis / N. I. Osman et al. *Journal of Intercultural Ethnopharmacology*. 2016. Vol. 5, № 4. P. 343–349.
10. Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 1999. Vol. 299. P. 152–178.
11. Pełkal A., Pyszynska K. Evaluation of aluminum complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods*. 2014. Vol. 7. P. 1776–1782.
12. Olszewska M.A. Variation in the phenolic content and in vitro antioxidant activity of *Sorbus aucuparia* leaf extracts during vegetation. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 2011. Vol. 68, № 6. P. 937–944.
13. Alamgeer, Uttra A. M., Hasan U. H. Anti-arthritis activity of aqueous-methanolic extract and various fractions of *Berberis orthobotrys* Bien ex Aitch. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2017. Vol. 17. Article number 371.
14. Phytochemical and antioxidant profiles of leaves from different *Sorbus* L. species / L. Raudonė et al. *Natural Products Research*. 2015. Vol. 29, № 3. P. 281–285.
15. Kültür Ş. Medicinal plants used in Kırklareli Province (Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*. 2007. Vol. 111, № 2. P. 341–364.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ МАТЕРІАЛІВ (НА ПРИКЛАДІ КОЛИШНЬОГО ВО «ПХЗ»)

Микитась Д.О.¹, Білоус М.А.¹, Полушкін Ю.Ю.², Іващенко Т.Г.³, Гунько С.О.⁴, Рець Є.Ю.⁵

¹Державне підприємство «Бар'єр»

пр. Аношкіна 179Б, 51938, м. Кам'янське

²Державне спеціалізоване підприємство «Об'єднання «Радон»

³Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

⁴Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро

⁵Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, 49000, м. Дніпро

dengv-sev@ukr.net, beloys_mihail@ukr.net, y.y.pol@radon.net.ua,
emaa.dea@ukr.net, goonko@gmail.com, recz977@gmail.com

Висвітлені й узагальнені результати ретроспективних інформаційно-аналітичних досліджень. Керуючись ними, розглянуто науково – екологічну інформацію щодо створення системи захисту навколишнього середовища від розповсюдження радіаційного зараження з огляду на антропогенну діяльність промислового напрямку на прикладі колишнього ВО «Підніпровський хімічний завод».

Зважаючи на те, що очищення поверхонь будь-якого типу від радіонуклідів вимагає певного виду поводження з відходами або радіоактивно забрудненими матеріалами (РЗМ) – зберігання, захоронення, утилізацію тощо, власне, як і будь-яка діяльність з відновлення, потребує попереднього розроблення заходів щодо поводження з відходами та системи захисту навколишнього середовища, що безпосередньо межує з такими місцями зберігання.

Окреслені питання щодо прийняття рівнів звільнення радіоактивно забруднених матеріалів, особливо за ситуацій, коли застосовуються обмеження на їх використання. З'ясовано, що поводження з відходами, які потребують дезактивації, зумовлює вирішення численних технічних, логістичних та коротко- і середньострокових питань, які мають повною мірою й обов'язково враховуватися у будь-якому розроблюваному плані, спрямованому на реабілітацію великих територій.

Кожен з варіантів вимагає виділення РЗМ територій значної корисної площі від 100 м² до 21500 м², і відповідно в значеннях корисного об'єму від 27800 м³ до 150000 м³. Такі розміри адаптовані в існуюче хвостосховище, яке знаходиться на балансі ДП «Бар'єр». Це – Секція 2 хвостосховища «Сухачівське». Іншими варіантами є майданчик для тимчасового зберігання РЗМ в районі хвостосховища «Південно-Східне» і новозбудоване сховище тимчасового та/або довгострокового зберігання неподалік хвостосховища «Південно-Східне».

Серед засобів пакування РЗМ, що підлягають тимчасовому або довгостроковому зберіганню, рекомендовано використовувати 20-футові контейнери та упаковку РРТ-1.5. Розрахунки потужності дози гамма-випромінювання для таких засобів пакування засвідчують раціональність їх використання.

Статистико-математична обробка (моделювання) показників для даних засобів пакування засвідчить про лінійну залежність зниження рівня дози гамма-випромінювання, яка прямує до нуля при віддаленні від об'єкта більше, ніж на 4 м. Окрім того, рекомендовано обладнати територію навколо складованих об'єктів пакування РЗМ загорожею, яка б унеможливила несанкціонований доступ до них, а також потрапляння диких тварин.

Запропоновані елементи системи захисту навколишнього середовища під час тимчасового чи довгострокового зберігання РЗМ дозволяють значно мінімізувати знаходження з ними населення навколишніх урбанізованих і селітебних зон, а також представників флори і фауни локальних біоценозів. *Ключові слова:* радіоактивно забруднені матеріали, хвостосховища, гамма-випромінювання, засіб пакування.

Establishment of a system of environmental protection from radioactively contaminated materials (on the example of former PCHP). Mykytas D., Bilous M., Polushkin Yu., Ivashchenko T., Hunko S., Rets Ye.

Based on the analysis and generalization of the results of retrospective information and analytical studies, a review of scientific information on the creation of an environmental protection system to avoid the spread of radiation contamination through anthropogenic activities of the industrial sector is presented on the example of the former PA "Pridniprovskiy Chemical Plant".

Considering the fact that cleaning of any surfaces from radionuclides requires a certain type of waste management or radioactively contaminated materials (RCM) – storage, burial, disposal, etc., any type of remediation activity requires the preliminary development of waste management measures and an environmental protection system that located near such a storage areas.

The issue of adopting radioactively contaminated materials clearance levels is considered especially for situations where restrictions on their use will be applied. It is found that the waste management in need of decontamination raises numerous technical, logistical and short- and medium-term issues that must be fully and necessarily considered in any plan aimed at the rehabilitation of large areas.

The article provides the characteristics of the objects where radioactively contaminated materials to be collected and stored are located, as well as two options for placing them for their temporary or long-term storage.

Each of the options requires the allocation for RCM territories of a significant area from 100 m² to 21500 m², and, accordingly, in the useful storage volume from 27800 m³ to 150000 m³. Such dimensions fit into the existing tailing, which belongs to SE "Barrier". It is Section 2 of "Sukhachivske" tailing. Another option is a site for a temporary RCM storage, or a newly built temporary and/or long-term storage facility near the "Pivdenno-Skhidne" tailing.

Regarding the packages with RCM that are subject to temporary or long-term storage it is recommended to use 20-foot containers and flexible packages PPT-1.5. According to the calculations of the dose rate of gamma radiation of these packages, they indicate the rationality of their use.

Statistical and mathematical processing (modelling) of these indicators for these packages indicates a linear dependence of the decrease in the level of gamma radiation dose, which tends to zero at a distance of more than 4 m from the object. In addition, it is recommended to equip the area around the established objects for RCM storage with a fence which would prevent unauthorized access to this area, as well as the entry of wild animals.

The proposed elements of the environmental protection system for temporary or long-term storage of RCM can significantly minimize the presence with them of the population of the surrounding urbanized and residential zones, as well as representatives of the flora and fauna of local biocenoses. *Key words*: radioactively contaminated materials, tailings, remediation, packaging, gamma radiation.

Постановка проблеми. Зважаючи на велику небезпеку, що можуть спричинити радіоактивні елементи, їх пошук та утилізація мають пріоритетне значення як для моніторингу стану навколишнього природного середовища, так і для забезпечення здоров'я людей, які перебувають неподалік. Джерела, що випромінюють радіацію чи отруйних газ, наприклад, радон, можуть знаходитися під товщою ґрунту та непомітно для людей впливати на них. [1]. Так, вчені Gutiérrez-Alvarez, I.; Martín, J.E. et al. у своїй праці [2] розглянули продуктивність різних методів відбору радону, аналогічні дослідження були проведені іспанськими науковцями [3].

Тема розроблення систем для виявлення радіоактивного забруднення ретельно досліджується науковцями світу, не втрачаючи своєї актуальності.

Робота португальських вчених [4] присвячена оцінці масової активності та концентрацій природних радіонуклідів у хвостосховищах поліметалевих та Ra/U копалень.

На сьогодні активно здійснюються дослідження з питань розвитку програм моніторингу радіаційної активності навколишнього середовища та утилізації радіоактивно забруднених матеріалів.

Щодо утворення значної кількості відходів від видобутку залізняку та проблем їх утилізації в своїй праці розглядають Thejas, H.K.; Hossiney, N. [5]. У ній автори зробили короткий огляд екологічних проблем, спричинених неправильною утилізацією відходів, а також методів їх вторинного використання у будівельній галузі з метою зменшення забруднення навколишнього середовища.

Прпця Araujo, F.S.; Tabora-Llano, I. et al. [6] присвячена дослідженням основних методів переробки та повторного використання хвостів гірничодобувної промисловості, розглядаються передові технології, зокрема їх переваги та обмеження, а також перспективи впровадження.

Інвентаризація хвостів металургійних копалень у Фінляндії показала [7], що у відходах містяться

значні концентрації багатьох критичних металів. У роботі Phillip, E.; Choo, T.F.; Khairuddin et al. [8] представлені результати використання геополімерів як сорбентів для видалення радіоактивних забруднювачів з рідких потоків відходів та іммобілізаційних матриць для локалізації різних радіоактивних відходів.

Зважаючи на те, що очищення поверхонь будь-якого типу від радіонуклідів вимагає певного виду поводження з відходами або радіоактивно забрудненими матеріалами – зберігання, захоронення, утилізацію, як і будь-яка інша діяльність з відновлення, вимагає попереднього розроблення заходів щодо поводження з відходами та системи захисту навколишнього середовища, що безпосередньо межує з місцями зберігання.

У 1948 році було започатковано уранове виробництво у місті Кам'янське на базі виробничих потужностей ВО «Придніпровський хімічний завод». Як відомо, 65% всіх уранових руд колишнього Радянського Союзу перероблялися саме в цьому промисловому комплексі. Значення підприємства було дійсно велике, бо навіть один з найбільших уранових хімічних заводів у колишньому СРСР, який був заснований у казахському місті Шевченко, був побудований саме на технологіях, розроблених саме на ВО «Придніпровський хімічний завод».

Протягом чотирьох десятиліть роботи ВО «Придніпровський хімічний завод» на ньому сформувалася велика кількість радіоактивних відходів. З початку на цьому підприємстві перероблялися уранові руди з родовища Вісмут, розташованому на кордоні Чехії та колишньої НДР, а потім з вітчизняних родовищ у Жовтих Водах і казахського Мангішлаку [9].

Після закриття підприємства ВО «Придніпровський хімічний завод» у 1991 році, після 44 років роботи на майданчику, протягом 30 років майже не проводилася дезактивація об'єктів. Через це небезпечність будівлі колишнього підприємства приходили в небезпечний стан, і крім того на його

території накопичилось близько 7100 м³ радіоактивно забруднених матеріалів та обладнання (РЗМ), які перебувають на всій території майданчика, і не відома на сьогодні кількість РЗМ в забруднених ґрунтах. Переважно РЗМ зосереджені в будівлях, які використовувались у виробничих процесах, але численні радіоактивно забруднені ділянки розташовані по всій території майданчика ВО «Придніпровський хімічний завод» [10].

Таким чином, постало питання про розроблення чіткої та ефективної системи захисту навколишнього середовища від РЗМ, які утворилися ще за часів експлуатації виробничих приміщень ВО «Придніпровський хімічний завод» і після його реструктуризації. Дане питання є досить актуальним для сьогодення Кам'янського, спроба його розв'язання лягла в основу даної наукової роботи.

Починаючи з реструктуризації колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» у 1991 році було припинено переробку уранових руд для виробництва оксиду рани в місті Кам'янське. Таким чином протягом інтенсивної виробничої діяльності, котра тривала понад 40 років з 1948 року по 1991 рік, а також подальший 30-річний період бездіяльності щодо дезактивації території підприємства від радіаційного зараження, накопичилось близько 7100 м³ радіоактивно забруднених матеріалів та обладнання. Крім заходів щодо збирання РЗМ з території колишнього підприємства, також важливо визначити якнайбільш ефективний і безпечний метод зберігання зібраних РЗМ. Для цього необхідно створити систему захисту навколишнього середовища від об'єктів зберігання РЗМ.

Виклад основного матеріалу. Метою даної роботи – розробка системи захисту навколишнього середовища від РЗМ, які підлягають тимчасовому або довгостроковому зберіганню, на прикладі колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» в м. Кам'янське Дніпропетровської області.

Об'єкт дослідження: ефективність заходів щодо збереження РЗМ і їх захист від стороннього впливу.

Предмет дослідження: вплив характеристик складових системи збереження РЗМ (упаковки з РЗМ) на ефективність збереження навколишнього середовища.

Надзвичайно важливим питанням сьогодення є розробка і побудова чітких критеріїв оцінки та заходів щодо захисту як територій, які використовуються в якості хвостосховищ, так і територій, які безпосередньо межують з ними. Такі критерії оцінки і захисту об'єктів по збереженню промислових відходів із вмістом радіонуклідів у значних кількостях дозволять проводити більш активну та ефективну утилізацію і переробку забруднених ґрунтів. Тому розглянемо деякі підходи та заходи щодо безпечного поводження з ґрунтами, які зазнають радіонуклідного ураження різними шляхами.

Одним з найбільших і найвідоміших прикладів ураження радіоактивними відходами навколиш-

нього середовища був інцидент, який стався внаслідок аварії на АЕС у префектурі Фукусіма (Японія) у 2011 році. Згідно із міжнародною шкалою ядерних подій, що розроблена МАГАТЕ у 1988 році, ця аварія класифікувалася сьомим рівнем, що ставить її майже на одну площину з аварією на Чорнобильській АЕС у 1986 році [11].

Природа дезактиваційних відходів (які здебільшого складаються з відносно низькоактивних матеріалів, що включають забруднений ґрунт, рослинність тощо) вимагає застосування спеціально розроблених процесів переробки, зберігання та захоронення відходів. Зважаючи на велику кількість відходів, надзвичайно важливо розглянути питання про сегрегацію та обробку відходів дезактивації для зменшення їх обсягів з метою мінімізації проміжних обсягів і особливо обсягів захоронення [11].

Фоновий вміст радіонуклідів у ґрунтах. Результати вимірювання вмісту радіонуклідів в ґрунтах, відібраних на фонових точках в районі м. Кам'янське свідчать про дуже низьку концентрацію природних радіонуклідів, що спостерігається на фоновому рівні. В цілому, їх середній вміст коливається в діапазоні 18–60 Бк/кг при рівні вилучення у 1000 Бк/кг. Вміст штучного радіонукліду Cs-137, присутність якого пов'язано з наслідками глобальних викидів внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, коливається в межах 0,9–16 Бк/кг при рівні звільнення у 10000 Бк/кг.

Вміст К-40 відповідає типовим значенням для ґрунтів регіону від 80 Бк/кг для пісків до 500 Бк/кг для чорноземів, при рівні вилучення 10 000 Бк/кг.

Опис технологічних рішень варіантів для тимчасового та/або довгострокового зберігання РЗМ ДП «Бар'єр». У 1992 році на колишній території ВО «Придніпровський хімічний завод» було розпочате перепрофілювання і реструктуризація, в результаті якої були утворено ряд підприємств, серед яких ДП «Бар'єр», до складу яких увійшла частина будівель і споруд колишнього уранового виробництва (див. рисунок 1).

Беручи до уваги все вище зазначене, а також рівні забруднення об'єктів, котрі знаходяться на території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод», постало питання про переміщення радіаційно забруднених окремо розташованих та легко переміщуваних об'єктів на майданчик зберігання упаковок з РЗМ. Такі заходи спрямовані на часткову реабілітацію та поліпшення радіаційної обстановки промислового майданчика колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» шляхом збору та видалення понад 200 радіоактивно забруднених об'єктів та їх розміщення на спеціально обладнаному майданчику для тимчасового зберігання упаковок з РЗМ [9, 10].

У свою чергу зберігання упаковок з РЗМ вимагає додаткового захисту цих матеріалів від пошкодження природним або антропогенним шляхом, щоб не допустити розповсюдження радіаційного забруд-

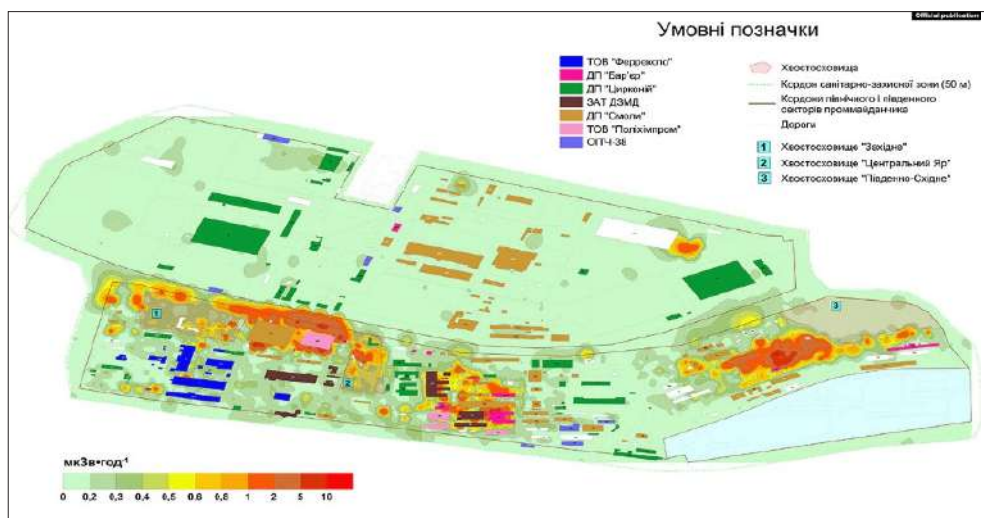


Рис. 1. Карта реструктуризованої території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» на фоні зон їх ураження радіаційним забрудненням

нення навколишнього середовища з несанкціонованим або неконтрольованим переміщенням РЗМ в межах міста Кам'янське та прилеглих до нього територій. Тому для розміщення РЗМ, які перебувають за межами контрольованих зон ДП «Бар'єр» виникає нагальна потреба в додатковому об'єкті для зберігання та/або захоронення РЗМ. В даній роботі розглядається декілька об'єктів/майданчиків для організації сховища для тимчасового та/або довгострокового зберігання РЗМ:

- на хвостосховищі «Сухачівське», Секція 2;
- на майданчику для тимчасового зберігання;
- у новозбудованому сховищі поблизу існуючого хвостосховища «Південно-Східне».

Основним призначенням проектного майданчика є забезпечення оптимального розміщення

проектної кількості упаковок з РЗМ та їх безпечного контрольованого зберігання протягом 10 років.

Варіант 1. Розміщення РЗМ на хвостосховищі «Сухачівське», Секція 2, й у новозбудованому сховищі тимчасового та/або довгострокового зберігання поблизу існуючого хвостосховища «Південно-Східне». Нова секція для розміщення твердих відходів реабілітації ВО «Придніпровського хімічного заводу» організовується в північній частині хвостосховища «Сухачівське-2» з примиканням до розділової дамби між 1 і 2 секціями. Зазначена секція ізольована від основної часті та розташована на сухій частині хвостосховища (див. рисунок 2).

Секція 2 хвостосховища «Сухачівське» експлуатувалась з 1983 по 1991 рр. Ця секція хвостосховища «Сухачівське» використовувалась для накопичення

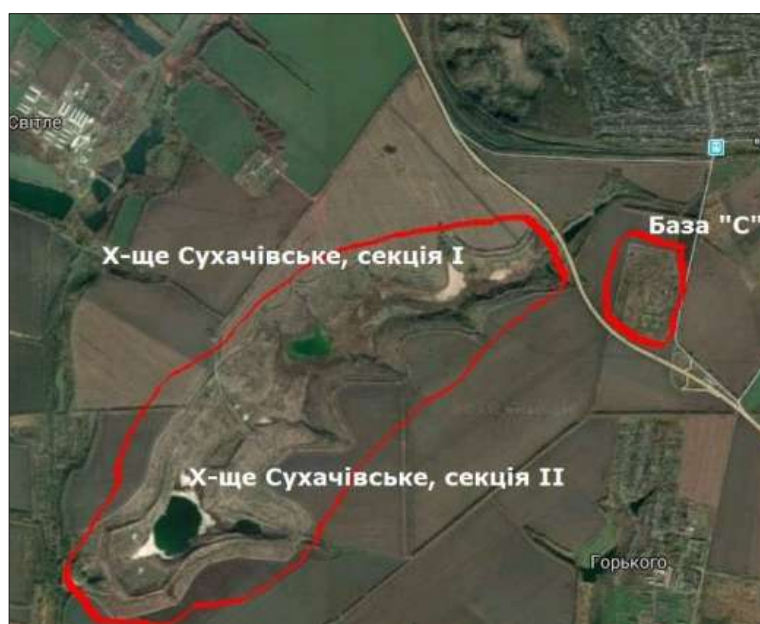


Рис. 2. Карта-схема розміщення хвостосховища «Сухачівське»

як відходів переробки уранової сировини, так і відходів хімічного виробництва [10].

Хвостосховище «Сухачівське» знаходиться на відстані 14 км на південний схід від майданчика колишнього ВО «Придніпровського хімічного заводу», в балці Росоловата. Характеристику сховища для зберігання РЗМ надано у таблиці 1.

Всі роботи по складуванню, ущільненню та ізоляції РЗМ на сховищі виконуються механізовано. Технологічна схема розміщення РЗМ у сховищі складається з наступних операцій:

- перевезення РЗМ з промайданчика до сховища;
- приймання РЗМ, здійснення обліку та вхідного контролю;
- розміщення РЗМ у сховищі;
- зрошення РЗМ (пилопригнічення);
- ущільнення РЗМ;
- ізоляція РЗМ захисним/протирадоновим шаром (перекриття сховища) – рекультивация.

Дещо менші показники сховища має новозбудований об'єкт, який знаходиться поблизу існуючого хвостосховища «Південно-Східне». Він запроєктований для тимчасового та/або довгострокового зберігання РЗМ і має наступні характеристики зазначені в таблиці 2.

Для забезпечення безперешкодної робіт з дезактивації мають бути передбачені підготовчих роботи з:

- огороження та встановлення знаків радіаційної безпеки (РБ) навколо території ділянок;
- видалення рослинності на всіх ділянках;

– облаштування тимчасової (експлуатаційної) під'їзної гравійної автодороги на Ділянці №1 для забезпечення проїзду автотракторної техніки відповідної вантажопідйомності [10].

Варіант 2. Розміщення РЗМ на майданчику для тимчасового зберігання, що знаходиться в межах контрольованої зони №4 хвостосховища «Південно-Східне». Майданчик для контейнерного зберігання РЗМ запроєктовано з метою створення умов безпечного розміщення та зберігання «окремо розташованих» та «легко переміщуваних» РЗМ з промислового майданчику колишнього ВО «Придніпровського хімічного заводу».

Для зберігання РЗМ передбачається використання сталевих 20-футових контейнерів та пакувальних комплектів РРТ-1.5 (далі – упаковки). Доцільність використання цих упаковок для зберігання РЗМ обґрунтована їхніми наступними технічними характеристиками [10].

Технічні характеристики 20-фунтових контейнерів зберігання РЗМ представлені в таблиці 3.

Для зберігання РЗМ передбачається використання сталевих 20-футових контейнерів та пакувальних комплектів РРТ-1.5.

Іншим елементом упаковки РЗМ пропонується обрати пакувальний комплект РРТ-1.5, являє собою гнучкий комплект (з плоским дном, двома кришками та двома застібками-блискавками), який розміщений на металевій опорній рамі, закритий зверху металевою кришкою та закритий з боків оболонкою з тканого поліпропілену з ламінованою поверхнею (тентом).

Таблиця 1

Характеристика сховища РЗМ за варіантом 1

корисний об'єм, м ³	150000,0
корисна площа (з внутрішніми відкосами), м ²	21500,0
середня висота складування, м	12,0
корисний об'єм, м ³	900,0
корисна площа (з внутрішніми відкосами), м ²	5400,0/2000,0
середня висота складування, м	210,0
довжина зовнішнього дренажу по дамбі, м	900,0
довжина внутрішнього дренажу, м	120,0
довжина напірного колектору від насосної станції дренажних вод, м	300,0

Таблиця 2

Характеристика сховища РЗМ поблизу існуючого хвостосховища «Південно-Східне»

корисний об'єм, м ³	27800,0
корисна площа (з внутрішніми відкосами), м ²	8100,0
середня висота складування, м	6,0
довжина дамби, м	450,0
площа дороги по дамбі, м ²	1780,0
площа дороги на з'їзд з дамби в чашу, м ²	210,0
довжина зовнішнього дренажу по дамбі, м	440,0
довжина внутрішнього дренажу, м	120,0
довжина напірного колектору від насосної станції дренажних вод, м	60,0

Таблиця 3

Технічні характеристики 20-фунтових контейнерів для зберігання РЗМ

Зовнішні розміри (орієнтовно)	Довжина, мм	6096,00
	Ширина, мм	2440,00
	Висота, мм	2590,00
Внутрішні розміри (орієнтовно)	Довжина, мм	5902,00
	Ширина, мм	2430,00
	Висота, мм	2352,00
Об'єм контейнера, м ³		34,00
Маса нетто, кг		2440,00
Максимальне навантаження, кг		21560,00
Маса брутто, кг		24000,00

Пакувальний комплект РРТ-1.5 (далі – пакувальний комплект) призначений для зберігання твердих низькоактивних відходів, таких як:

- ґрунти, пісок, щебінь;
- деревина, пластик, гума;
- битий бетон, арматура та інші будівельні відходи (наприклад, цегла, скло, кераміка);
- металеві конструкції.

Майданчик для зберігання упаковок з РЗМ є окремо розташованою ділянкою в південно-східній частині промислового майданчика ВО «Придніпровського хімічного заводу» в районі розміщення хвостосховища «Південно-Східне». Проектований майданчик для зберігання упаковок з РЗМ знаходиться в межах контрольованої зони №4 хвостосховища «Південно-Східне».

Майданчик тимчасового зберігання має складну форму з розмірами сторін 45,00×37,50×30,00×17,50×30,50 м. Разом з тим невеликі геометричні розміри майданчика дозволяють проводити операції з розміщення необхідної кількості упаковок, а саме: 40 сталевих 20-фунтових контейнерів в один ярус або 32 сталевих 20-фунтових контейнера в один ярус та 250 пакувальних комплектів РРТ-1.5 в один ярус [9, 10].

Моделювання потужності дози гамма-випромінювання від упаковок для зберігання РЗМ.

Збирання в упаковки є надійним методом унеможливлення поширення РЗМ у середовищі в тимчасовій або довгостроковій перспективі, самі матеріали з яких зроблені засоби пакування зазнають певної дози опромінення. Відповідно контакт з упакованими РЗМ матиме потенційний негативний вплив на працівників, які обслуговуватимуть розроблені системи захисту навколишнього середовища, що полягають у зберіганні і запобіганні розповсюдження радіоактивного забруднення. Тому для визначення потужності дози гамма-випромінювання від матеріалів, що входять до складу пакування РЗМ, були обрані такі показники:

- тип відходів: ґрунт та продукти переробки;
- тип упаковки: 20-фунтовий контейнер та пакувальний комплект РРТ-1.5;
- джерело активності продукту переробки (усічений конус об'ємом 1,15 м³) моделюється циліндром висотою 1,05 м та ефективним діаметром 1,18 м [9] з товщиною металеві стінки 3 мм. Маса заповненого циліндру 2500 кг, порожнього – 236 кг;
- розрахункова густина продукту переробки становить 1,97 г/см³, густина металу – 7,86 г/см³;
- перелік радіонуклідів продукту переробки – ²³⁸U, ²³⁴Th, ²²⁵Ac, ²³⁴Pa, ²²⁸Ac, ²²⁹Th [9];
- середня потужність дози від джерела активності продукту переробки (циліндра) становить 10 мкЗв/год на відстані 1 см або з урахуванням коефіцієнта запасу 2 становить 20 мкЗв/год.
- максимальні питомі активності радіонуклідів ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po, ²²⁶Ra, ²²⁸Th, ²³⁰Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁵U, ²³¹Pa, ²²⁷Ac, ²³²Th, ²²⁸Ra у ґрунті у буд. 103 ВО «Придніпровського хімічного заводу», що наведені у таблиці 4 [9, 10];
- густина ґрунту становить 1,5 г/см³.

Користуючись такими даними та програмним забезпеченням Microshield 8.02 була розрахована потужність дози гамма-випромінювання для упаковок РЗМ.

Для моделювання джерела активності продукту переробки у вигляді циліндру з переліку радіонуклідів обирали один з найбільш інтенсивним спектром гамма-випромінювання – ²³⁴Pa.

На основі здійснених розрахунків була визначена питома активність радіонукліду ²³⁴Pa у продукті переробки, яка має відповідати потужність дози на відстані 1 см від циліндра 20 мкЗв/год. За даними розрахунку питома активність продукту переробки складає 5,96×10⁴Бк/кг або 59,6 кБк/кг.

Маючи наявні характеристики продукту переробки розраховано потужність дози від 20 фунтового контейнеру, який пропонується заповнювати

Таблиця 4

Максимальні питомі активності радіонуклідів у ґрунті

№	Радіонуклід	Максимальні питомі активності радіонуклідів у ґрунті, Бк/кг
1	Pb-210	4,40E+04
2	Po-210	4,40E+04
3	Ra-226	1,68E+05
4	Th-228	3,00E+03
5	Th-230	2,36E+05
6	U-234	3,12E+06
7	U-238	3,12E+06
8	U-235	1,56E+05
9	Pa-231	1,56E+05
10	Ac-227	1,18E+04
11	Th-232	3,00E+03
12	Ra-228	3,00E+03

продуктом переробки, та мав форму прямокутного паралелепіпеда з такими розмірами: довжиною – 590 см, шириною – 236 см і висотою – 105 см. Такі розміри дозволяють заповнення циліндрами в один ярус 20-футового контейнеру 5 одиниць по довжині та 2 одиниці по ширині [10].

Результати розрахунку потужності дози гамма-випромінювання від джерел активності продукту переробки різної форми наведені у таблиці 5.

Джерело активності у пакувальному комплекті РРТ-1.5 моделювали, консервативно керуючись відомими для ґрунту у буд. 103 ВО «Придніпровського хімічного заводу» максимальними значеннями питомої активності радіонуклідів ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{234}U , ^{238}U , ^{235}U , ^{231}Pa , ^{227}Ac , ^{232}Th , ^{228}Ra у ґрунті.

Результати розрахунку потужності дози від ґрунту для різної геометрії упаковок наведені у таблиці 6.

Отже, аналізуючи данні з таблиць 5 і 6, можна зробити висновок щодо ефективності застосування пакувальних засобів, таких як 20-фунтові контейнери і гнучкі упаковки РРТ-1.5. Навіть за великої концентрації цих пакувальних об'єктів наповнених РЗМ можна простежити чітку лінійну

залежність зниження рівня потужності дози гамма-випромінювання, поступово віддаляючись від об'єкту.

Розглянуті два варіанти розміщення РЗМ, які утворилися на території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод». Кожен з них потребує виділення РЗМ територій значної корисної площі від 100 м² до 21500 м², і відповідно в значеннях корисного об'єму від 27800 м³ до 150000 м³. Такі розміри актуалізовані в існуючі хвостосховища, що знаходяться на балансі ДП «Бар'єр». Серед них можна виділити: Секція 2 «Сухачівське», майданчик в районі хвостосховища «Південно-Східне» і новозбудоване сховище тимчасового та/або довгострокового зберігання поблизу хвостосховища «Південно-Східне».

Серед засобів пакування РЗМ, які підлягають тимчасовому або довгостроковому зберігання, рекомендовано використовувати 20-фунтові контейнери та гнучке комплектування упаковки РРТ-1.5. Згідно розрахунків потужності дози гамма-випромінювання цих засобів пакування свідчать про раціональність їх використання.

Таблиця 5

Результати розрахунку потужності дози від джерел активності продукту переробки різної форми

№	Форма джерела активності продукту переробки	Потужність дози гамма-випромінювання на висоті 52,65 см (циліндр) та 50,00 см (контейнер) на різних відстанях, мкЗв/год							
		1,0 см	10,0 см	25,5* см	50,0 см	78,0* см	100,0 см	200,0 см	400,0 см
1	Циліндр	20,02	15,26	-	5,80	-	2,56	0,88	0,26
2	20-футовий контейнер	-	28,20	22,24	15,68	11,24	9,01	-	-

Примітка: позначкою * відмічена відстань від персоналу до 20-футового контейнеру з РЗМ при здійсненні поточного (регламентного) дозиметричного контролю на майданчику.

Таблиця 6

Результати розрахунку потужності дози від РРТ-1.5 з ґрунтом для різної геометрії упаковок

№	Форма джерела активності	Потужність дози гамма-випромінювання на висоті 0,5 м на різних відстанях, мкЗв/год						
		10,0 см	25,5* см	50,0 см	78,0* см	100,0 см	200,0 см	400,0 см
1	Пакувальний комплект РРТ-1.5	5,11	3,50	2,02	1,17	0,82	0,26	0,07
2	Блок РРТ-1.5, який складається з 2-х од.	5,34	3,99	2,61	1,71	1,28	-	-
3	Блок РРТ-1.5, який складається з 4-х од.	5,35	4,10	2,66	1,73	1,29	-	-
4	Блок РРТ-1.5, який складається з 6-ти од.	5,36	4,19	2,84	1,96	1,50	-	-

Примітка: позначкою * відмічена відстань від персоналу до РРТ-1.5 з РЗМ при здійсненні поточного (регламентного) дозиметричного контролю на майданчику.

Показники вищенаведених таблиць дозволили створити діаграми, представлені на рисунках 3, 4 і 5, які підтверджують таку математичну залежність.

Статистико-математична обробка (моделювання) цих показників для даних засобів пакування свідчить про лінійну залежність зниження рівня дози гамма-випромінювання, що прямує до нуля при відда-

лені від об'єкта більше, ніж на 4 м. Окрім того, рекомендовано облаштувати територію навколо складених об'єктів пакування РЗМ огорожею, яка б унеможливила несанкціонований до них доступ та проникнення диких тварин.

Запропоновані елементи системи захисту навколишнього середовища при тимчасовому чи дов-

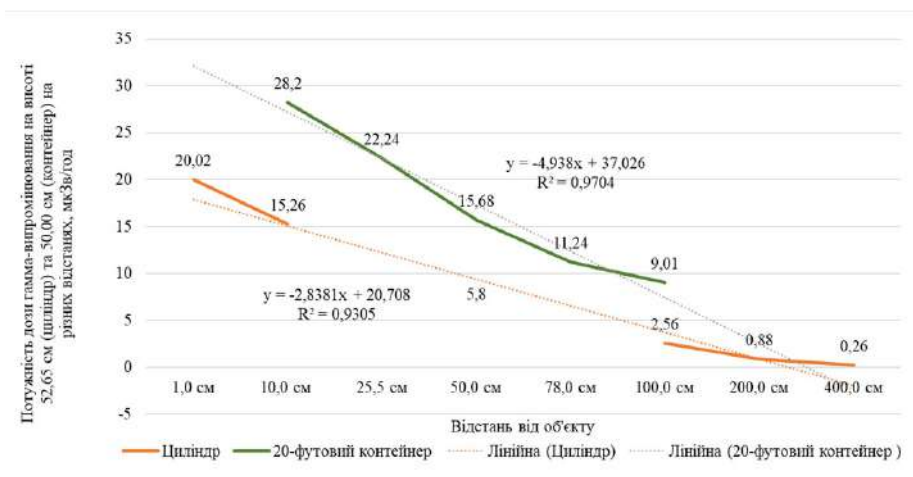


Рис. 3. Діаграма показнику потужності дози гамма-випромінювання щодо циліндра і 20-футового контейнера

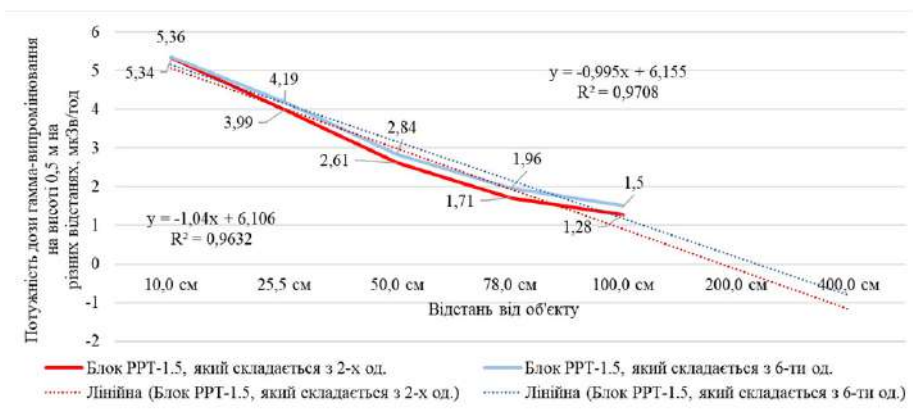


Рис. 4. Діаграма показнику потужності дози гамма-випромінювання щодо блоків РРТ-1.5 з 2 і 6 одиниць

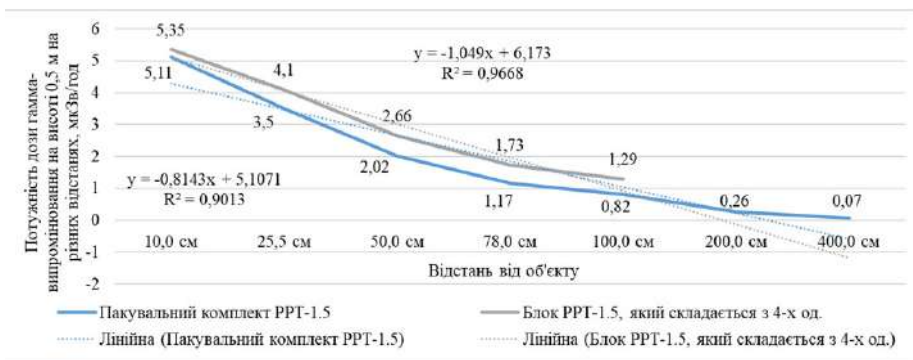


Рис. 5. Діаграма показнику потужності дози гамма-випромінювання щодо блоків РРТ-1.5 з 1 і 4 одиниць

гостроковому зберіганні РЗМ дозволяють значно мінімізувати знаходження з ними населення навколишніх урбанізованих і селітебних зон, а також представників флори і фауни локальних біоценозів.

Висновки. У праці розглянуті два варіанти розміщення РЗМ, що утворилися на території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод». Кожен з варіантів вимагає виділення РЗМ територій значної корисної площі від 100 м² до 21500 м².

Серед засобів пакування РЗМ, що підлягають тимчасовому або довгостроковому зберіганню, рекомендовано використовувати 20-фунтові контейнери та гнучке комплектування упаковки РРТ-1.5. Згідно з розрахунками потужності дози гамма-випромінювання таких засобів пакування засвідчують раціональність їх використання.

Моделювання (статистико-математична обробка) цих показників для даних засобів пакування свідчить про лінійну залежність зниження рівня дози гамма-випромінювання, яка прямує до нуля при віддалені від об'єкта більше, ніж на 4 м.

Запропоновані елементи системи захисту навколишнього середовища при тимчасовому чи довгостроковому зберіганні РЗМ дозволяють значно мінімізувати знаходження з ними населення навколишніх урбанізованих і селітебних зон, а також представників флори і фауни локальних біоценозів.

Отже, застосування методів пакування і хостингу РЗМ як частини заходів з охорони радіаційно забруднених територій є важливою складовою у створенні систем захисту навколишнього середовища від потенційних небезпек.

Література

1. Наконечний, В. Г., Гунько, С. О., Белянська О. Р. Дослідження диференційної міграції мангану у сільськогосподарських землях шляхом комплексування методів. *International Science Journal of Engineering & Agriculture* Vol. 2, No. 2, 2023, pp. 153–165. doi: 10.46299/j.isjea.20230202.15
2. Guteerrez-Alvarez, I.; Martin, J.E.; Adame, J.A.; Grossi, C.; Vargas, A.; Bolivar, J.P. Applicability of the closed-circuit accumulation chamber technique to measure radon surface exhalation rate under laboratory conditions. *Radiat. Meas* 2020, 133, 106284. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2020.106284>
3. Gutierrez-Alvarez, I.; Guerrero, J.L.; Martín, J.E.; Adame, J.A.; Bolivar, J.P. Influence of the accumulation chamber insertion depth to measure surface radon exhalation rates. *J. Hazard. Mater.* 2020, 393, 122344. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122344>
4. Paiva, I.; Marques, R.; Santos, M.; Reis, M.; Prudencio, M.I.; Waerenborgh, J.C.; Pinto, R. Naturally occurring radioactive material and risk assessment of tailings of polymetallic and Ra/U mines from legacy sites. *Chemosphere* 2019, 223, 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.057>
5. Thejas, H.K.; Hossiney, N. A short review on environmental impacts and application of iron ore tailings in development of sustainable eco-friendly bricks. *Mater. Today Proc.* 2022, 61, 327–331. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-2784199/v1>
6. Araujo, F.S.; Tabora-Llano, I.; Nunes, E.B.; Santos, R.M. Recycling and reuse of mine tailings: A review of advancements and their implications. *Geosciences* 2022, 12, 319. <https://doi.org/10.3390/geosciences12090319>
7. Kinnunen, P.; Karhu, M.; Yli-Rantala, E.; Kivikytö-Reponen, P.; Mäkinen, J. A review of circular economy strategies for mine tailings. *Clean. Eng. Technol.* 2022, 8, 100499. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100499>
8. Phillip, E.; Choo, T.F.; Khairuddin, N.W.A.; Abdel Rahman, R.O. On the Sustainable Utilization of Geopolymers for Safe Management of Radioactive Waste: A Review. *Sustainability* 2023, 15, 1117. <https://doi.org/10.3390/su15021117>
9. Носовський А. В., Бондар Б. М. Дозиметрія та захист від іонізуючого випромінювання. Київ : Інститут проблем АЕС НАН України, 2020. 406 с.
10. Технічне рішення – 2021-16.001-ТР. «Переміщення «окремо розташованих» та «легко переміщуваних» об'єктів з території колишнього ВО «ПХЗ» на майданчик тимчасового зберігання упаковок з РЗМ та вимоги до експлуатації майданчика тимчасового зберігання упаковок з РЗМ». 2021, с.98.
11. Ten Years of Remediation Efforts in Japan. Out comes of the Four IAEA-MOE Expert Meetings on Environmental Recovery of Off-Site Areas Affected by the Fukushima Daiichi Accident, IAEA, Vienna, 2023, pp. 194, веб-сайт. URL: <https://www.iaea.org/publications/15193/ten-years-of-remediation-efforts-in-japan>
12. The Atomic Energy Society of Japan, веб-сайт. URL: https://www.aesj.net/publish/fukushima_insights_intro
13. International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Glossary: 2018 Edition, IAEA, Vienna (2019), веб-сайт. URL: <https://www.iaea.org/publications/11098/iaea-safety-glossary-2018-edition>

УДК 631.8

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.20>

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНІДИН СУКЦИНАТУ

Натяжний Я.М., Лапінський А.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

пр. Берестейський, 37, 03056, м. Київ

tnrtazht@xtf.kpi.ua, natyazhny.yaroslav@lil.kpi.ua

Наведено базову характеристику складових полігексаметиленгуанідин сукцината та обґрунтовано доцільність використання даної водорозчинної полімерної сполуки у аграрному секторі. Співставлення параметрів розчинності і констант дисоціації полігексаметиленгуанідину (57 г/100 см^3 ; $pK_a = -13,6$) та бурштинової кислоти ($6,8 \text{ г/100 см}^3$; $pK_a = 4,21$) надали змогу значно простіше прогнозувати синтез речовини, використовуючи один із методів, а саме: напряду, або у водному середовищі.

Розглянуто вплив гуанідинового полімеру на прісноводну флору, взаємодію з ґрунтом та рослинами. Результатом даного аналізу є твердження про негативний вплив зазначеної речовини на дане середовище, хоча коефіцієнт переносу полімеру, із води у рослинність, складають 0,1 %. Проте він піддається руйнуванню певним спектром бактерій, зводячи до мінімуму вплив на навколишнє середовище, що зумовлює його високий ступінь екологічності. Прикладом є сапротрофи або мікроміцети, котрі можуть застосовувати його в якості джерела азоту.

Наведено пояснення феномену низького значення токсичності для людини та поєднання значної бактерицидної дії полімерних похідних гуанідину. Воно полягає у відсутності кислих ліпідів та наявності цвітер-іонів у зовнішньому моношарі, що призводить до утворення позитивного значення заряду, котрий унеможливорює адсорбцію полікатиона на поверхню клітин. Також розглянуто механізм бактерицидної дії.

Виділені два основні напрямки застосування полігексаметиленгуанідин сукцината, а саме: здійснювати нанесення на листя або попередньо обробляти насіння. Дані підходи були сформовані відповідно до властивостей полімерної похідної гуанідину як потенційно ефективного азотного добрива (амідна форма азоту), значно пришвидшує проростання насіння, є плівкоутворювачем. *Ключові слова:* полігексаметиленгуанідин сукцинат, гуанідиновий полімер, бурштинова кислота, токсичність, фітотоксичність, полімер, мономер, константа дисоціації, підживлення, розчинність, знезаражуючий ефект, плівкоутворювач, біодеградація, азотне добриво, бактерицидна дія, фунгіцидна дія, моношар, кислі ліпіди, цвітер-іони, водне середовище, коефіцієнт переносу.

Ecological aspects of the application of polyhexamethylene guanidine succinate. Natyazhnyi Ya., Lapinskyi A.

The detailed characterization of the components of polyhexamethyleneguanidine succinate is given, and the expediency of using this substance in the agricultural sector is substantiated. The comparison of solubility parameters and dissociation constants of polyhexamethylene guanidine (57 g/100 cm^3 ; $pK_a = -13,6$) and succinic acid ($6,8 \text{ g/100 cm}^3$; $pK_a = 4,21$) facilitated a simpler synthesis of the substance using one of the methods, namely, direct synthesis or in an aqueous environment.

The influence of guanidine polymer on freshwater flora, interaction with soil, and plants is considered. The result of this analysis asserts a negative impact of the specified substance on the environment, although the transfer coefficient of the polymer from water to vegetation is only 0,1%. However, it undergoes degradation by a certain spectrum of bacteria, minimizing its impact on the environment, which determines its high degree of ecological safety. An example is saprotrophs or micromycetes, which can utilize it as a nitrogen source.

An explanation of the phenomenon of low toxicity for humans and the combination of significant bactericidal action of polymeric guanidine derivatives is provided. It lies in the absence of acidic lipids and the presence of quaternary ions in the outer monolayer, leading to a positive charge, which prevents the adsorption of polycation on the cell surface. The mechanism of bactericidal action is also considered.

Two main directions of application of polyhexamethylene guanidine succinate are highlighted: application to leaves or seeds. These approaches were formed based on the properties of the polymeric derivative of guanidine – an effective nitrogen fertilizer that significantly accelerates seed germination and acts as a film-forming agent. *Key words:* polyhexamethylene guanidine succinate, guanidine polymer, succinic acid, toxicity, phytotoxicity, polymer, monomer, dissociation constant, fertilization, solubility, disinfectant effect, film-forming agent, biodegradation, nitrogen fertilizer, bactericidal action, fungicidal action, monolayer, acidic lipids, quaternary ions, aquatic environment, transfer coefficient.

Постановка проблеми. Сьогоднішній виклик для агропромислового сектору України, котрий повинен забезпечити високі показники стабільності та продуктивності в умовах війни та стрімкого росту попиту на продовольство. Зокрема, через воєнні дії та окупацію скоротилися площі аграрних угідь, частина оброблювальних ґрунтів є замінованою; спостерігається значний спад

доходів виробників зернових культур через вищезазначені фактори та завдяки зростанню вартості енергоносіїв, порушенню логістичних ланцюгів тощо [1].

Виникає потреба пошуку нових рішень та підходів, що нададуть можливість нівелювання вказаних проблем; окрім того, нікуди не зникають проблеми, пов'язані з достатнім живленням рослин, боротьбою зі шкідниками сільського господарства.

Актуальність дослідження. Одним із методів вирішення продовольчої кризи шляхом раціональної хімізації – використання агрохімікатів багатопільового призначення, здатних, наприклад, одночасно і жити рослини, і захищати їх. Такий підхід дозволяє економити як час так і, як наслідок, фінансові ресурси.

Саме тому розробка та введення полігексаметиленгуанідин (ПГМГ) сукцинату в агропромисловий комплекс може розглядатися як доцільною, оскільки ця синтетична речовина має комбіновані властивості, які сприяють і підвищенню врожайності, і забезпечують достатній рівень захисту культур під час росту.

Проте перед впровадженням в масове використання ПГМГ-сукцинату як синергетичної речовини необхідно розглянути всі аспекти впливу на зміну рівня екологічної безпеки, а саме: ґрунтову та водну системи, можливий вплив на людину тощо.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Результати праці спрямовані на обґрунтування екологічної безпеки полігексаметиленгуанідин сукцинату та доцільності його застосування в українському агрокомплексі з урахуванням чинного законодавства України (закони «Про охорону навколишнього середовища» та «Про дозвільну систему в галузі господарської діяльності»).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасному масиві інформації можна вести мову щодо обмеженої обсяг уваги, яка присвячується полігексаметиленгуанідин сукцинату, в той час як протилежну ситуацію можна спостерігати у випадку гідрохлоридної солі даної речовини. Наприклад недостатня вивченість різних сольових форм полімеру призводить до невідповідності однотипних фізико-хімічних даних. За літературними джерелами температура пом'якшення, спалаху та втрати маси на повітрі становлять 150–160 °С, ~ 400 °С та > 300 °С відповідно [2]. Проте згідно з нашими експериментальними даними останнє значення знаходиться у діапазоні до 90 °С, що значно відрізняється від вищезазначеного [3].

Також на даний момент не існує простого методу отримання полімерних похідних гуанідину. Значного поширення набув спосіб, що включає дві стадії. Перший етап – отримання основи полігексаметиленгуанідину шляхом лужного дегідрохлорування гідрохлоридної похідної речовини. Другий етап передбачає нейтралізацію спиртового розчину органічної кислоти за допомогою водного розчину основи [4].

На нашу думку, доцільним і перспективним є отримання солі безпосередньо з полігексаметиленгуанідину та бурштинової кислоти. Такий підхід можна обґрунтувати завдяки співставленню констант дисоціації та розчинностей (ПГМГ – 57 г/100 см³ при 20 °С, $pK_a = -13,6$; бурштинова кислота – 6,8 г/100 см³ при 20 °С, $pK_a = 4,21$ та 5,72) [3].

Електролітні властивості на тлі достатньої розчинності у воді свідчать на користь «прямого синтезу» полігуанідин-сукцинату.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Зростаюча потреба у пошуку нових екологічно безпечних методів живлення та підживлення сільськогосподарських культур є необхідною складовою сучасності. Мета роботи – наведення розгорнутої характеристик ПГМГ сукцинату, визначення його екологічного впливу на навколишнє середовище. Останнє питання є предметом детальному розгляду, який включатиме прогноз безпосереднього впливу на різні структури біоценозів, механізми бактерицидної дії, аргументацію щодо діапазонів застосовуваних концентрацій речовини та форму застосування ПГМГ-сукцинату.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дана робота є результатом систематизації та опрацювання як власних досліджень, так і робіт інших дослідників даного наукового напрямку.

Викладення основного матеріалу. ПГМГ сукцинат – катіонний органічний поліелектроліт з числом мономерів в діапазоні від 30 до 90, що відповідає молекулярній масі від 700 до 10000 г/моль. При стандартних умовах цей матеріал представляє собою тверду речовину з відсутнім запахом [2].

Катіонною частиною даної речовини є полімер гуанідину, переваги якого перед іншими засобами дезінфекції включають: широкий спектр біоцидної та фунгіцидної активності, низькі значення показників токсичності для макроорганізмів, хімічна інертність та стабільність водних розчинів, швидка біодеградація в природних екосистемах [5].

Аніонна складова – сукцинат-іон, що є залишком бурштинової кислоти. Зазначена речовина належить до насичених аліфатичних карбонових кислот з двома карбоксильними групами. За стандартних умов сформована у вигляді безбарвних кристалів. У макроорганізмах утворюється як метаболіт. Для рослинності дана речовина є важливим інтермедієм у циклі кетонної кислоти.

Для глибшого розуміння впливу ПГМГ-сукцинату на макроорганізми та різноманітні біоценози необхідно розуміти його механізм біоцидної дії. Схематично його можна охарактеризувати наступним чином. Полігексаметиленгуанідин сукцинат належить до групи катіонних поліелектролітів, які мають позитивно заряджені атоми азоту у молекулі. На початковому етапі взаємодії з негативно зарядженою бактеріальною клітиною, молекули ПГМГ адсорбуються на її поверхні, частково блокуючи дихання, живлення та транспорт метаболітів через клітинну стінку. На наступному етапі молекули ПГМГ взаємодіють з цитоплазматичною мембраною мікроорганізму, де, крім електростатичного взаємодії з негативно зарядженими групами, включаючи карбоксильні групи амінокислот, білки та кислі фос-

фоліпіди, відбувається також гідрофобний механізм. Молекула ПГМГ містить неполярні гексаметиленові ділянки, які взаємодіють з фосфоліпідами мембран бактерій. Під час контакту з клітиною відбувається електростатична взаємодія між негативно зарядженими групами на клітинній мембрані та молекулою полімеру, призводячи до переорієнтації молекули та її потрапляння до ліпідного зовнішнього моношару мембрани. Утворений комплекс стабілізується гідрофобними взаємодіями алкільних ланцюгів жирних кислот фосфоліпідів, що призводить до змін електростатичних і гідрофобних взаємодій, стабілізації мембрани та послаблення ліпід-ліпідних взаємодій. Результатом сорбції є порушення бар'єрних і транспортних функцій мембрани. Подальше проникнення неполярного фрагмента молекули ПГМГ призводить до порушення ван-дер-ваальсових взаємодій між молекулами ліпідів, що спричинює спочатку зміну проникності, а потім і цілісності мембрани. Оскільки молекули ПГМГ є ферментативними сполуками, вони можуть інгібувати роботу окремих ферментних систем цитоплазматичної мембрани бактерій. Загальний вплив цих факторів призводить до розладу метаболізму та загибелі клітини [6].

Пояснення феномену, який полягає у поєднанні високої бактерицидної активності та низької токсичності, вбачається в природному електричному заряді соматичних клітин макроорганізмів. З огляду на практичну відсутність кислих ліпідів у зовнішньому моношарі та переважну кількість цвітер-іонів, таких як фосфатидилхолін, фосфатидилетаноламін, сфінгомієлін, їх заряд є позитивним, що спричиняє ускладнення процесу адсорбції полікатіонів на поверхню клітини.

Також ПГМГ не становить значної загрози для вищих наземних рослин. Наявні дані про використання 0,3 % водного розчину даної сполуки за дози 0,5–1,0 дм³/м². За експозиції 7–10 днів не було виявлено жодних негативних змін у структурі рослинності. Коефіцієнт передачі з ґрунту до рослин є незначним та близький до значення 0,01 % [7]. Можливо, що це зумовлено специфікою будови цитоплазматичної мембрани рослин, або через великі розміри молекули ПГМГ, котрі ускладнюють проникнення. Крім того мізерні значення передачі у системі «ґрунт-рослина» можна пояснити абсорбцією полігексаметиленгуанідину органічними та неорганічними компонентами ґрунту, що лімітує можливість переходу полімеру через ланцюги живлення. Необхідно враховувати і біодеградацію полімеру, що може бути зумовлене спротрофами або мікроміцетами, які застосовують його, як джерело азоту.

Через високу адсорбцію ґрунтом та слабку десорбцію у водному середовищі, ймовірність потрапляння даної речовини у водойми є вкрай низькою. Однак навіть за умови надходження полігексаметиленгуанідину – він зв'язує та осаджує з водного середовища більшість органічних та неорганічних сполук,

завислі частинки, іони багатьох металів, поверхнево активні речовини тощо. Завдяки своїм осаджуючим властивостям уже «нейтралізовані» молекули ПАГів потрапляють на дно. Це, у свою чергу, ускладнює їх міграцію по ланцюгах живлення.

Коефіцієнт переходу для системи «вода-рослина» також є не значним та становить менше 0,1 %. Однак необхідно зазначити високу токсичність ПГМГ для гідробіонтів – 0,0001 % (або 1 мг/дм³) [8]. Основну небезпеку становлять продукти деструкції речовини – гексаметилендіамін та його солі, котрі відносять до другого класу небезпеки. Проте він також піддається біодеструкції, результатом якої є аміак та гідроген пероксид [7].

Враховуючи особливості полігексаметиленгуанідин сукцинату, а саме: можливість здійснення підживлення у різні способи, властивість утворювати плівки, належність до азотних добрив високої ефективності, а також здатність використовуватися як стимулятор росту для насіння та можливість його застосування при низьких концентраціях – виникає необхідність визначення оптимального підходу до його застосування.

Найбільша довжина кореня та пагона спостерігалась при внесенні на насіння різних культур речовини за концентрації 0,001 % (у перерахунку на ПГМГ) [4]. А внесення полімерної сполуки на лист може здійснюватися за концентрацій близьких до 0,3 %, що забезпечить формування захисної плівки та, як наслідок, пролонгований ефект.

Головні висновки. Полігексаметиленгуанідин-сукцинат є препаратом багатоцільової дії, що може застосовуватися у агропромисловому комплексі України, оскільки не становить загрози для вищих організмів та біоценозів різної організації.

Низька токсичність щодо людей пояснюється відсутністю кислих ліпідів та наявністю цвітер-іонів у зовнішньому моношарі клітин, який має позитивний заряд, що унеможливує адсорбцію.

Хоча ПГМГ-сукцинат та його продукти деструкції (гексаметилендіамін та його солі) є тимчасово вкрай токсичними для гідробіонтів, їх залучення у водоймища є малоімовірними і недоцільним. Оскільки при надходженні полімерної похідної гуанідину відбувається її контакт з органічними і неорганічними складовими середовища та подальше осадження. Що унеможливує спричинення негативного впливу на місцеві біоценози.

Ефективність полігексаметиленгуанідину на стимулюючі властивості насіння розташовані у діапазоні 0,001 %, що виключає можливість надходження значних концентрацій у навколишнє середовище.

У випадку надлишкової кількості полімеру у ґрунті – він буде трансформований у кінцеву нітратну форму сапротрофами або мікроміцетами, які застосовують дану речовину в якості джерела азоту.

Перспективи використання результатів дослідження. На основі поданої інформації, яка підтверджує належну екологічну безпеку в разі вико-

ристання полігексаметиленгуанідин сукцинату у сільському господарстві, у перспективі можна проводити ряд фітодосліджень, спрямованих на визна-

чення ефективності застосування даної полімерної речовини при обробці листової частини або насіння рослинних культур.

Література

1. Лотиш О. Я. Роль України на світовому ринку зерна: виклики і загрози. Економіка та суспільство. 2022. № 45.
2. Магльована Т. В., Нижник Т. Ю., Жартовський С. В. Екологічні аспекти використання гуанідинових полімерів в умовах надзвичайних ситуацій: монографія. Черкаси: видавець ФОП Гордієнко Є. І., 2017. 210 с.
3. Натяжний Я. М. Полігексаметиленгуанідин-сукцинат як перспективний агрохімічний фітопрепарат комбінованої дії. *Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді: зб. матер. II Всеукр. наук. конф. студ. та молодих вчених (Луцьк, 31 травня 2023 р.)*. Луцьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2023. С. 66–67.
4. Лисиця А. В. Стимулювання проростання насіння полімерними похідними гуанідину. *Наукові доповіді НУБІП України*. 2010. № 3 (19).
5. Лисиця А. В., Мандигра Ю. М., Висоцький А. О. Перспективні напрями застосування похідних гуанідину у ветеринарній медицині, біотехнології та агровиробництві. *Ветеринарна біотехнологія*. 2017. № 30. С. 133–145.
6. Мандигра М. С., Лисиця А. В., Шатурський О. Я. Молекулярні механізми дії дезінфектанту на основі полігексаметиленгуанідину на мембрани клітин. *Ветеринарна медицина*. 2009. № 92. С. 307–311.
7. Лисиця. А. В. Визначення впливу полігексаметиленгуанідину на рослинну складову біоценозів. *Biosystems Diversity*. 2017. № 25(2). С. 89–95.
8. Лисиця. А. В. Препарати групи полімерних похідних гуанідину в загальній системі біологічної безпеки. *Регіональні гео-екологічні проблеми в умовах сталого розвитку: збірник наукових праць III Міжнар. Наук.-практ. конференції (Рівне, 18–20 жовтня 2018 р.)*. Рівне: видавець О. Зень, 2018. С. 257–261.

УДК 504.05

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.21>

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ ОТРУЙНИХ ТА ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ РІДИН ПРИ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Сєрікова О.М.

Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, 61023, м. Харків
sierikova_olena@ukr.net

Резервуари для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин (РЗОЛР) є надзвичайно важливою системою, яка широко використовується в різних галузях промисловості. Особливої гостроти в останні роки набуває проблема слабосейсмічних і несейсмічних територій, схильних до техногенних землетрусів, викликаних підземними вибухами, видобутком корисних копалин і антропогенними впливами. Основними факторами природно-техногенної сейсмічної обстановки територій міст та інших населених пунктів є складна структурно-тектонічна та геолого-літологічна будова територій, розвиток небезпечних геологічних процесів. Під час землетрусів природного або техногенного походження, резервуари для зберігання рідини не тільки спричиняють прямі екологічні катастрофи, але й спричиняють пожежі, вибухи, ядерні витіки, отруєння людей і тварин тощо. Дослідження природних і техногенних впливів на резервуари для зберігання рідини може зменшити екологічну небезпеку систем зберігання отруйних та легкозаймистих рідин. Метою роботи є підвищення рівня екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин шляхом впровадження управлінських та інженерних рішень щодо безпечної експлуатації резервуарів при дії сейсмічних навантажень. Досліджено використання композиційних матеріалів з нановключеннями в резервуарах для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, що дозволяє підвищити надійність резервуарів при сейсмічних навантаженнях і продовжити термін їх служби під впливом природних і техногенних впливів різного характеру. Було запропоновано управляти впливами природних та техногенних факторів на РЗОЛР враховуючи моделі прогнозів сейсмічних навантажень та коливань рідин в РЗОЛР використовуючи алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин. Представлені інженерні рішення, підкріплені результатами математичного моделювання та управлінські рішення щодо керування впливами на техногенні екологічно небезпечні об'єкти дозволять підвищити рівень екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин та запобігти виникненню надзвичайних ситуацій. *Ключові слова:* екологічна безпека, резервуари, легкозаймиста рідина, сейсмічні навантаження, техногенний вплив.

Increasing the environmental safety level of poisonous and flammable liquid storage tanks under seismic loads. Sierikova O.

Tanks for the storage of toxic and flammable liquids are an extremely important system that is widely used in various industries. In recent years, the problem of low-seismic and non-seismic areas prone to technogenic earthquakes caused by underground explosions, mining and anthropogenic influences has become particularly acute. The main factors of the natural and technogenic seismic situation of the cities territories and other settlements are the complex structural-tectonic and geological-lithological structure of the territories, and the development of dangerous geological processes. During natural or technogenic earthquakes, liquid storage tanks not only cause direct environmental disasters, but also cause fires, explosions, nuclear leaks, poisoning of people and animals, etc. Investigation of natural and technogenic impacts on liquid storage tanks could reduce the environmental hazards of toxic and flammable liquid storage systems. The purpose of the work is to increase the environmental safety level of storage tanks for poisonous and flammable liquids by implementing management and engineering solutions for the safe operation of tanks under the seismic loads action. The use of composite materials with nanoinclusions in tanks for the storage of poisonous and flammable liquids has been studied, which allows to increase the reliability of the tanks under seismic loads and extend their service life under the influence of natural and technogenic influences of various nature. It has been proposed to manage the effects of natural and technogenic factors on the reservoirs, taking into account models of seismic loads forecasts and fluctuations of liquids in the reservoirs, using the algorithm of actions during the monitoring of seismic loads on tanks for the storage of poisonous and flammable liquids. The presented engineering solutions, supported by the mathematical modeling results and management solutions to manage impacts on technogenic ecologically dangerous objects, will increase the environmental safety level of storage tanks for poisonous and flammable liquids and prevent emergencies. *Key words:* environmental safety, tanks, flammable liquid, seismic loads, technogenic influence.

Постановка проблеми. Резервуари для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин (РЗОЛР) є надзвичайно важливою системою, яка широко використовується в різних галузях промисловості. Особливої гостроти в останні роки набуває проблема слабосейсмічних і несейсмічних територій, схильних до техногенних землетрусів, викликаних підземними вибухами, видобутком корисних копалин і антропогенними впливами. Основними фак-

торами природно-техногенної сейсмічної обстановки територій міст та інших населених пунктів є складна структурно-тектонічна та геолого-літологічна будова територій, розвиток небезпечних геологічних процесів. Під час землетрусів природного або техногенного походження, резервуари для зберігання рідини не тільки негативно впливають на довкілля, але й можуть спричинити пожежі, вибухи, ядерні витіки, отруєння людей і тварин тощо.

Дослідження природних і техногенних впливів на резервуари для зберігання рідини може зменшити екологічну небезпеку систем зберігання отруйних та легкозаймистих рідин.

У більшості випадків за звичайних умов отруйні та легкозаймисті речовини перебувають у газоподібному або рідкому стані. Проте при виробництві, використанні, зберіганні і перевезенні газоподібні, як правило, стискають, приводячи в рідкий стан. Це різко скорочує займаний ними об'єм. Результатом зовнішнього природного чи техногенного впливу може бути порушення герметичності резервуару, його пошкодження чи руйнування. При аварії чи пошкодженні резервуару в атмосферне повітря викидаються отруйні речовини. Потрапляння отруйних та легкозаймистих рідин з резервуарів для їх зберігання в навколишнє природне середовище (НПС) та їх подальше розповсюдження на територію населених пунктів може бути причиною масових отруєнь людей, тварин, привести до забруднення об'єктів довкілля. Існує також можливість реалізації пожежної небезпеки об'єкта і ризику загибелі людей в результаті впливу небезпечних факторів пожежі у резервуарі для збереження отруйних та легкозаймистих рідин. Залежно від масштабів зараження аварії підрозділяються на приватні, об'єктові, місцеві, регіональні і глобальні [1–2]. Тому актуальним завданням є забезпечення екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин.

Прогнозування впливу та аналіз техногенної небезпеки резервуару для збереження отруйних та легкозаймистих рідин передбачає [2]:

- аналіз пожежної небезпеки технологічної схеми і параметрів технологічних процесів на об'єкті;
- визначення частоти реалізації пожежонебезпечних аварійних ситуацій та параметрів для кожного технологічного процесу;
- побудова полів небезпечних факторів пожежі для різноманітних сценаріїв її розвитку;
- оцінка наслідків впливу небезпечних факторів пожежі на людей за різними сценаріями розвитку пожежі;
- наявність систем забезпечення пожежної безпеки [2];
- оцінку технічного стану резервуару;
- оцінку стану НПС поблизу резервуару та можливість впливу на стан резервуару;
- оцінку реального та потенційного впливу резервуару на НПС;
- планування та впровадження управлінських та інженерних заходів із попередження техногенного впливу на резервуар;
- контроль за додержанням вимог попередження техногенного впливу на резервуар;
- планування та впровадження управлінських та інженерних заходів із попередження негативного впливу резервуару на НПС та виникнення НС;

– контроль за додержанням вимог попередження негативного впливу резервуару на НПС та виникнення НС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових роботах X. Zhang [3], S. Wilson [4], Islamovic F. [5], L.A. Godoy [6], Jaca R.C. [7] досліджено оцінку значущості впливу резервуарів для зберігання рідких вуглеводнів на навколишнє середовище та моніторингу зміни герметичності колекторів, швидкості руйнування їх структури під дією техногенних і природних факторів. Питання, пов'язані з плесканням рідини в резервуарах, розглядалися в роботах Ібрагіма Р.А. [8]. Сейсмічні та ударні навантаження на тонкі оболонки розглядалися в [9–11].

Необхідність контролю та оцінки впливу наноматеріалів на навколишнє середовище для безпеки та ефективного використання нанотехнологій обґрунтовано в [12]. У роботах авторів [13, 14] розглянуто сейсмічні навантаження на резервуари нафтоховищ і запропоновано використання нанокompозитних матеріалів для забезпечення антистатичного ефекту нанокompозитних матеріалів. У роботах [15–17] досліджено механічні характеристики матеріалів з різними вклученнями. Але використання нанокompозитів як резервуарного матеріалу для підвищення їх міцнісних характеристик не досліджено.

В попередніх роботах автора [18] розглянуто використання нанокompозитів як матеріалів резервуарів для підвищення їх міцнісних характеристик.

Актуальною проблемою досі залишається управління впливами на резервуари зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, зокрема сейсмічними навантаженнями різної інтенсивності та походження, а також підвищення їх міцнісних характеристик для запобігання негативного впливу на навколишнє природне середовище.

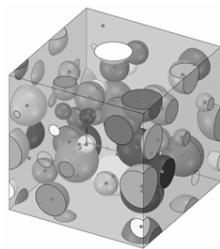
Метою роботи є підвищення рівня екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин шляхом впровадження управлінських та інженерних рішень щодо безпечної експлуатації резервуарів при дії сейсмічних навантажень.

Новизна. Набули подальшого розвитку методи оцінки міцності сталевих конструкцій резервуарів під дією сейсмічних навантажень.

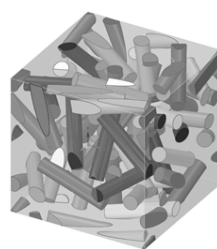
Методи досліджень. На прикладі розглянуто моделі резервуарів для вуглеводнів, виготовлених з композиційних матеріалів. Наведено дані про властивості матеріалів матриці та вклучень. Опрацьовано нанокompозити з алюмінієвою матрицею зі сталевими сферичними вклученнями та зі сталевими та вуглецевими вклученнями-волокнами.

Репрезентативні об'ємні елементи (репрезентативні комірки) для дослідження таких матеріалів представлені на рис. 1(а), 1(б), 1(в), 1(г).

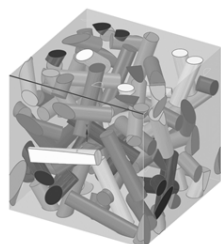
На рис. 1(а) показана типова комірка для алюмінієвої матриці зі сталевими вклученнями у формі наносфер (кульок) діаметром $d = 5\text{--}15$ нм, з об'ємною часткою нановклучень $V = 0,2$ від об'єму



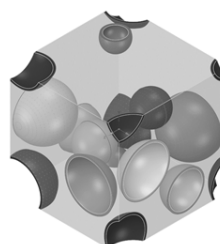
(а) представницька комірка для алюмінієвої матриці зі сталевими включеннями у вигляді наносфер (кульок)



(б) представницька комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі сталевих включень-волокон



(в) представницька комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі вуглецевих включень-волокон



(г) типова комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі сталевих порожнистих сфер

Рис. 1. Репрезентативні комірки

матриці. На рис. 1(б) показана типова комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі сталевих включень-волокон діаметром 5 нм, відносною довжиною $L/d = 5$, об'ємною часткою нановключень $V = 0,2$ від об'єму матриці. На рис. 1(в) показана типова комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі вуглецевих включень-волокон діаметром 5 нм, відносною довжиною $L/d = 5$, об'ємною часткою нановключень $V = 0,2$ від об'єму матриці. На рис. 1(г) представлена типова комірка для алюмінієвої матриці з включеннями у формі сталевих порожнистих сфер діаметром $d = 5-15$ нм і товщиною $h = 0,5$ нм, з об'ємною часткою нановключень $V = 0,2$ об'єму матриці.

Далі за методикою, описаною в [18], розраховано ефективний модуль цих композитів. Результати розрахунків представлені в таблицях 1–4.

Результати розрахунків показали зміцнення отриманих композиційних матеріалів при зниженні щільності.

Результати дослідження та обговорення.

Досліджено використання композиційних матеріалів з нановключеннями в резервуарах для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, що дозволяє підвищити надійність резервуарів при сейсмічних навантаженнях і продовжити термін їх служби під впливом природних і техногенних впливів різного характеру (рис. 2). Результати розрахунків показали, що використання композиційних матеріалів з нановключеннями у вигляді сталевих сфер є оптимальним варіантом екологічно безпечної експлуатації резервуарів в умовах сейсмічних навантажень [18].

В роботі було запропоновано враховувати в управлінні впливами природних та техногенних факторів на РЗОЛР моделі прогнозів сейсмічних навантажень та коливань рідин в РЗОЛР використовуючи алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин (рис. 2).

Таблиця 1

Властивості композиту, армованого вуглецевими волокнами

Матеріал	Алюмінієвий сплав	Сталеві кульки	Композитний матеріал зі сталевими кульками
Щільність, кг / м ³	2770	7850	3787
Модуль Юнга X, ГПа	71	200	86,344
Модуль Юнга Y, ГПа	71	200	86,665
Модуль Юнга Z, ГПа	71	200	86,505
Коефіцієнт Пуассона XY	0,33	0,3	0,3205
Коефіцієнт Пуассона YZ	0,33	0,3	0,3225
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,33	0,3	0,3216

Таблиця 2

Властивості композиту, армованого сталевими волокнами

Матеріал	Алюмінієвий сплав	Сталеві кульки	Композитний матеріал зі сталевими кульками
Щільність, кг / м ³	2770	7850	3759
Модуль Юнга X, ГПа	71	200	86,580
Модуль Юнга Y, ГПа	71	200	86,854
Модуль Юнга Z, ГПа	71	200	86,494
Коефіцієнт Пуассона XY	0,33	0,3	0,3193
Коефіцієнт Пуассона YZ	0,33	0,3	0,3219
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,33	0,3	0,3230

Таблиця 3

Властивості композиту з вуглецевим волокном

Матеріал	Алюмінієвий сплав	Сталеві кульки	Композитний матеріал зі сталевими кульками
Щільність, кг / м ³	2770	1800	2574
Модуль Юнга X, ГПа	71	395	56,4
Модуль Юнга Y, ГПа	71	6	62,1
Модуль Юнга Z, ГПа	71	6	59,8
Коефіцієнт Пуассона XY	0,33	0,2	0,2727
Коефіцієнт Пуассона YZ	0,33	0,4	0,2819
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,33	0,2	0,2868

Таблиця 4

Властивості композиту зі сталевими порожнистими сферами

Матеріал	Алюмінієвий сплав	Сталеві кульки	Композитний матеріал зі сталевими кульками
Щільність, кг / м ³	2770	7850	2574
Модуль Юнга X, ГПа	71	200	57,906
Модуль Юнга Y, ГПа	71	200	58,088
Модуль Юнга Z, ГПа	71	200	57,921
Коефіцієнт Пуассона XY	0,33	0,3	0,3111
Коефіцієнт Пуассона YZ	0,33	0,3	0,3148
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,33	0,3	0,3140

Для задовільної роботи такого алгоритму запропоновано враховувати територію розміщення резервуару як потенційно забруднену в разі, коли прогнози щодо параметрів резервуарів не відповідають розрахункам протягом всього експлуатаційного терміну. Важливим та обов'язковим вважаємо врахування даних та прогнозів про сейсмічні зміни на території розташування РЗОЛР, про умови розташування резервуарів, про техногенні та природні впливи на резервуари та умов збереження отруйних та легкозаймистих рідин в комплексі необхідних заходів щодо забезпечення цілісності резервуару та мінімізації його впливу на навколишнє природне середовище.

Головні висновки. Досліджено використання композиційних матеріалів з нановключеннями в резервуарах для зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, що дозволяє підвищити надійність резервуарів при сейсмічних навантаженнях і про-

довжити термін їх служби під впливом природних і техногенних факторів різного походження.

Було запропоновано управляти впливами природних та техногенних факторів на РЗОЛР враховуючи моделі прогнозів сейсмічних навантажень та коливань рідин в РЗОЛР використовуючи алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин.

Представлені інженерні рішення, підкріплені результатами математичного моделювання та управлінські рішення щодо керування впливами на техногенні екологічно небезпечні об'єкти дозволять підвищити рівень екологічної безпеки резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин та запобігти виникненню надзвичайних ситуацій.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблені моделі, методи, алгоритми

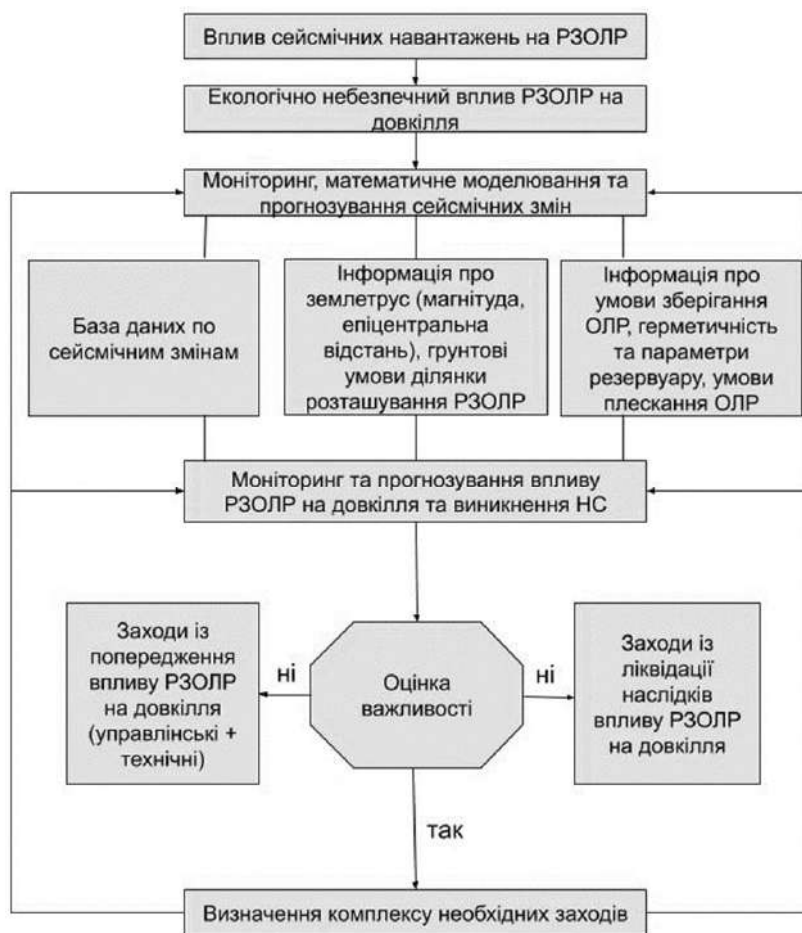


Рис. 2. Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за сейсмічними навантаженнями на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин

є основою для синтезу системи попередження екологічних небезпек резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, викликаних сейсмічними навантаженнями. Одержані результати можуть бути

використані під час проектування та при експлуатації резервуарів зберігання отруйних та легкозаймистих рідин, для оцінки екологічної небезпеки вже існуючих об'єктів.

Література

1. Борик В.В. Автоматизація розрахунків площ можливого і ширини прогнозованого хімічного забруднення з використанням об'єктно-орієнтованого програмного середовища. Фізика і хімія твердого тіла. 2015. Т. 16, № 3. С. 606–609. DOI: 10.15330/rscs.16.3.606-609.
2. Липовий В.О., Удянський М.М. Техногенні ризики забруднення довкілля під час експлуатування та ремонтних робіт резервуарів з нафтопродуктами. Харків: НУГЗУ. 2017. 107 с.
3. Zhang X., Tang W., Zhang Q., Wang T. et al. Hydrodeoxygenation of lignin-derived phenolic compounds to hydrocarbon fuel over supported Ni-based catalysts. Applied Energy. 2018. V. 227. P. 73–79. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.078
4. Wilson S., Zhang H., Burwell K., Samantapudi A., Dalemarre L., Jiang C., Rice L., Williams E., Nancy C. Leaking Underground Storage Tanks and Environmental Injustice: Is There a Hidden and Unequal Threat to Public Health in South Carolina Environ. Justice 6, 2013, P. 175–182.
5. Islamovic F., Gaco Dž., Hodzic D., Bajramovic E. Determination of stress-strain state on elements of cylindrical tank structure. 9th International scientific conference on defensive technologies. OTEH 2020, October 8–9. Belgrade, Serbia. 2020, P. 1–6.
6. Godoy L.A., Jaca R.C., Ameijeiras M.P. On buckling of oil storage tanks under nearby explosions and fire in Fingas, M. (Ed.): Storage Tank Spills: Preventative Design, Causes, Case Histories, Chapter 2.6, Elsevier, Oxford, UK. 2021.
7. Jaca R.C., Godoy L.A., Calabro H.D., Espinosa S.N. Thermal post-buckling behavior of oil storage tanks under a nearby fire. Int. J. Pressure Vessels and Piping. 2021. vol. 189, N 1. P. 104289.
8. Ibrahim R. A. Liquid Sloshing Dynamics. Cambridge University Press, New York, 2005. 948 p.
9. Gnitko V., Marchenko U., Naumenko V., Strelnikova E. Forced vibrations of tanks partially filled with the liquid under seismic load. WIT Transaction on Modelling and Simulation. 2011. vol. 52, P. 285–296. DOI: 10.2495/BE110251.
10. Ugrimov S., Smetankina N., Kravchenko O., Yareshchenko V. Analysis of Laminated Composites Subjected to Impact. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020. 2021. vol. 188. Springer: Cham. P. 234-246. DOI: 10.1007/978-3-030-66717-7_19

11. Smetankina N., Kravchenko I., Merculov V., Ivchenko D., Malykhina A., Modelling of bird strike on an aircraft glazing. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. vol. 1113. P. 289–297. DOI: 10.1007/978-3-030-37618-5_25
12. Vambol S., Vambol V., Suchikova Y., Deyneko N. Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. vol. 1/10 (85). P. 27–36. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.85847>.
13. Strelnikova E., Kriutchenko D., Gnitko V., Degtyarev K. Boundary element method in nonlinear sloshing analysis for shells of revolution under longitudinal excitations. *Engineering Analysis with Boundary Elements*. 2020. vol. 111. P. 78–87. DOI: 10.1016/j.enganabound.2019.10.008
14. Серікова О.М., Стрельнікова О.О., Гнітько В.І., Тонконоженко А.М., Пісня Л.А. Нейтралізація статичної електрики в системах зберігання нафти шляхом застосування нанокompозитів із системами вуглецевих волокнистих включень. *Прикладні питання математичного моделювання* Т. 4, № 2.2. Херсон. 2021. С. 159–168. <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.2.16>
15. Kovalov A., Otrosh Y., Rybka E., Kovalevska T., Togobytska V., Rolin I., Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence. In *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd. vol. 1006. 2020. P. 179–184.
16. Surianinov M., Andronov V., Otrosh Y., Makovkina T., Vasiukov S.. Concrete and fiber concrete impact strength. *Materials Science Forum*. 1006 MSF. 2020. P. 101–106.
17. Danchenko Y., Andronov V., Barabash E., Obigenko T., Rybka E., Meleshchenko R., Romin A. Research of the intramolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. vol. 6, 12–90. P. 4–12.
18. Sierikova O., Strelnikova E., Degtyarev K. Srength Characteristics of Liquid Storage Tanks with Nanocomposites as Reservoir Materials. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2022. P. 151–157. DOI: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916369

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ

УДК 504.53.062.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.22>

ПОТЕНЦІЙНА НЕБЕЗПЕКА ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ ТА НАСЕЛЕННЯ ВІД НАФТОХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА В НАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ

Диняк О.В., Кошлякова І.Є.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Васильківська, 90, 03022, м. Київ

dyniak_o_v@knu.ua, iryna.koshliakova@knu.ua

Однією з найбільш гострих соціально-економічних проблем є стан навколишнього природного середовища, адже він прямо або побічно зачіпає інтереси кожної людини. До глобальних проблем сучасності за своїми масштабами і значенням відносять екологічні проблеми, до того ж вони не мають державних кордонів і прямо не залежать від того на території якої країни відбуваються військові дії. Будь-яка війна несе величезні екологічні загрози для населення, але бойові дії в Україні можуть призвести до особливо катастрофічних наслідків для навколишнього середовища. Питання щодо впливу військової діяльності на здоров'я людини постало перед суспільством дуже гостро. На сьогоднішній день забруднення ґрунту нафтою і нафтопродуктами є однією з найбільш гострих екологічних проблем, що призводить до великого числа негативних наслідків. Серед них зміна морфологічних, фізико-хімічних і хімічних характеристик ґрунту; зменшення дренажу; зниження біологічної активності і здатності до самоочищення і самовідновлення; порушення екологічної рівноваги в ґрунтовому біоценозі. Найбільш небезпечними елементами цих процесів для забруднення геологічного середовища є процеси, які пов'язані з накопиченням нафтопродуктів у ґрунтах і їх поширенням у підземних водах, з можливістю їхнього довгострокового впливу. На базах зберігання органічних речовин, коли розглядаються стаціонарні умови, зазвичай накопичення витоків відбувається повільно, і навколишнє середовище в той чи інший спосіб може самочинно регулювати міграцію цих речовин. При аварійних розливах питоми навантаження забруднень не можуть стримуватися природними факторами. В Україні не існує загальноприйнятої методики дослідження та моніторингу для забруднених нафтопродуктами територій. Наявні лише методичні розробки загально екологічного спрямування. На сьогодні виконуються в основному оцінки техногенного навантаження, в результаті військової діяльності на екосистему та сучасний стан території тощо. Водночас, не досліджується вплив небезпечних і шкідливих екологічних факторів на військовослужбовців та населення. Відсутність чи незначна кількість обігових коштів на природоохоронні заходи, морально й фізично застаріле обладнання, закритість інформації, замінованість територій, а головне – відсутність законодавчої бази для боротьби з цими наслідками вимагає нагальних та першочергових заходів. Оскільки, з одного боку ґрунти та підземні води чутливі до впливу людини і військових дій, а з іншого, у держави не буде першочергово коштів і уваги на їх відновлення. Виникає необхідність проаналізувати способи боротьби з наслідками розливів нафтопродуктів та їх ефективність заходів стосовно до конкретних умов, з метою якнайшвидшого усунення наслідків та мінімізації шкоди навколишньому середовищу і населенню. Визначення пріоритетних напрямків при обстеженні забруднених територій, а також оптимального підходу для відновлення довкілля та природних ресурсів, вивчення багатофакторного характеру взаємодії нафтопродуктів з усіма складовими геологічного середовища дуже актуально. *Ключові слова:* нафтохімічне забруднення, ґрунти, ґрунтові води.

Potential danger to the environment and population from petrochemical pollution of the geological environment as a result of military operations. Dyniak O., Koshliakova I.

One of the most acute socio-economic problems is the state of the environment, as it directly or indirectly affects the interests of every person. Environmental problems are among the global problems of our time in terms of their scale and importance, and they have no state borders and do not directly depend on the territory of the country where military operations are taking place. Any war poses enormous environmental threats to the population, but the fighting in Ukraine can lead to particularly catastrophic consequences for the environment. The issue of the impact of military activities on human health has become a very acute one for society. Today, soil contamination with oil and oil products is one of the most acute environmental problems, leading to a large number of negative consequences. These include changes in the morphological, physical, chemical and chemical characteristics of the soil; reduced drainage; reduced biological activity and ability to self-purification and self-healing; and disruption of the ecological balance in the soil biocenosis. The most dangerous elements of these processes for geological environment pollution are those associated with the accumulation of oil products in soils and their spread in groundwater, with the possibility of their long-term impact. At organic substance storage facilities, when steady-state conditions are considered, leakage usually accumulates slowly, and the environment can regulate the migration of these substances in one way or another. In the case of accidental spills, specific pollution loads cannot be contained by natural factors. In Ukraine, there is no generally accepted methodology for research and monitoring of oil-contaminated areas. There are only methodological developments of a general environmental nature. Today, assessments are mainly carried out to evaluate the anthropogenic impact of military activities on the ecosystem and the current state of the territory, etc. At the same time, the impact of hazardous and harmful environmental factors on military personnel and the population is not studied. The absence or insignificant amount of working capital for environmental protection measures, obsolete and physically outdated equipment, lack of information, mined areas, and most importantly, the lack of a legislative framework to combat these consequences require urgent

and priority measures. On the one hand, soil and groundwater are sensitive to human impact and military operations, and on the other hand, the state will not have the funds and attention to restore them. There is a need to analyze the ways of dealing with the consequences of oil spills and their effectiveness in relation to specific conditions, in order to eliminate the consequences as soon as possible and minimize damage to the environment and the population. Identifying priority areas for surveying contaminated areas, as well as the optimal approach to restoring the environment and natural resources, and studying the multifactorial nature of the interaction of oil products with all components of the geological environment is very important. *Key words*: petrochemical pollution, soil, groundwater.

Постановка проблеми. Відомо, що нафта і нафтопродукти відносяться до числа самих небезпечних і поширених політантів геологічного середовища. Це є глобальною екологічною проблемою, і особливо враховуючи нові виклики пов'язані з воєнними діями на території України. Вплив війни на навколишнє середовище почався ще до початку широкомасштабного вторгнення. Нарощування збройних сил і підтримка їхньої готовності споживає багато ресурсів. Військове спорядження та транспортні засоби потребують енергії, яка зазвичай надходить з нафти, а викиди CO₂ у численних військових формувань є більшими, ніж у багатьох країнах світу разом узятих. Самі бойові дії призводять до не менших небезпек: розлите паливо, зруйнована техніка та відпрацьована зброя, підірвані ракети — все це забруднює ґрунт та ґрунтові води хімічними речовинами та важкими металами.

В результаті воєнних дій зруйновано значну кількість складів паливо-мастильних матеріалів. Крім економічних збитків, відбуваються значні руйнування, пожежі, вигорання ґрунту, частина нафтопродуктів проникає в підземний простір.

Виникає необхідність проаналізувати способи боротьби з наслідками розливів і їх ефективність стосовно до конкретних умов, з метою якнайшвидшого усунення наслідків та мінімізації шкоди навколишньому середовищу і населенню.

Актуальність дослідження. Навіть після завершення війни деякі екологічні наслідки проявлятимуться роками. На територію України випущено велику кількість ракет, БпЛА, снарядів, знищена значна кількість одиниць воєнної техніки різного типу, що призводить до значного накопичення канцерогенного сміття.

Визначення пріоритетних напрямків при обстеження забруднених територій, а також оптимального підходу для відновлення довкілля та природних ресурсів, вивчення багатфакторного характеру взаємодії нафтопродуктів з усіма складовими геологічного середовища дуже актуально. Особливу увагу слід приділяти оцінці шкоди, завданої нафтохімічним забрудненням, яке впливає на екологічний, економічний та соціальний стан країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Насьогодні, досвід інженерного дослідження з метою встановлення завданої воєнними діями шкоди та розробки заходів реабілітації забруднених нафтопродуктами територій підземної простору досить обмежений.

Проводилася дослідження з метою ліквідації наслідків розливів нафти та розробки заходів ліквіда-

ції забруднення та відновлення підземної гідросфери внаслідок війни в Перській затоці [1]. Здебільшого розглядалися питання забруднення внаслідок розливів нафти, оскільки воєнні дії призвели до нафтових пожеж, які поширилися на нафтових родовищах Кувейту, в результаті чого великі обсяги сирої нафти потрапили в природне середовище. Велика увага була приділена вивченню впливу нафтових забруднень на морське та прибережне середовище, а також на здоров'я місцевого населення. Інтернаціональні організації та агентства ООН провели дослідження для встановлення масштабів забруднення та розробки програм реабілітації. Набутий досвід, може послужити цінною вихідною точкою для оцінки екологічного стану та розробки стратегій усунення проблем, що виникають внаслідок військових дій [2].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена. Для забруднених нафтопродуктами територій в Україні не існувало загальноприйнятої методики дослідження та моніторингу, наявні лише методичні розробки загально екологічного спрямування.

Так у 2003 році був прийнятий нормативний документ Міністерства Оборони України «Методика еколого-геологічного дослідження територій військових аеродромів, де виконується ліквідація стратегічних авіакомплексів та їх інфраструктури». В даному документі один розділ був присвячений дослідженню ділянок, які забруднені нафтопродуктами.

За цим документом у процесі дослідження повинні бути зареєстровані:

- ділянки фактично встановлених та ймовірних втрат нафтопродуктів;
- ділянки поверхневого скупчення та інтенсивного забруднення ґрунту нафтопродуктами;
- джерела потрапляння забруднення в яружно-балкову мережу, природні та штучні зниження рельєфу, водойми та водостоки, а також побутові колодязі та дренажні споруди;
- дані, що дозволяють прямо чи опосередковано оцінити величину втрат нафтопродуктів на об'єкті-забруднювачі;
- дані, що дозволяють прямо чи опосередковано оцінити величину дренажу нафтопродуктів;
- ландшафт, стан рослинного покриву, тип ґрунтів, геоморфологічна приналежність ділянок забруднення.

Методологічне або загальнонаукове значення. Забруднення ґрунтів паливно-мастильними матеріалами та іншими нафтопродуктами відбувається в наслідок руху та пошкоджень сухопутної

військової техніки. У ґрунтах, просочених паливно-мастильними матеріалами, знижується водопроникність, витісняється кисень, порушуються біохімічні та мікробіологічні процеси. Внаслідок цього погіршується водний, повітряний режими, порушується кореневе живлення рослин, гальмується їх ріст і розвиток, що спричиняє загибель живих організмів.

Розклад нафти і нафтопродуктів у природних умовах відбувається протягом багатьох років. Продукти їх первинного розкладу є набагато сильнішими екотоксикантами від нафтопродуктів. На відміну від нафти легкі вуглеводні мають інші властивості вони більш схильні до міграції і відповідно забруднення підземного простору і особливо питних водоносних горизонтів. Відомо, що стічні води підприємств нафтохімії зберігають токсичність навіть після шести місяців відстоювання, а в місцях розливів нафти і нафтопродуктів на ґрунт трав'яний покрив не з'являється протягом багатьох років [3].

Вуглеводні, потрапляючи в одну з природних сфер (повітряне, водне, ґрунтового), залучаються до міграції речовин, як правило, з часом поширюються в кожній з них.

На поверхні землі і води окислення і біорозкладання невеликої кількості нафтохімічного забруднення можуть відбуватися природним шляхом, а в геологічному середовищі забруднення може зберігатися протягом багатьох десятиліть, поширюючись разом з ґрунтових водами на великих територіях, що ще однією із прихованих загроз.

Екосистеми можуть переносити різні види забруднення, включаючи нафтохімічне, за умови, що їх концентрація не перевищує допустимих меж. Проте, забруднюючі речовини поступово накопичуються, тому існує ймовірність того, що несприятливі наслідки буде виявлено значно пізніше, що призведе до запізненого вжиття заходів для боротьби із забрудненням. Шкідливий вплив може також залежати від окремих компонентів нафтопродуктів. У випадку нафтохімічного забруднення остаточний вплив на навколишнє середовище буде сильно залежати від шляхів міграції забруднювача, від джерела забруднення, складу нафтопродукту, що забруднює навколишнє середовище, а також умов, що впливають на фізичні, хімічні та біологічні процеси вивітрювання в навколишньому середовищі. Для того, щоб мати можливість зробити оцінку екологічного ризику важливо розуміти як короткострокову, так і довгострокову долю і вплив нафтового забруднення [4].

Першочергової шкоди зазнає атмосфера. Відповідно, особливу увагу слід приділяти виявленню небезпечних сполук, пов'язаних з частинками диму, беручи до уваги часові обмеження. Існує нагальна потреба у відборі проб зважених часток з димового шлейфу поблизу пожеж і з навітряного боку. Особливу увагу слід приділяти реакціям, що відбуваються в атмосфері і які змінюють склад і характеристики диму. Очевидним є те, що най-

більшу небезпеку в атмосфері становлять частинки диму, сажі, які можуть містити гідрофобні, канцерогенні сполуки та речовини. Реакції фотоокислення можуть перетворювати гідрофобні сполуки у гідрофільні структури, що мають поверхнево-активні властивості, які будуть контролювати шляхи розповсюдження забруднювачів у повітрі після осадження на ґрунт або поверхню водного дзеркала.

При цьому найскладніше піддається відновленню ґрунт, оскільки він акумулює і закріплює речовини, які чинять токсичний вплив на рослинність, ґрунтових тварин і груп мікроорганізмів, в результаті чого різко знижується або повністю втрачається його головна властивість – родючість.

Під дією забруднення відбувається трансформація гранулометричного складу – найважливішої генетичної та агрономічної характеристики ґрунту, що впливає на її родючість. Ґрунтові частинки покриваються нафтовою плівкою і відбувається їх агрегування. Поровий простір заповнюється нафтопродуктами, які витісняють повітря і порушують аерацію. Створюються анаеробні умови, що підвищують відновлювальне середовище ґрунту і знижують його окислювальний потенціал, що може призводити до розвитку процесів гниття і навіть поверхневого заболочування ґрунтів замазучування ґрунтів [5].

Гранулометричний склад визначає всі фізичні показники ґрунту: пористість, вологоємність, водопроникність, аерацію, теплоакмуляцією і теплопровідність. Через агрегування ґрунтових частинок під дією нафти і заповнення нею найбільш великих пор ці властивості погіршуються.

Забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами призводить до значних змін фізико-механічних та фізико-хімічних властивостей, зокрема й зниження водопроникності, збільшення щільності, зменшення опору зсуву. Забруднення ґрунтів нафтопродуктами тягне порушення повітряного режиму та водних властивостей ґрунтів. При закупорюванні капілярів ґрунтів нафтою порушується аерація і створюються анаеробні умови в ґрунтових процесах. Відзначається зміна і в живих мікроорганізмах що населяють ґрунт, знижується чисельність целюлозорозкладаючих мікроорганізмів і бактерій, які засвоюють сполуки азоту.

Хлоридно-натрієве засолення ґрунтів, що супроводжує нафтове забруднення, призводить до складної перебудови ґрунтового-поглинаючого комплексу, в якому іони натрію починають витісняти кальцій і магній, які переважають в чистому ґрунті. Це, найчастіше, є пусковим механізмом розвитку процесу осолонцювання ґрунтів. В цілому поглинальна здатність ґрунтів знижується, що визначається не тільки зменшенням кількості спожитих катіонів, а й втратою їх здатності обмінюватися через обволікання ґрунтових колоїдів нафтовою плівкою. Зміни в ґрунтового-поглинаючому комплексі викликають порушення лужно-кислотних умов, що викликає під-

луговування початково кислих і слабо-кислих ґрунтів, або підкислення нейтральних ґрунтів. Останнє, ймовірно, пояснюється підвищенням концентрації низькомолекулярних органічних кислот, які продукуються грибною мікрофлорою, активно розвиваються в нафтозабруднених ґрунтах [5, 6].

Разом з нафтою в ґрунт потрапляють важкі метали і металлоорганічні комплекси, в тому числі і такі що містять уран, що може привести до збільшення радіоактивного фону в забруднених місцях.

На поверхні землі і води окислення і біорозкладання невеликої кількості нафтохімічного забруднення можуть відбуватися природним шляхом, а в геологічному середовищі забруднення може зберігатися протягом багатьох десятиліть, що являється однією із проблем, поширюючись разом з ґрунтових водами на великих територіях [7].

Забруднення геологічного середовища нафтопродуктами є глобальною екологічною проблемою, і особливу небезпеку становить для підземних вод зони активного водообміну, які складають біля 30% у забезпеченні питного водопостачання. Нафтопродукти – широко розповсюджені забруднювачі, для яких гранично допустимі концентрації на 1–2 порядки нижче їх розчинності. У зв'язку з цим потрапляння нафтопродуктів у водоносні горизонти робить непридатними для споживання великі об'єми питної води.

Міграція вуглеводневих сполук залежить від властивостей нафтопродуктів, а також від геологічної будови, гідрогеологічних умов, властивостей порового простору та фізико-механічного складу гірських порід. Серед цих властивостей найбільший вплив на процеси міграції мають шаруватість порід, неоднорідність порового простору, властивості випарювання і розчинності, умови сорбції і біодеградації.

Розподіл складових частин балансу нафтопродуктів при просуванні їх у поровому просторі геологічного середовища пов'язаний з умовами переміщення нафтопродуктів від поверхні вниз до рівня ґрунтових вод. На цьому шляху, особливо у верхніх інтервалах зони аерації в літній період, частина нафтопродуктів випаровується, інша частина опускається, концентрується і заповнює поровий простір. Досягнувши зони водонасичених ґрунтів, нафтопродукти поширюються в горизонтальній площині по поверхні ґрунтових вод по потоку його поширення. Причому, чим більше потік підземних вод і коефіцієнти фільтрації ґрунтів, тим більш значне бічне розтікання зони забруднення. Частина нафтопродуктів, що знаходиться в контакт з ґрунтовими водами може розчинятися в них, погіршуючи їхню якість, що особливо небезпечно в районі живлення водозабірних свердловин. Надалі частина нафтопродуктів може бути знищена бактеріями, що окислюють нафтопродукти, (процеси біодеструкції), проте умови їхнього розвитку в геологічному середовищі дуже обмежені. Результати дослідних і геологорозвідувальних даних

свідчать, що процеси очищення і відновлення ґрунтів найбільш активно відбуваються при мінімальній потужності зони аерації, тобто, чим ближче до поверхні, тим інтенсивніше процес випару нафтопродуктів і значно швидше відбуваються і процеси біодеструкції сорбованих ґрунтами нафтопродуктів.

Викладення основного матеріалу. Дослідження вуглеводневого забруднення підземних вод загалом є складним процесом. Більша частина складності пов'язана з тим, що маловивченим процесом переміщення та перетворень вуглеводневих компонентів та їх похідних через ненасичені та насичені ділянки водоносних горизонтів.

Найбільш небезпечними елементами цих процесів для забруднення геологічного середовища є процеси, які пов'язані з накопиченням нафтопродуктів у ґрунтах і їх поширенням у підземних водах, з можливістю їхнього довгострокового впливу.

Для попередньої оцінки розподілу нафтопродуктів у геологічному середовищі необхідно враховувати особливості формування нафтохімічного забруднення, які пов'язані з зоною аерації і верхнього водоносного горизонту. Це перш за все такі природні характеристики: фізико-географічні умови (географічні і гідрологічні особливості) території; геологічна будова верхніх горизонтів (зони аерації) до головного водотриву, якщо такий існує

Таким чином нафтопродукти від основних джерел забруднення через товщу ґрунтів зони аерації досягають поверхні ґрунтових вод, накопичуються, створюючи в зоні аерації над поверхнею ґрунтових вод зону насичену нафтопродуктами. Потужністю такої зони може складати 1,5–2 метри і більше в залежності від об'ємів надходження нафтопродуктів в підземний простір.

Нафтопродукти за рахунок різниці в питомій вазі і здатності не змішуватися з водою заміщають воду в поровому просторі на межі повної водонасиченості ґрунтів зони аерації, розтікаються по поверхні утворюючи лінзу нафтопродуктів, яка розташовується на поверхні ґрунтових вод і рухається в разом з ними.

Забруднення зони аерації нафтопродуктами виражається в вигляді:

- вуглеводневих сполук в газоподібному стані в поровому просторі в зоні капілярного підняття;
- адсорбованих нафтопродуктів елементним складом гірської породи;
- розчинених формах порових розчинів;
- рідких нафтопродуктів, які накопичились на поверхні ґрунтових вод, які складають найбільший об'єм забруднення в геологічному просторі і на цей час є найбільш небезпечними для довкілля, так як самі стали джерелом розповсюдження забруднення.

Велике значення на процеси міграції нафтопродуктів в пористому середовищі мають сезонні коливання рівнів підземних вод, які при змінах положення викликають зміни контактної межі нафтопродуктів з водою. При цьому частина нафтопродуктів затиска-

ється або вище зони насичення, або відводиться вниз від неї, порушуючи водну капілярну кайму. Коливання рівнів підземних вод утворюють рухливу область, яка складається (зверху-вниз) із:

- зони нафтопродуктів в газовій формі;
- зони защемлених нафтопродуктів;
- зони повного насичення;
- зони краплинних нафтопродуктів у воді;
- зони емульгованих і розчинених нафтопродуктів.

Як показує вітчизняний досвід, найбільш ефективним захистом від поширення забруднення з його подальшою ліквідацією є утримання рідкої фази нафтопродуктів і створення умов для життєдіяльності мікрофауни, яка знищує залишки забруднень у ґрунті. Забруднення підземних вод нафтопродуктами в результаті безповоротних втрат при аваріях та природний збиток відмічалися у ряді міст України, зокрема, Херсоні, Луганську, Кременчуці, Луцьку, Узині та ін. У 128 великих водозаборів (сумарні експлуатаційні запаси – 3,8 питних підземних вод млн. м³/добу) знаходяться об'єкти нафтопродуктозабезпечення [8].

Існуючі технічні засоби і технології які дозволяють за допомогою дренажних систем ліквідувати шар рідких нафтопродуктів, які накопичуються на поверхні підземних вод, відкачати значну частину нафтопродуктів в поровому просторі зони аерації. Доступ до повітря запускає процес розвитку мікроорганізмів, що окислюють нафту, знищуючи залишки забруднень і відновлюють захисні властивості навколишнього середовища. Цей процес також можна прискорити за рахунок дегазації (вакуумування) шару, підживлення і розвитку мікроорганізмів, що окислюють масло. Вибір технології та методів ліквідації забруднення проводиться в залежності від конкретних геологічних умов [9].

Багатофакторний характер системи «нафта – навколишнє середовище» часто ускладнює прийняття оптимального рішення. Проте, аналізуючи способи боротьби з наслідками розливів і їх ефективність стосовно до конкретних умов, можна створити ефективну систему заходів, яка в найкоротші терміни усуне наслідки аварійних розливів і мінімізує шкоду навколишньому середовищу і населенню. Використання сучасних технологій дистанційного зондування, геохімічних та гідрогеологічних досліджень допоможе встановити розмір, розподіл та поширення забруднення.

Головні висновки. Ремедіація підземних вод є складним і дорогим процесом, оскільки

вона вимагає високотехнологічних методів та тривалого часу для повного відновлення забруднених ресурсів. Важливо враховувати особливості геологічних умов та характеристик забруднення для вибору найбільш ефективних методів ремедіації.

Забруднення в результаті воєнних дій нафтопродуктами геологічного середовища, викликає одну з найсерйозніших екологічних проблем та катастроф його поширення впливає на життя усіх істот на Землі. В межах поширення негативного впливу використовується багато зусиль, часу, витрат на ліквідацію забруднення. Однак це лише попередня оцінка, яка вимагає ретельного розслідування і, щонайважливіше, встановлення факту завдання одночасно великої, довгострокової і серйозної шкоди. Останнє може бути визначено лише за результатами всеохоплюючого та тривалого моніторингу стану довкілля, що дозволить створити ефективну систему заходів, яка в найкоротші терміни усуне наслідки і мінімізує шкоду навколишньому середовищу від воєнних дій.

Не слід забувати про одну з головних проблем це тривалий обмежений доступ до забруднених ділянок з міркувань безпеки, пов'язаних з окупацією, наявністю мін і боєприпасів, що не вибухнули. Ця проблема перешкоджає обстеженню території, облаштуванню спеціальних моніторингових свердловин та своєчасним заходам з моніторингу та розробки заходів з ліквідації

Перспективи використання результатів дослідження. Майбутні програми з оцінки уражених територій мають бути безпосередньо пов'язані з зусиллями по реабілітації і повинні здійснювати моніторинг ефективності вжитих заходів, а також швидкість і рівень відновлення навколишнього середовища, що зазнало впливу.

Також необхідно проводити моніторинг навколишнього середовища, що охоплюватиме повний сезонний цикл, для оцінки регенерації та хронічного впливу. Визначати коригувальні заходи в методах реабілітації та виконувати остаточну оцінку шкоди, завданої навколишньому середовищу, розробляти та впроваджувати пропозиції щодо подальшого моніторингу.

Важливо проводити освітні та інформаційні кампанії для населення про наслідки нафтохімічного забруднення підземних вод та необхідність екологічної свідомості. Це сприятиме активному участі громадськості у процесі управління водними ресурсами та забезпеченню їхньої стійкої охорони.

Література

1. As Sabriyah and Ar-Rawdatayn Oil Affected Area Soil Survey, Assessing Damage Magnitude and Recovery of the Terrestrial Eco-System *Follow Up of Natural and Induced Desert Recovery* / Grealish G., Omar S., Quinn M. 2001. AACM and KISR, Project FA015C. 84 p.
2. Ground water contamination in Kuwait resulting from the 1991 Gulf War: a preliminary assessment / Mukhopadhyay A. and et. *Ground Water Monit Rem.* 2008. № 28(2), P. 81–93.
3. Екологічний стан ґрунтів України / С.А.Балюк та ін. *Український географічний журнал.* 2012. № 2. С. 38–42.

4. Моніторинг надзвичайних ситуацій / Ю. О. Абрамов та ін. Харків : АЦЗУ, 2005. 530 с.
5. Cherapanova K., Chomko D., Duniak O. Approaches to the extraction of liquid petroleum products to eliminate groundwater pollution. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspect: Abstract of 20th International Conference, 2021, Kiev, Ukraine, 2021*. P. 1–5.
6. Гаврилюк Р. Б., Загородній Ю. В. Методичні аспекти моніторингу забруднення геологічного середовища нафтопродуктами. *Актуальні проблеми гідрогеології: Матеріали 2-ї наук. конф. Харків, 2015*. С. 77–80.
7. Екологічний та гідрологічний моніторинг / Огняник М. С., Парамонова Н. С., Брикс О. Л., Гаврилюк Р. Б. Київ: LAT&K, 2013. 254 с.
8. Охорона навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами / О. В. Шестопалов та ін. Харків: НТУ «ХП», 2015. 116 с.
9. Програма реабілітації території територій, забруднених унаслідок військової діяльності, на 2002–2003 рр. *Звіт за результатами еколого-геологічного обстеження території військової частини А 3482 м. Київ (за 2000–2003 рр.)* / Максимов В. Г. Київ: НВЦ «ІНГЕОКОМ», 2015. 172 с.

УДК 502:504(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.23>

ПЕРШІ КРОКИ ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ ВОЄННИХ ДІЙ НА СТАН ОБ'ЄКТІВ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ТА ЇХНЄ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Спрягайло О.В.¹, Безсмертна О.О.², Гаврилюк М.Н.¹, Ілюха О.В.¹,
Осипенко В.В.¹, Спрягайло О.А.¹, Шевчик В.Л.³

¹Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
бульв. Шевченка, 81, 18031, м. Черкаси

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Васильківська, 90, 03022, м. Київ

³Канівський природний заповідник Київського національного університету імені Тараса Шевченка
вул. Шевченка, 108, 19000, м. Канів, Черкаська обл.

dendro@ukr.net; gavrilyuk.m@gmail.com, ilyuhaaleksandr@gmail.com, vita_koroleva260@ukr.net
biona@ukr.net, olesya.bezsmertna@gmail.com, shevwol@gmail.com

Злочинна агресія російської федерації, окрім багаточисельних жертв серед населення, спричинила катастрофічні порушення навколишнього середовища та його компонентів. Зважаючи на масштаби та площі території України, які вже постраждали від воєнних дій, якнайшвидше потрібні доступні методики оцінки порушень навколишнього середовища. Аналізу нової методики для експрес-діагностики фактичного стану об'єктів природно-заповідного фонду, які зазнали впливу війни, присвячено цю статтю.

Перевагою проаналізованої методики є те, що вона не потребує спеціальних знань та участі вузькоспеціалізованих фахівців під час оцінки фактичного стану природоохоронних об'єктів, які зазнали впливу воєнних дій. Вона полягає у присвоєнні визначеної кількості балів за кожен із аналізованих показників і може виконуватись дослідниками з мінімальними знаннями навколишнього середовища. Завдяки своїй доступності може використовуватись працівниками природоохоронних установ, департаментів екології державних адміністрацій, службовцями різних рівнів тощо. Це дозволить швидко охопити значні за площами пошкоджені території протоколюванням наслідків війни та передати отримані результати для аналізу науковцями й державними органами влади.

Методика передбачає встановлення ступеня пошкоджень за двома рівнями – А (загального стану об'єкта ПЗФ) і Б (впливу на фіто- та фауністичне різноманіття).

Для оцінки загального стану об'єкта (рівень А) пропонується 10 критеріїв основних груп пошкоджень елементів природи. Кожен із критеріїв запропоновано оцінювати балами від 0 до 5, залежно від ступеня прояву впливу. За встановленим відсотком балів від максимально можливих встановлюють ступінь порушення об'єкта природно-заповідного фонду, який підлягав впливу воєнних дій та роблять висновок про необхідність, за потреби, проведення відновлювальних заходів.

Оцінка ступеня впливу воєнних дій на фіто- й фауністичне різноманіття (рівень Б) рекомендується здійснювати за критеріями, які передбачають визначення пошкоджень рослинного і тваринного компонентів угруповань.

Отримані дані можуть бути використані для подальшого планування заходів з відновлення ушкоджених об'єктів та/або перспективного оцінювання збитків, завданих природі воєнними діями. *Ключові слова:* методика, оцінка впливу, воєнні дії, війна, біорізноманіття, природно-заповідний фонд.

First steps towards assessing the impact of warfare on the state of nature reserve fund objects and their biodiversity. Spriahailo O., Bezsmertna O., Gavrilyuk M., Ilyuha O., Osypenko V., Spriahailo O., Shevchyk V.

The criminal aggression of the Russian Federation, in addition to numerous casualties among the population, caused catastrophic violations of the environment and its components. Considering the scale and area of the territory of Ukraine, which have already suffered from military actions, accessible methods of assessing environmental violations are urgently needed. The analysis of a new method for express diagnostics of the actual state of objects of the natural reserve fund, which were influenced by the war, is devoted to this article. The advantage of the analyzed method is that it does not require special knowledge and participation of highly specialized specialists during the assessment of the actual state of environmental objects, which were influenced by military actions. It consists in assigning a certain number of points for each of the analyzed indicators and can be performed by researchers with minimal knowledge of the environment. Due to its accessibility, it can be used by employees of environmental institutions, departments of ecology of state administrations, officials of different levels, etc. This will allow to quickly cover large areas damaged by the protocolling of the consequences of the war and to transmit the obtained results for analysis by scientists and state authorities. The method provides for the establishment of the degree of damage at two levels – A (general state of the object of the natural reserve fund) and B (influence on phyto- and faunistic diversity). To assess the general state of the object (level A), 10 criteria of the main groups of damage to the elements of nature are proposed. Each of the criteria is proposed to be evaluated by points from 0 to 5, depending on the degree of manifestation of the influence. According to the established percentage of points from the maximum possible, they establish the degree of violation of the object of the natural reserve fund, which was subject to the influence of military actions and make a conclusion about the necessity, if necessary, of carrying out restoration measures. The assessment of the degree of influence of military actions on phyto- and faunistic diversity (level B) is recommended to be carried out according to the criteria, which provide for the determination of damage to the plant and animal components of the groups. The obtained data can be used for further planning of measures for the restoration of damaged objects and/or prospective assessment of damage caused to nature by military actions. *Key words:* method, assessment of impact, military actions, war, biodiversity, natural reserve fund.

Постановка проблеми. Війна – один із найпогужніших трансформаторів природних ландшафтів та руйнівний фактор впливу на природоохоронні території. Воєнні дії неминуче призводять до порушення та/або знищення природних оселищ, і як наслідок – втрат біорізноманіття [1, 4, 5, 7]. Після повної деокупації території України та завершення бойових дій перед фахівцями природоохоронної сфери неминуче постануть непрості завдання: спочатку – оцінити ступінь впливу війни на екосистеми, угруповання і біорізноманіття, а згодом – спланувати і забезпечити заходи з відновлення порушених природоохоронних об'єктів.

Одним із перших кроків, які в майбутньому допоможуть якомога швидше розпочати роботу, спрямовану на усунення руйнівних наслідків воєнних дій, є розробка відповідних методик. Підходи до їх створення можуть суттєво відрізнитися, залежно від того, наскільки спеціалізовано має бути оцінка та фахівці якої кваліфікації будуть її здійснювати.

Актуальність дослідження. Повномасштабна війна – нове явище в новітній історії людства, хоча локальні конфлікти постійно виникали й досі існують по всій планеті. Проте після Другої світової війни російсько-українська війна є першою, де задіяні регулярні армії цілих держав з максимальним задіянням усіх родів військ. Злочинна агресія російської федерації призвела до багаточисельних жертв серед населення, величезних масштабів міграції, катастрофічних впливів на економіку не лише в Україні, а й в усьому світі. Одним із довготривалих наслідків впливу війни є порушення навколишнього середовища та його компонентів. Цей аспект потребує комплексної оцінки вже зараз, коли війна триває. Для повноцінного аналізу наслідків впливу воєнних дій будуть потрібні зусилля вузькоспеціалізованих фахівців. Проте зважаючи на масштаби російської агресії та площі, які вже постраждали від воєнних дій, потрібні доступні методики оцінки порушень навколишнього середовища, яких наразі не було. Аналізу такої експрес-методики, яка передбачає участь широкого кола виконавців досліджень, присвячено цю статтю.

Аналіз останніх публікацій. Питання впливу бойових дій на довкілля в Україні, і зокрема на об'єкти природно-заповідного фонду, які є ключовими для охорони біорізноманіття, розглядаються в наукових публікаціях від початку російської агресії в 2014 році [1, 4, 5, 7, 16]. Станом на 1 січня 2015 року було відомо, що понад 50% із 189 об'єктів ПЗФ Луганської області та близько 30% із 117 заповідних об'єктів Донецької області постійно або тимчасово знаходились у зоні бойових дій [4]. А вже після повномасштабного російського вторгнення в Україну в лютому 2022 року і інші регіони потрапили в зону прямого воєнного впливу. За інформацією Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів станом на 1 березня 2022 року, впливу

бойових дій зазнали «території 900 об'єктів природно-заповідного фонду площею 12406,6 кв. км (1,24 млн га), що становить близько третини площі усього природно-заповідного фонду України. Під загрозою знищення опинилися близько 200 територій Смарагдової мережі площею 2,9 млн га» [3].

Перші спроби оцінити масштаби, характер та ступінь впливу війни на довкілля на сході України були зроблені екологами, правниками та економістами практично одразу після початку воєнних дій. Приміром, з ініціативи Міжнародної благодійної організації «Екологія-Право-Людина» було створено карту заповідних територій, які постраждали під час війни, здійснено обстеження найцінніших заповідних територій Донецької області, а також розраховано розмір шкоди, завданої земельним ресурсам на території двох районів Донеччини [4]. Українською Гельсінською спілкою з прав людини було залучено фахівців для визначення стану і проблемних питань захисту довкілля на сході України, і в тому числі розроблено спеціальні бланки, а також анкети-опитувальники для співробітників природоохоронних та інших установ, для місцевих природокористувачів щодо характеру і ступеня впливу бойових дій на конкретних територіях [1].

Натепер проблема оцінки наслідків воєнних дій для довкілля стала значно гострішою і масштабнішою. У ряді публікацій розглядаються правові аспекти та юридичні механізми визначення екологічної шкоди внаслідок війни рф в Україні і вимоги її компенсацій [2, 14, 19]. Упродовж 2022 року наказами Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України затверджено кілька методик визначення шкоди та збитків, заподіяних землі, ґрунтам, атмосферному повітрю, водним ресурсам, лісовому фонду та об'єктам природно-заповідного фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації [8–13]. Ці методики передбачають збір даних, проведення (за потреби) польових або інструментально-лабораторних досліджень і розрахунків, на основі проведених досліджень, економічних збитків для того, щоб долучити їх до матеріалів кримінального провадження для стягнення з російської федерації як держави-агресора.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Вже зараз зрозуміло, що реалізація поставлених завдань буде дуже непростюю і тривалою в часі, проте ситуація із розробкою методик для оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду та їхнє біорізноманіття не менш складна і дуже специфічна. По перше: польові дослідження навіть на територіях, де зараз бойові дії вже не ведуться, здебільшого неможливі через високі ризики для дослідників. По друге: для глибоких фахових досліджень і моніторингу стану об'єктів ПЗФ, що постраждали унаслідок війни, та популяцій охоронюваних видів рослин і тварин як на природоохоронних територіях, так і поза ними, потрібно

залучати вузькопрофільних спеціалістів, яких не так багато в Україні. І, зрештою, по третє: комплексних методик, які б дозволяли отримати інформацію про ступінь впливу воєнних дій на об'єкт ПЗФ і його біорізноманіття поки що немає. Одним із перших кроків для вирішення цієї проблеми стала розробка «Методики оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду України» (далі – Методика), що була підготовлена авторами в рамках проєкту «Разом за екологічну демократію, справедливість та верховенство права в Україні» (TEDJusticeROL) за фінансової підтримки Міжнародної благодійної організації «Екологія – Право – Людина» та Уряду США [18]. Є сподівання, що й раніше напрацювання науковців з моніторингу біорізноманіття та оцінки впливів на нього [6, 15, 17] отримають подальший розвиток, будуть удосконалені і модифіковані для використання в сучасних умовах.

Мета дослідження. Проаналізувати методику оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду, розроблену для експрес-оцінки порушень природних угруповань внаслідок російської воєнної агресії в Україні.

Результати дослідження та їх обговорення. З огляду на те, що масштаби майбутніх необхідних досліджень впливу воєнних дій на об'єкти ПЗФ і їх біорізноманіття величезні, запропонована Методика орієнтована не на вузькоспеціалізованих фахівців (геоботаніків, ентомологів, мікологів чи ін.), а на працівників природоохоронних установ, департаментів екології державних адміністрацій, студентів біологів та екологів, учителів біології тощо. Вона доступна і відносно універсальна, не потребує глибоких ботанічних чи зоологічних знань і проведення лабораторних аналізів та складних розрахунків.

На нашу думку, оцінку впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду та їхнє біорізноманіття слід розпочинати з візуальної оцінки загального стану об'єкта ПЗФ (за кількома критеріями із застосуванням бальної шкали), а після цього переходити до оцінки його фіто- та фауністичного різноманіття. Таким чином, оцінка буде дворівневою: рівень А: оцінка сучасного стану об'єкта ПЗФ, рівень Б: оцінка фактичного стану його біорізноманіття.

Для реалізації методики дослідник має особисто обстежити територію об'єкта ПЗФ та заповнити бланк, у якому вказати назву об'єкта та його тип (заказник, пам'ятка природи тощо), зазначити його розташування (область, район, громада) і вказати географічні координати обстежуваної ділянки, поставити дату проведення обстеження і навести інформацію про період (час, тривалість) бойових дій/окупації та поставити необхідні бали за кожним критерієм, використовуючи запропоновану шкалу.

Для оцінки загального стану об'єкта ПЗФ (рівень А) пропонується 10 критеріїв:

1) оцінка проявів механічного впливу на ґрунтовий та трав'яний покрив (ущільнення технікою, витоптування або інший вплив, не пов'язаний з вибухами чи створенням фортифікаційних об'єктів);

2) оцінка наявності фортифікаційних об'єктів (окопів, траншей, ровів, насипів, бліндажів, тощо);

3) оцінка пошкодження території вибухами;

4) оцінка ступеня замінування або наявності інших вибухо-небезпечних предметів (згідно інформації ДСНС чи інших офіційних служб);

5) оцінка наявності покинутої техніки і її залишків;

6) оцінка проявів видимого хімічного забруднення поверхні ґрунту та/або водойми нафтопродуктами чи ін., не характерними для об'єкта речовинами;

7) оцінка проявів видимого забруднення поверхні та товщі ґрунту органічними відходами (відходами життєдіяльності) і побутовим сміттям;

8) оцінка пошкодження дерев і кущів, на території об'єкта (пошкоджені вибухами, осколками, впливом техніки або отримали термічні чи хімічні опіки);

9) оцінка незворотних втрат деревних рослин (встановлюються за наявністю пеньків або пошкоджених деревних рослин до ступеня припинення росту + знищення або пошкодження лісових культур, природного підросту та самосіву, сіянців і саджанців);

10) оцінка проявів чинників, які можуть мати віддалений вплив на стан об'єкта ПЗФ (підняття рівня ґрунтових вод: заповнення водою вирв, окопів, траншей; затоплення території внаслідок руйнування гідротехнічних споруд; формування залізвмісної кірки на поверхні ґрунту, розвиток ерозії ґрунту: водної, вітрової, технічної тощо).

Кожен із критеріїв запропоновано оцінювати балами від 0 до 5, залежно від ступеня прояву впливу. Наприклад, оцінюючи прояви механічного впливу на ґрунтовий та трав'яний покрив дослідник ставить 0 балів за відсутності ознак впливу, 1 бал – коли виявлені пошкодження на території, що займає не більше 10% площі об'єкта ПЗФ, 2 бали – виявлені пошкодження в межах 11–20% площі, 3 бали – в межах 21–30% площі, 4 бали – в межах 31–50% площі, 5 балів – пошкоджень зазнали понад 50% площі природоохоронного об'єкта. Таким чином, за один критерій можна поставити не більше 5 балів при максимальному прояві впливу. Після завершення обстеження усі бали за оцінюваними критеріями додаються для встановлення загального балу.

Якщо об'єкт ПЗФ займає велику площу та неоднорідний за типами біотопів, доцільно застосувати кластерний підхід і оцінювати порушення в різних типах біотопів окремо.

Для того, щоб зробити висновок про ступінь впливу воєнних дій на об'єкт ПЗФ, потрібно розрахувати відсоток підсумованих балів від максимально можливої суми балів. При цьому до уваги слід брати лише ті критерії, які оцінювалися. Наприклад, якщо

із 10 запропонованих критеріїв один не враховувався (наприклад, критерій 4, бо на території об'єкта ПЗФ не виявлено замінувань та інших вибухонебезпечних предметів), то максимальна сума балів становитиме не 50, а 45, якщо не враховувалися 2 критерії – то, відповідно максимальний бал становитиме 40 і т.д.

За встановленим відсотком балів від максимально можливих встановлюють ступінь порушення об'єкта природно-заповідного фонду, який підлягав впливу воєнних дій та роблять висновок про необхідність, за потреби, проведення відновлювальних заходів:

За відсутніх, мінімальних або слабких порушення (0–20% балів від максимально можливих), скоріш за все, потреби у спеціальних заходах відновлення не буде, але необхідно проводити моніторинг стану біорізноманіття об'єкта ПЗФ через можливі прояви віддалених наслідків воєнних дій; за середніх порушень (21–30%) – слід залучити фахівців для детальної оцінки впливу порушень на подальше функціонування об'єкта ПЗФ та прийняття рішень щодо необхідності проведення відновлюваних заходів; за значних, дуже значних і критичних порушень (31 – понад 50%) – необхідно залучити фахівців для детальної оцінки впливу порушень на подальше функціонування об'єкта ПЗФ і розробки ними менеджмент-плану відновлюваних заходів і знайти можливості для отримання державних або грантових коштів для реалізації плану відновлення об'єкта ПЗФ.

Наступним етапом може бути детальніша оцінка впливу воєнних дій на фіто- та фауністичне різноманіття об'єкта ПЗФ (рівень Б).

Оцінку ступеня впливу воєнних дій на фіторізноманіття рекомендується здійснювати за 4 критеріями:

1) оцінка ступеня повного знищення рослинного покриву;

2) оцінка ступеня відновлюваних пошкоджень деревних рослин (дерева життєздатні, але із частково зламаними гілками, пошкодженими осколками чи пожежею стовбурами, тощо);

3) оцінка пошкодження популяцій охоронюваних видів рослин;

4) оцінка ступеня поширення інвазійних видів рослин на ділянках об'єкту ПЗФ, що зазнали впливу воєнних дій.

Як і на рівні А, кожен критерій оцінюється балами від 0 до 5, залежно від ступеня прояву впливу. Досліднику пропонується поставити необхідні бали, використовуючи запропоновану шкалу.

Критерій 3 «Оцінка пошкодження популяцій охоронюваних видів рослин унаслідок воєнних дій» слід оцінювати окремо для кожного охоронюваного виду, виявленого на території об'єкта ПЗФ. При цьому рекомендується застосувати корегуючі коефіцієнти: для регіонально рідкісних видів – 1,5; для видів, включених до Червоної книги України, видів з Резолюції 6 Бернської конвенції, видів з додатків II, IV Оселищної Директиви, видів з Червоного списку

Міжнародного Союзу охорони природи – 2. Якщо вид одночасно включений до кількох списків охоронюваних видів – слід застосувати вищий коефіцієнт.

Інформацію про наявність на території об'єкта ПЗФ охоронюваних видів рослин у довоєнний час можна знайти в документації зі створення об'єкта ПЗФ (клопотанні, науковому обґрунтуванні) та/або в наукових публікаціях, літописах природи тощо. Важливо оцінку стану фіторізноманіття об'єкту ПЗФ, створеного під конкретні охоронювані види, проводити у період їх активної вегетації.

Як і при оцінюванні впливу воєнних дій на загальний стан об'єкта ПЗФ (див. рівень А), після завершення обстеження фактичного стану фіторізноманіття, вираховують загальний бал за оцінюваними критеріями (із врахуванням корегуючих коефіцієнтів), розраховують відсоток підсумованих балів від максимально можливої суми балів та роблять висновок про ступінь впливу воєнних дій на фіторізноманіття об'єкта ПЗФ і необхідність (за потреби) проведення відновлювальних заходів.

За аналогічною схемою здійснюють оцінку фауністичного різноманіття об'єкта ПЗФ. Використовують 5 критеріїв:

1) оцінка ступеня турбування тварин на території (акваторії) ПЗФ (перебування військових, артобстріли та ін.);

2) оцінка ступеня впливу на осередок розмноження ключових видів (зареєстрованих колоній чи місць розмноження);

3) виявлені випадки незаконного відстрілу тварин та їх загибелі;

4) оцінка поширення на території ПЗФ безпритульних домашніх тварин (котів, собак);

5) оцінка ступеня впливу воєнних дій на популяції охоронюваних видів тварин.

Кожен із критеріїв оцінюється балами від 0 до 5, залежно від ступеня прояву впливу. Для критеріїв 3 та 5 слід застосовувати корегуючі коефіцієнти: 2 – для видів, які занесені до Червоної книги України та для видів, які мають охоронний статус МСОП «перебувають під загрозою» (уразливі (Vulnerable), перебувають під загрозою (Endangered) та критично загрозливі (Critically Endangered)); 1,5 – для регіонально рідкісних видів. Якщо вид одночасно входить до кількох списків охоронюваних видів – застосовується вищий коефіцієнт. Критерій 5 «Оцінка ступеня впливу воєнних дій на популяції охоронюваних видів тварин» оцінюється окремо для кожного охоронюваного виду, виявленого на території об'єкта ПЗФ.

Як і при оцінюванні впливу воєнних дій на загальний стан об'єкта ПЗФ (див. рівень А) та фактичного стану фіторізноманіття (див. рівень Б1), вираховують загальний бал за оцінюваними критеріями (враховуючи корегуючі коефіцієнти), розраховують відсоток підсумованих балів від максимально можливої суми балів та роблять висновок про ступінь впливу воєнних дій на фауністичне різ-

номаніття об'єкта ПЗФ і потребу проведення відновлювальних заходів.

Висновки. Автори розробленої «Методики оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду та їхнє біорізноманіття» свідомі того, що її застосування може бути доцільним лише на початкових етапах обстеження, а для повного розуміння наслідків не лише прямого, а й опосередкованого впливу воєнних дій на природоохоронні території та їх флористичне і фауністичне різноманіття потрібне буде залучення науковців та постійний моніторинг. Водночас цінність запропонованої методики полягає у тому, що її застосування дозволить уніфікувати підхід до оцінки стану всіх об'єктів ПЗФ у межах конкретної громади, адміні-

стративного району чи області. Обстеження можна зробити порівняно швидко та на основі отриманих висновків спланувати черговість відновлюваних заходів. Крім того, проведені обстеження дозволять зафіксувати воєнні злочини проти довкілля (доки докази ще не втрачені) та можуть послугувати основою для подальших наукових досліджень в об'єктах ПЗФ, які зазнали впливу воєнних дій.

Автори сподіваються, що «Методика оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду та їхнє біорізноманіття» стане основою для подальших напрацювань у цьому напрямку та сприятиме розробці і реалізації дієвих механізмів відновлення стану порушених війною природоохоронних територій.

Література

1. Блага А.Б., Загороднюк І.В., Короткий Т.Р., Мартиненко О.А., Медведєва М.О., Пархоменко В.В. / За заг. ред. А.П. Буценка. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України. Київ: КИТ, 2017. 88 с.
2. Ващишин Марія. Юридичний механізм визначення екологічної шкоди та його особливості в умовах воєнної агресії російської федерації проти України. *Право України*. 2022. № 6. С. 55–68.
3. Верховна Рада України: офіційний вебпортал парламенту України. <https://www.rada.gov.ua/news/razom/220659.html>.
4. Воєнні дії на сході України – цивілізаційні виклики людству. / За заг. ред. О. Кравченко. Львів: ЕПЛ, 2015. 136 с.
5. Глова М. М., Олива Т. Є., Фірман В.М. Наслідки впливу бойових дій на природно-заповідний фонд окупованих територій України. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (Львів, 28–29 бер. 2019 р.). С. 135–136.
6. Коломицев Г.О. Досвід першого цифрового узагальнення впливів на біорізноманіття наземних екосистем України за методикою GLOBIO3. *Наукові доповіді НУБІП*. 2011. 4 (26). http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011_4/11kgo.pdf.
7. Кравченко О., Василюк О., Норенко К. Дослідження впливу військових дій на довкілля на Сході України. *Схід*. 2015. № 2. С. 118–123.
8. Методика визначення збитків, заподіяних внаслідок забруднення та/або засмічення вод, самовільного користування водними ресурсами, внаслідок збройної агресії Російської Федерації, затверджена Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 21 липня 2022 року № 252, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 09.08.2022 № 900/38236. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0900-22#Text>
9. Методика визначення збитків, заподіяних навколишньому природному середовищу в межах територіального моря, виключної морської (економічної) зони та внутрішніх морських вод України в Азовському та Чорному морях, затверджена Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 19 серпня 2022 року № 309, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 17 жовтня 2022 р. за № 1253/38589 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1253-22#Text>
10. Методика визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану», затвердженої наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України наказом від 4 квітня 2022 року № 167. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text>
11. Методика визначення шкоди та збитків, завданих територіям та об'єктам природно-заповідного фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації, затверджена Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 13 жовтня 2022 року № 424, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 16 листопада 2022 р. за № 1416/38752. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1416-22#Text>
12. Методика визначення шкоди та збитків, заподіяних лісовому фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації, затверджена Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 05 жовтня 2022 року № 414, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 24 жовтня 2022 р. за № 1308/38644. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1308-22#Text>
13. Методика розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди», затвердженої Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 13.04.2022 № 175, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 16.04.2022 за № 433/37769. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-22#Text>
14. Микулець В. Ю. Правові аспекти вимоги компенсації екологічної шкоди внаслідок війни рф в Україні. *Юридичний вісник*. 2022. Вип. 2 (63). С. 23–29.
15. Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні : Прикладні аспекти моніторингу та охорони біорізноманіття. Серія: «Conservation Biology in Ukraine». Вип. 16. Т. 3. Київ; Чернівці : Друк Арт, 2020. 528 с.
16. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. К.: ВАІТЕ, 2017. 88 с.
17. Спінова Ю. О. Созологічна оцінка біотопів екомережі на прикладі відділення Українського степового природного заповідника «Крейдова флора» : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук / Спінова Юлія Олексіївна ; наук. керівник: Вишенська Ірина Георгіївна ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Києво-Могилянська академія». Київ, 2021. 240 с.

18. Спрягайло О.В., Безсмертна О.О., Гаврилюк М.Н. та ін. Оцінка впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду України. Відновлення пошкоджених популяцій охоронюваних видів. Методичні рекомендації. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю. А., 2023. 64 с.
19. Чурилова Т. М., Стрельник В. В. Проблеми відшкодування шкоди навколишньому середовищу України, завданої збройною агресією російської федерації. *Науково-практичний журнал «Екологічне право»*. 2022. Вип. 3–4. С. 91–95.

ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 502.3:613.26

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.24>

ОСОБЛИВОСТІ БІОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ХОЛОДНОГО ПЕРІОДУ РОКУ НА ТЕРИТОРІЇ ОДЕСИ

Грабко Н.В., Сафранов Т.А.

Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65015, м. Одеса
grabkonatalyavikt@gmail.com, safranov@ukr.net

Досліджено біокліматичні умови міста Одеса протягом холодного періоду 2020–2023 років. Подібний аналіз є актуальним як з точки зору можливості рекреаційного використання території, так і має сенс щодо дослідження причин захворюваності на Covid-19 та інші подібні захворювання (наприклад, застудно-респіраторного походження). Також результати проведених досліджень можуть бути враховані під час організаційних заходів щодо захисту населення від наслідків бойових дій, які почалися у досліджуваний період. Для характеристики біокліматичних умов в районі Одеси використано ряд біокліматичних індексів, а саме еквівалентно-ефективна температура (*EET*), радіаційно-еквівалентно-ефективна температура (*PEET*), індекс суворості погоди (*S*) і вітро-холодовий індекс Сайпла (*W*). Вказані біокліматичні показники визначені і проаналізовані для холодного періоду (з листопада по березень) 2020–2021, 2021–2022 і 2022–2023 років. Були визначені і проаналізовані середньомісячні значення цих біокліматичних показників, а також повторюваність цих показників в межах класифікаційних діапазонів. Проведені дослідження показали, що для показника еквівалентно-ефективної температури переважали умови «прохолодно» і «помірно-холодно»; за показником радіаційної еквівалентно-ефективної температури переважали умови «прохолодно» і «помірно холодно»; за індексом суворості погоди Бордмана переважали умови «помірно суворої зими», а за вітро-холодовим індексом Сайпла переважали умови «прохолодно». Найбільш несприятливі умови спостерігалися протягом холодного періоду 2020–2021 років, а найменш несприятливими умовами можна охарактеризувати холодні періоди 2021–2022 і 2022–2023 років. *Ключові слова:* біокліматичний індекс, еквівалентно-ефективна температура, радіаційна еквівалентно-ефективна температура, вітро-холодовий індекс.

Bioclimatic conditions for the cold period of the year in Odesa territory. Hrabko N., Safranov T.

The bioclimatic conditions of Odesa have been investigated during the years 2020–2023. This analysis holds relevance for two main aspects: first, it helps evaluate the area's suitability for recreational use, and second, it aids in understanding the factors contributing to the prevalence of *Covid-19* and diseases such as *Covid-19* and other similar respiratory illnesses. Also, the results of conducted research can be taken into account during organizational measures to protect the population from the consequences of hostilities that occurred during the study period. To characterize the bioclimatic conditions in Odesa, a number of bioclimatic indicators were used, such as equivalent effective temperature *EET*, radiation equivalent effective temperature *REET*, weather severity index (*S*) and wind-cold index (*W*). The established bioclimatic indicators were determined and analyzed for the cold period of the year (from November to March) of 2020–2021, 2021–2022 and 2022–2023. Average monthly values of these bioclimatic indicators were determined and analyzed, as well as the repeatability of these indicators within the classification ranges. The conducted studies showed that the “cool” and “moderately cold” conditions prevailed for the equivalent-effective temperature index; “cool” and “moderately cold” conditions prevailed according to the radiation equivalent-effective temperature index; “moderately severe winter” conditions prevailed on the weather severity index, and “cool” conditions prevailed on the wind-cold index. The most unfavorable conditions were observed during the cold period of 2020–2021, and the cold periods of 2021–2022 and 2022–2023 can be characterized as the least unfavorable conditions. *Key words:* bioclimatic index, equivalent-effective temperature, radiation equivalent-effective temperature, wind-cold index.

Постановка проблеми. Велику кількість досліджень вчених-медиків та кліматологів присвячено впливу погодних умов і клімату на самопочуття людини, зокрема, повідомлення про значне збільшення смертності під час хвиль спеки та холоду. Аналіз усіх впливів довкілля на людину показує, що найбільш істотними для здоров'я, самопочуття людини і її життєдіяльності є фактори, які визначають її тепловий стан. При особливо несприятливих поєднаннях цих факторів виникає загроза переохолодження або навіть обмороження, або ж перегріву організму. В даний час існує велика кількість різних методів оцінки теплового стану людини. Одним

з них є використання комплексних біокліматичних показників, які формалізацією комплексу метеорологічних чинників (температура повітря, швидкість вітру, відносна вологість, атмосферний тиск тощо), що визначають рівень теплового навантаження на людину. Як правило, ці індекси визначають діапазон значень метеорологічних факторів, за яких людина почуватиметься комфортно або (індекси холодного стресу і теплового удару) дискомфортно. Тобто, біокліматичні індекси – це показники суб'єктивного сприйняття комфорту/ дискомфорту.

Серед природних факторів існування людини можна виділити такий їх різновид як біокліматичні

і біометеорологічні умови. У першому випадку мається на увазі вплив кліматичних умов на організм людини, у другому – космічної і земної погоди на життєдіяльність людини. В цьому дослідженні увагу приділено біокліматичним і біометеорологічним умовам, які склалися на території міста Одеса у холодний період з 2020 по 2023 роки, тобто, співпадає з періодом бойових дій на території України. Саме в холодний період року можуть виникнути несприятливі і навіть екстремальні умови, реакція на які може проявлятися у вигляді зміни настрою, погіршення самопочуття, загострення особливо чутливих до змін погоди захворювань (наприклад, бронхо-легеневих або серцево-судинних) і виникнення простудних захворювань. Для характеристики біокліматичних (біометеорологічних) умов використовують так звані біокліматичні або біометеорологічні показники (індекси). Це можуть бути одні й ті ж показники, але з врахуванням тривалості періоду, для якого ці показники визначаються – якщо такий період досить тривалий (наприклад, декілька років), то мова йде про біокліматичні умови, у випадку досить невеликого періоду часу – біометеорологічні показники. В роботі здійснено оцінку і аналіз ряду біокліматичних показників періоду з листопада по березень 2020–2021, 2021–2022 і 2022–2023 років з точки зору комфортності організму людини для міста Одеса.

Актуальність дослідження. Найчастіше дослідження біометеорологічних умов вивчається з точки зору сприятливості території для рекреаційно-туристичної діяльності (РТД). Проте, проблема має ще один, більш актуальний аспект – це початок війни. Саме холодний період року характеризується умовами, які, визиваючи переохолодження, сприяють функціональним порушенням організму людини з подальшим виникненням простудних захворювань або загостренню хронічних захворювань, на які вже хворіє населення. А, починаючи з кінця лютого 2022 року, на території усієї України і безпосередньо Одеси істотно підвищилася загроза виникнення екстремальних ситуацій, коли людина, в тому числі проти своєї волі, могла опинитися у зовнішньому середовищі, в тому числі без достатнього верхнього одягу і підлягати впливу досить несприятливих погодних умов, які істотно вплинуть на її організм а може навіть привести до виникнення захворювань. Слід зазначити, що під час досліджуваного періоду ще тривала епідемія *Covid-19* і це слід вважати додатковим фактором ризику виникнення респіраторних захворювань в тому числі в наслідок знаходження в несприятливих (екстремальних) погодних умовах.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В представленій роботі визначені і проаналізовані з точки зору комфортності людини декілька біокліматичних показників, таких як еквівалентно-ефективна

температура (*EET*), радіаційно-еквівалентно-ефективна температура (*PEET*), індекс суворості погоди Бордмана (*S*) і вітро-холодовий індекс Сайпла (*W*). Виділені діапазони повторюваності різних біометеорологічних показників а також періоди найбільш несприятливих значень цих показників для організму людини, що є досить актуальним питанням як з наукової, так і з практичної точки зору.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження впливу погодних і кліматичних факторів на організм людини, метеотропних реакцій людського організму почалося і отримало істотного розвитку ще у минулому столітті. У ХХ столітті аспекти досліджень зв'язку між кліматичними умовами і станом організму людини розглядалися в дослідженнях А.Л. Чижевського, П.Г. Мизерницького, Г.М. Данишевського, С.М. Чубинського, В.Г. Бокші, В.В. Богущького, Т.І. Андронові, Н.Р. Деряпи, І.І. Григор'єва, В.Ф. Овчарові, В.П. Казначєєва, Г.П. Катеруші та ін. Серед зарубіжних авторів на дослідження у цій галузі привертають увагу роботи D. Assman, S.W. Tromp, V. Faust та ін.

У ХХІ столітті дослідження у галузі біокліматології і біометеорології оновилися. Переважаюча кількість сучасних публікацій спрямована на характеристику підходів і методів оцінки і аналізу біокліматичних (біометеорологічних) показників і представлена переважно в контексті кліматологічних досліджень [1-3]. Інші мають більш прикладний характер і представляють собою дослідження певних біокліматичних характеристик у різних регіонах України у різні часові проміжки [4–11]. Досить поширені подібні біокліматичні дослідження у контексті вивчення природно-рекреаційного потенціалу територій [5, 7, 10–11].

Вивчення біокліматичних (біометеорологічних) умов здійснюється і в контексті навчального процесу. Прикладом цього є такі публікації як [12–13]. І якщо методичні вказівки [12] написані переважно у медично-фізіологічному контексті і присвячені вивченню механізмів впливу клімату на організм людини, то [13] розглядають підходи до визначення і оцінки конкретних індексів, які характеризують наслідки впливу на організм людини як окремих метеорологічних, так і геофізичних факторів і виконанні в контексті кліматологічних знань.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В матеріалах статті проводиться визначення і оцінка і аналіз ряду біокліматичних індексів, які дозволили охарактеризувати біокліматичні умови Одеси у холодний період року, які здійснені за останні роки, з врахуванням конкретних супутніх несприятливих зовнішніх умов, в яких знаходиться людина, таких як епідемія *Covid-19* і проходження бойових дій як додаткових факторів небезпеки для здоров'я людини. А отримані результати можуть бути корисними з точки зору організації планувальних заходів щодо тривалого

перебування людини у зовнішньому середовищі у досліджуваній період року.

Новизна. У представленій роботі авторами уперше проведена оцінка біокліматичних індексів Одеси у холодний період року. Це здійснювалося не тільки в контексті оцінки природно-рекреаційного потенціалу території, а й з врахуванням потенційної небезпеки для здоров'я і життя людини в умовах поширення Covid-19, а також військової діяльності та бойових дій.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Для дослідження комплексного впливу метеорологічних або кліматичних факторів на тепловий стан людини широко використовують температурні шкали і індекси, розроблені у тому числі й емпіричними методами, які базуються на аналізі теплового балансу людини. При цьому виходять з припущення, що організм людини може лише пасивно реагувати на вплив зовнішнього середовища, але не враховуючи здатність людини адаптуватися до зовнішніх умов, фізіологічних особливостей різних груп населення, стану їх здоров'я та ін. Найпоширенішим таким показником є еквівалентно-ефективна температура (*EET*), яка була запропонована А. Міссенардом і враховує вплив температури, вологості повітря і швидкості вітру, яка має такий вигляд:

$$EET = 37 - \frac{37-t}{0,68-0,0014f + \frac{1}{1,76+1,4V^{0,75}}} - 0,29t \left(1 - \frac{f}{100}\right) \quad (1)$$

де t – температура повітря, °C; r – відносна вологість повітря, %;

v – швидкість вітру, м/с.

Недоліком показника *EET* є те, що він не враховує вплив сонячної радіації. Отже, більш повним показником є радіаційно-еквівалентно-ефективна температура (*PEET*). Для визначення цього показника Головіна Є.Г. і Русанов В.І. пропонують формулу:

$$PEET = EET + 6,2 \quad (2)$$

Під час оцінки теплосприйняття велике значення має вітер. Отже для холодного періоду року актуальними є показники, які під час оцінки впливу зовнішнього середовища на організм людини оцінюють і швидкість вітру. До таких показників можна віднести індекс жорсткості (суворості) погоди Бордмана, який визначається за формулою:

$$S = (1 - 0,004T)(1 + 0,273V) \quad (3)$$

Ще одним таким показником є індекс, який запропонували Р.А. Siple і С.Ф. Passel, і який здобув поширення під назвою вітро-холодового індекса Сайпла:

$$W = (9 + 10,9V^{0,5} - V)(33 - T) \quad (4)$$

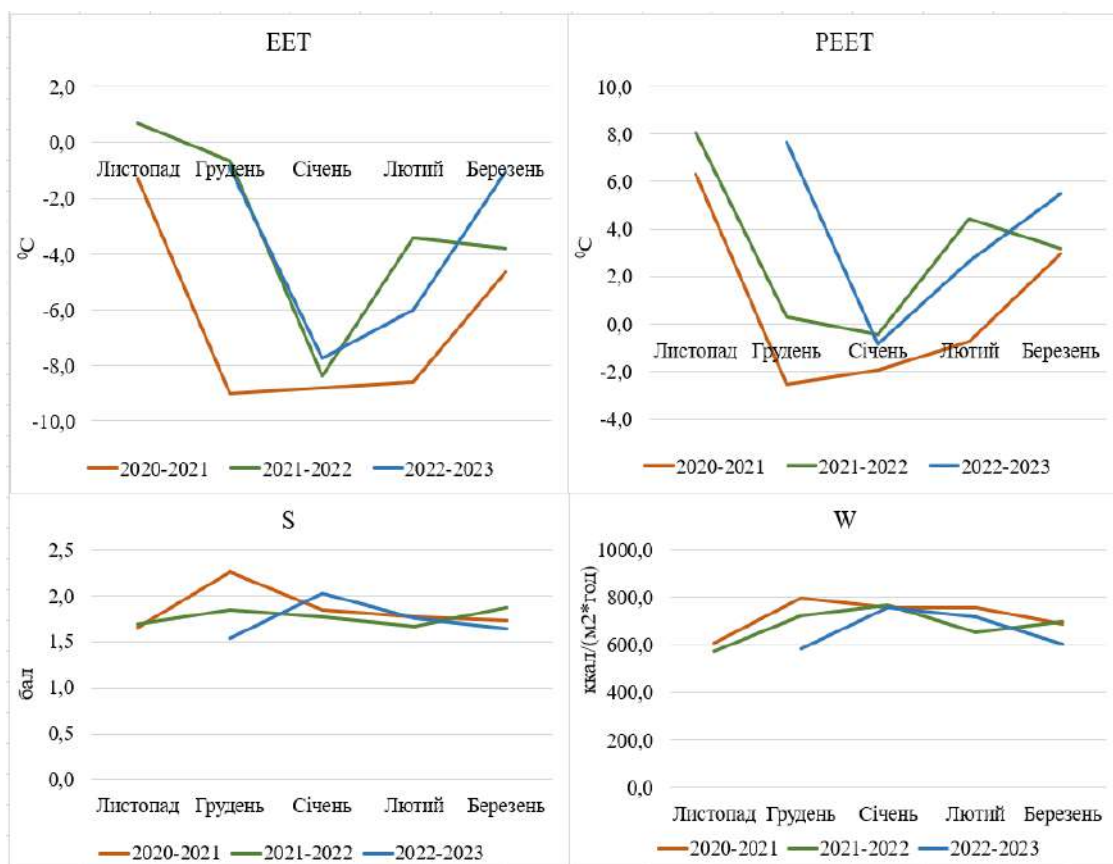
Представлене дослідження присвячено кількісній оцінці вказаних показників для холодного періоду року (з листопада по березень) і спрямовано на поширення наукових уявлень по біокліматичні умови Одеси останніх років з врахуванням актуаль-

ності поставленого завдання саме для досліджуваного періоду.

Викладення основного матеріалу. У представленій роботі було здійснено визначення і аналіз певних біокліматичних показників для холодного періоду року 2020–2021, 2021–2022 і 2022–2023 років. За допомогою формули Міссенарда (1), формули Бордмана (2) і формули Сайпла (4) для кожного із стандартних строків спостережень (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 і 21 години) за кожен добу п'яти місяців холодного періоду трьох років було розраховано значення еквівалентно-ефективної температури *EET*, індексу Бордмана і вітро-холодового індексу Сайпла. Показник радіаційної еквівалентно-ефективної температури розраховувався виключно для строків спостережень, які відповідають світлій частині доби – тобто у строки 09, 12 і 15 годин: розрахунок здійснювався за допомогою формули Бутьєвої (2). Вихідними даними для розрахунків цих біокліматичних показників послужили значення температури повітря, швидкості вітру і відносної вологості за відповідні строки спостережень на станції Одеса-обсерваторія. Не здійснювалися розрахунки біокліматичних показників у листопаді і частині грудня 2022 року через відсутність відповідних метеорологічних спостережень у наслідок тривалих відключень світла в Одесі. Розраховані значення біокліматичних показників були проаналізовані.

Було встановлено, що показник *EET* в середньому за три досліджуваних холодні періоди 2020–2021, 2021–2022 і 2022–2023 років складає -5,3 °C і належить діапазону еквівалентно-ефективних температур, який характеризується як «дуже прохолодно»; діапазон коливань показника *EET* знаходиться в діапазоні від -28,9 °C (17.01.2021 о 3 години) до 15,0 °C (25.12.2021 о 15 годині), тобто є досить істотним. Для узагальнення інформації за кожен місяць кожного з трьох досліджуваних періодів були розраховані середньомісячні значення, які представлені на рис. 1 у вигляді одного з графіків. Аналіз цього графіка показує, що найнижчі середньомісячні значення показника *EET* спостерігаються у холодний період 2020–2021 років, а показники 2021–2022 і 2022–2023 років досить схожі і фактично відрізняються лише в липні і березні. Найбільш низькі значення холодного періоду 2020–2021 років найбільш виражені в період з грудня по лютий (належать діапазону *EET* «помірно холодно»), у холодний період 2021–2022 років цьому діапазону *EET* спостерігався переважно у січні, а у 2022–2023 роках у січні-лютому. У всі інші показники спостерігалися більш м'які умови. Отже, період 2020–2021 років виглядає найбільш несприятливим (холодним), а періоди 2021–2022 і 2022–2023 років відносно сприятливими щодо середньомісячних значень біокліматичного показника *EET*.

Показник *PEET* в середньому за три досліджуваних холодних періоди складає 2,1 °C (рівень

Рис. 1. Динаміка середньомісячних значень EET , $PEET$, S і W

теплого комфорту характеризується як «помірно холодно»). Діапазон значень показника складає від $-17,5$ °C (7.01.2020 о 9 годині) до $18,9$ °C (26.02.2021 о 15 годині).

Для цього показника також були визначені середньомісячні значення $PEET$ для кожного з трьох досліджуваних холодних періодів. Динаміка середньомісячних значень $PEET$ протягом досліджуваних холодних періодів 2020–2021, 2021–2022 і 2022–2023 років представлена у вигляді відповідного графіка на рис. 1. Аналіз цього графіка показав, що, як і у випадку EET , для $PEET$ найбільш низькі значення (найбільш дискомфортні умови) спостерігалися у 2020–2021 роках. А умови холодного періоду 2022–2023 років виглядають трохи комфортнішими, ніж у відповідному періоді 2021–2022 років. У 2020–2021 році найбільш дискомфортними у порівнянні з EET залишилися умови з грудня по лютий (вони належать діапазону значень $PEET$, який характеризується як «холодно»). У холодний період 2021–2022 років цьому діапазону належать лише умови грудня і січня, а 2022–2023 років – лише січня. У інші місяці біокліматичні умови відповідно до показника $PEET$ є більш комфортними. Узагальнюючи, можна стверджувати що за середньомісячними значеннями біокліматичного показника $PEET$ найбільш несприятливим є період 2020–2021 років, а найбільш сприятливим – періоди 2021–2022 і 2022–2023 років.

Індекс Бордмана (S), який характеризує жорсткість (суворість) зимових умов, протягом трьох досліджуваних періодів можна охарактеризувати середнім значенням 1,8 бали – це умови малосуворої зими. Мінімальне значення показника дорівнювало 0,97 бали і спостерігалось 19.02.2023 у строк 15 годин, що відповідає умовам несуворої, м'якої зими; максимальне значення показника S – 4,3 бали (це умови дуже суворої зими).

На рис. 1 представлена динаміка у часі середньомісячних значень показника S , розрахованих для кожного з місяців трьох досліджуваних холодних періодів 2020–2021, 2021–2022 і 2022–2023 років. Аналіз цього графіку показує, що у холодний період року в Одесі переважно спостерігалися умови малосуворої зими; умови помірно суворої зими спостерігалися у грудні періоду 2020–2021 років і у січні періоду 2021–2022 років. І якщо не зважати на грудень 2020 року, то значення індексу Бордмана у відповідні місяці холодного періоду досить близькі одне до одного. Отже, досить умовно можна стверджувати, що за біокліматичним показником S період 2020–2021 років є найбільш несприятливим, а періоди 2021–2022 і 2022–2023 років – менш несприятливими.

Що стосується вітро-холодового індексу Сайпла, то середнє значення цього показника за три досліджувані холодні періоди відповідних років складає

699,4 ккал/(м²·год.), а отже знаходиться майже на межі умов «прохолодно» і «холодно». Мінімальне значення вітро-холодового індексу Сайпла склало 212,4 ккал/(м²·год.), спостерігалось 19.02.2023 о 15 годині і знаходиться повністю у межах діапазону тепловідчуття «прохолодно»; а максимальне значення – склало 1297,9 ккал/(м²·год.), спостерігалось 13.02.2023 у строк 0 годин і належить діапазону теплосприйняття «жорстко холодно».

Результати розрахунків середньомісячних значень індексу Сайпла (*W*) за кожен з місяців трьох досліджуваних холодних періодів представлені у вигляді графіку, представленого на рис. 1.

Аналіз цього графіка показує, що холодний період 2020–2021 років слід вважати найменш сприятливим серед трьох досліджуваних періодів, оскільки усі середньомісячні значення показника *W* у холодний період 2020–2021 (за виключенням січня) більш високі (менш сприятливі), ніж у холодні періоди 2021–2022 і 2022–2023 років. Що стосується останніх двох періодів, то холодніші (менш сприятливі) умови спостерігаються у грудні і березні 2021–2022 у порівнянні з 2022–2023 роком, а тепліші – у лютому.

Умови «холодно» спостерігалися з грудня по лютий протягом періоду 2020–2021 років, у грудні-січні періоду 2021–2022 років, а також у січні-лютому 2022–2023 років. Інші місяці у різні періоди характеризуються умовами «прохолодно». Отже, як і у випадках попередніх трьох біокліматичних показників, для показника період 2020–2021 років виглядає найбільш несприятливим, а періоди 2021–2022 і 2022–2023 років виглядають трохи менш несприятливими.

Важливою характеристикою під час аналізу біокліматичних (біометеорологічних) умов є повторюваність значень біокліматичного показника для певних діапазонів його кількісно-якісної шкали. Отже, така повторюваність визначалася для кожного з досліджуваних біокліматичних індексів.

На рис. 2 показана повторюваність відповідних діапазонів рівня комфорту за ЕЕТ (повторюваність визначалася для кожного місяця окремо; представлені значення, усереднені в межах кожного діапазону за відповідний рік).

Можна зазначити, що протягом кожного з трьох досліджуваних періодів найбільшу повторюваність мали умови, які характеризуються як «дуже прохолодно», їх повторюваність склала 33,5 % у холодний період 2020–2021 років, 30,9 % у холодний період 2021–2022 років і 40,5 % у холодний період 2022–2023 років. Якщо ж звертатися до середньомісячних значень, то повторюваність умов теплового комфорту за *EET*, то такий максимум у окремі місяці може зміщуватися на діапазон «помірно прохолодно» (44,6 % у листопаді 2020 року і 50,8 % – у листопаді 2021 року) і «помірно холодно» (37,1 % – у грудні 2021 року і 36,8 % – у січні 2022 року).

Найменшу повторюваність мали умови «комфортно (помірно-тепло)» (0,1 і 0,5 % протягом періодів 2020–2021 і 2022–2023 років відповідно), а також умови «загроза обмороження» (1 % протягом періоду 2020–2021 років – з грудня по лютий і 0,3 % протягом періоду 2021–2022 років – у січні).

Найнесприятливішими умовами комфортності за показником *EET* є діапазони значень «дуже холодно» і «загроза обмороження». Найбільша повторюваність випадків для цих діапазонів комфортності спостерігалася у період 2020–2021 років, найменша – у період 2021–2022 років. Отже, можна стверджувати, що за біокліматичним показником ЕЕТ період 2020–2021 років можна вважати найбільш несприятливим, а період 2021–2022 років – найбільш несприятливим.

Повторюваність зон комфорту показника *PEET* представлена на рис. 3.

Середні за рік значення повторюваності різних градацій комфорту найчастіше належать діапазону «помірно холодно» – 2,60 % за період

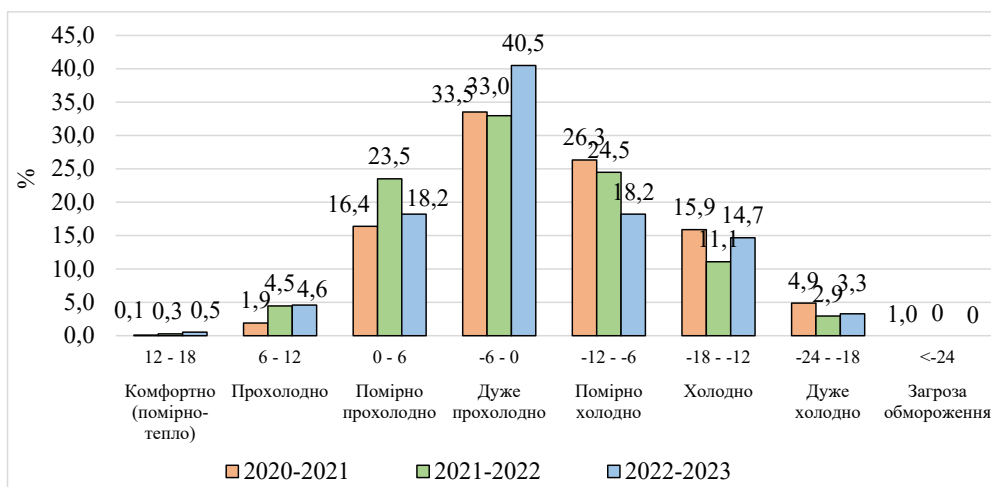


Рис. 2. Повторюваність умов теплового комфорту за показником *EET*

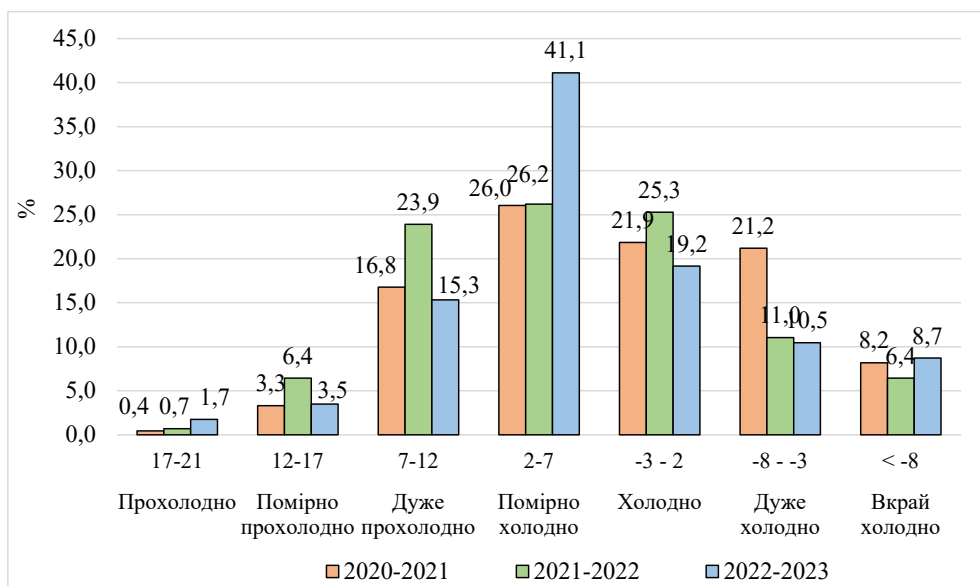


Рис. 3. Повторюваність умов теплового комфорту за показником *PEET*

2020–2021 років, 26,2 % за період 2021–2022 років і 41,1 % за період 2022–2023 років.

Для середньомісячних значень в окремі місяці максимум повторюваності міг належати і іншим діапазнам. Це стосується умов «дуже проходно» – їх повторюваність складала 43,3 % випадків у листопаді 2020 року і 50,0 % – у листопаді 2021 року. Максимальна повторюваність умов «холодно» складає 26,2 % у лютому 2021 року, 32,3 % – у січні 2021 року; а умов «дуже холодно» складає 37,6 у грудні 2020 року і 31,2 % у січні 2021 року. Умови «помірно холодно» спостерігалися у інші місяці періодів 2020–2021 і 2021–2022 років, а також протягом усіх місяців холодного періоду 2022–2023 років. Найменш частими були умови «проходно» (0,4 % протягом періоду 2020–2021 років – у лютому і березні, 0,7 % протягом періоду 2021–2022 років – у листопаді і березні і 1,7 % протягом періоду 2022–2023 років – з грудня по березень); а також умови «вкрай холодно» (8,2 % протягом періоду 2020–2021 років – з грудня по березень, 6,3 % протягом періоду 2021–2022 років – у грудні-січні і березні, а також 8,7 % протягом періоду 2022–2023 років – у січні-лютому).

Найнесприятливіші умови комфортності за показником *PEET* є зони комфортності «дуже холодно» і «вкрай холодно». Найбільша повторюваність показників «дуже холодно» спостерігалася протягом періоду 2020–2021 років, найменша – протягом періоду 2022–2023 років. Для зони комфортності «вкрай холодно» найбільша повторюваність умов спостерігалася протягом періоду 2022–2023 років, найменша – протягом періоду 2021–2022 років. Отже, ці результати не суперечать висновку про те, що період 2020–2021 років найбільш несприятливий, а 2021–2022 років – найбільш сприятливий

з точки зору біокліматичних умов, які були виявлені за показником *PEET*.

Повторюваність градацій характеристик зими за індексом Бордмана (*S*) протягом п'яти місяців досліджуваного холодного періоду представлена на рис. 4.

Можна побачити, що найбільшу повторюваність протягом кожного досліджуваного періоду мають умови малосуворої зими.

Для періоду 2020–2021 років повторюваність цих умов складала 65,3 % випадків, для періоду 2021–2022 років – 70,1 % випадків, а для періоду 2022–2023 років – 65,8 %. Умови помірно-суворої зими мали максимальну повторюваність (45,6 %) лише у грудні 2020 року. Найменш частими умовами для *S* були умови дуже суворої зими (спостерігалися у 0,2 % протягом періоду 2020–2021 років – у грудні-січні і 0,7 % протягом періоду 2022–2023 років – у січні), а також умови жорстко суворої зими (спостерігалися у 0,3 % випадків протягом періоду 2022–2023 років – у січні і березні).

Найбільша повторюваність найнесприятливіших умов «суворої зими» спостерігалася у період 2020–2021 років, умов «дуже суворої зими» і «жорстко суворої зими» спостерігалася у період 2022–2023 років. А найменшу повторюваність умов «дуже суворої зими» і «жорстко суворої зими» можна побачити у період 2021–2022 років. Отже за показником *S* період 2022–2023 років виглядає найбільш несприятливим, а 2021–2022 – найбільш сприятливим щодо біокліматичних умов, які склалися.

Повторюваність середніх за холодний період року значень для повторюваності випадків теплосприйняття для відповідних градацій вітро-холодого індексу Сайпла (*W*) представлені на рис. 5.

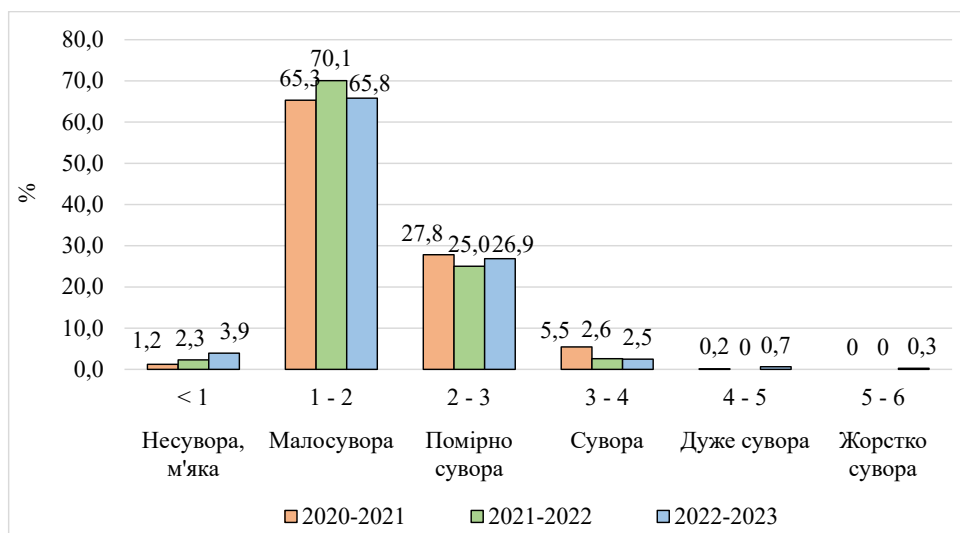


Рис. 4. Повторюваність умов теплового комфорту за індексом Бордмана

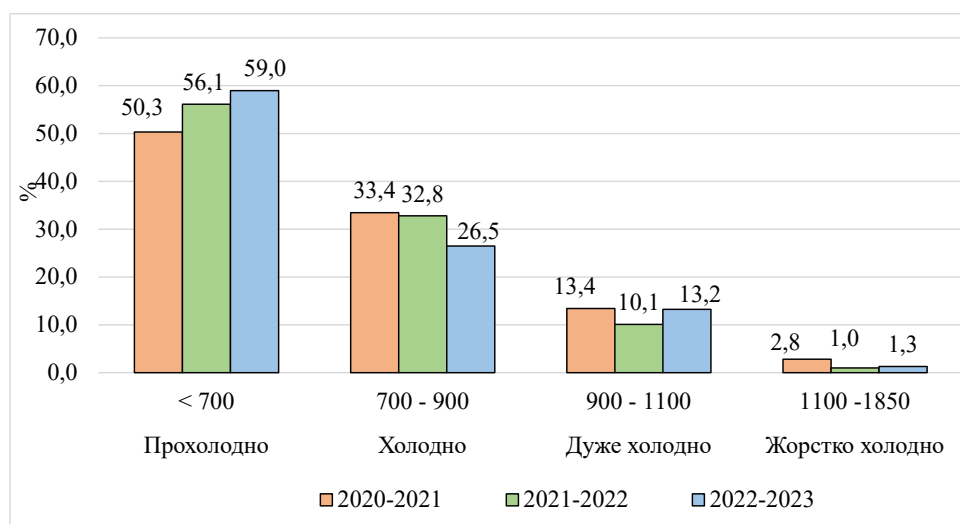


Рис. 5. Повторюваність умов теплового комфорту за вітро-холодовим індексом Сайпла

На цьому рисунку можна побачити, що максимальна повторюваність умов теплосприйняття за W має характеристику «прохолодно» і складала 50,3 % випадків у період 2020–2021 років, 56,1 % випадків у період 2021–2022 років і 59,0 випадків у період 2022–2023 років.

Досить високу повторюваність (від 26,5 до 33,4 %) мали умови «холодно». Вони навіть мали максимальну повторюваність у грудні і січні періодів 2020–2021 років (38,3 і 41,9 % відповідно) і 2021–2022 років (45,6 і 44,9 % відповідно). Найменш частими виявилися умови теплосприйняття, які характеризуються як «жорстко холодно». Повторюваність цих умов складала 2,8 % випадків у період 2020–2021 років – з грудня по березень, 1,0 % протягом періоду 2021–2022 років – у грудні-січні і березні, а також 1,3 % періоду 2022–2023 років – у лютому-березні.

Найбільша повторюваність випадків останніх градацій («дуже холодно» і «жорстко холодно»), які нале-

жать до найбільш несприятливих біокліматичних умов за показником W , спостерігалася у холодний період 2020–2021 років, найменша у період 2021–2022 років. Отже період 2020–2021 років виглядає найбільш несприятливим, а період 2021–2022 років – найбільш сприятливим за біокліматичними умовами відповідно до показника W .

Головні висновки. В наслідок оцінки і аналізу таких біокліматичних показників як еквівалентно-ефективна температура, радіаційна еквівалентно-ефективна температура, індекс Бордмана і вітро-холодовий індекс Сайпла для досліджуваних холодних періодів 2020–2021, 2021–2022 і 2022–2023 років в м. Одеса можна зробити такі висновки:

За середніми значеннями показника EET спостерігалися умови «помірно прохолодно», «дуже прохолодно» і «помірно холодно». З врахуванням повторюваності випадків відповідно до зон комфортності показника переважали умови «дуже прохолодно»,

а в окремі місяці умови «помірно прохолодно» і «помірно холодно».

За середніми значеннями показника *PEET* спостерігалися умови «прохолодно», «помірно холодно» і «холодно». З врахуванням повторюваності випадків відповідно до зон комфортності показника переважали умови «помірно холодно», а в окремі місяці умови «дуже прохолодно», «холодно» і «дуже холодно».

За середніми значеннями показника *S* переважали умови «малосурової зими», інколи спостерігалися умови «помірно суворої зими». З врахуванням повторюваності випадків відповідно до діапазонів суворості зими майже постійно переважали умови «малосурової зими».

За середніми значеннями вітро-холодового індексу *W* переважали умови «прохолодно», інколи спостерігалися умови «холодно». Такі ж самі діапазони комфортності теплосприйняття були виявлені за результатами аналізу повторюваності випадків.

З врахуванням результатів аналізу середніх значень усіх чотирьох досліджених біокліматичних

показників найбільш несприятливим слід вважати період 2020–2021 років, а найменш несприятливими періоди 2021–2022 і 2022–2023 років. З врахуванням повторюваності випадків відповідно до зон комфортності кожного з чотирьох досліджуваних біокліматичних показників найбільш несприятливими слід вважати біокліматичні умови, що склалися протягом 2020–2021 років, а найбільш сприятливими – протягом 2021–2022 років.

Перспективи використання результатів.

Отримані результати не тільки розширюють наукове уявлення про біокліматичні умови на території Одеси, але і можуть бути використані під час планування заходів рекреаційно-туристичного спрямування; результати дослідження доцільно було б врахувати під час вивчення факторів впливу на формування захворюваності на застудно-респіраторні захворювання під час досліджуваного періоду, а також на Covid-19; отримані результати також можуть бути корисні під час планувальна-організаційних заходів щодо захисту населення під час військової діяльності та бойових дій.

Література

1. Врублевська О. О., Катеруша Г. П. Прикладна кліматологія : конспект лекцій. Одеса : ТЭС, 2005. 131 с.
2. Данова Т. Є., Катеруша Г. П. Аспекти екологічної кліматології : навч. посіб. Одеса : ТЕС, 2015. 184 с.
3. Врублевська О. О., Катеруша Г. П. Клімат України та прикладні аспекти його використання : навч. пос. Одеса : ОДЕКУ, 2012. 180 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/378> (дата звернення 8.09.2023).
4. Катеруша О. В., Сафранов Т. А. Біокліматична оцінка території Одеської області. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2010. Вип. 10. С. 5–11.
5. Стан і якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я : монографія / Сафранов Т. А. та ін.; за ред. Т. А. Сафранова, А. В. Чугай. Харків : ФОП Панов А. М., 2017. 298 с.
6. Катеруша Г. П., Сафранов Т. А., Катеруша О. В. Можливі зміни біокліматичних умов зимового періоду в Україні. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2018. Вип. 30. С. 17–27.
7. Грабко Н. В., Полетаєва Л. М., Федченко О. В. Біокліматичні показники території як складова рекреаційного потенціалу Первомайського району Миколаївської області. *Природничий альманах*. 2019. Вип. 26. С. 37–49.
8. Катеруша Г. П., Сафранов Т. А., Катеруша О. В. Тенденції змін максимальної температури повітря в Україні як фактор впливу на здоров'я населення. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. Вип. 33. С. 8–21.
9. Шевченко О. Г. Порівняльний аналіз біокліматичних індексів для оцінки комфортності урбанізованого середовища в теплий період. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 3 (42). С. 105–115.
10. Польовий А. Оцінка комфортності погодно-кліматичних умов в Українських Карпатах для кліматотерапії та рекреації. *Вісник Київського національного університету культури і мистецтва. Сер. Туризм*. 2019. Т. 2 (1). С. 60–79.
11. Михайленко Н., Щербань І. Погодно-кліматичні умови рекреаційної та спортивної діяльності в Українських Карпатах. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2014. Вип. 48. С. 268–274.
12. Малицька Л. В. Просторово-часова мінливість комфортності кліматичних умов в Україні : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.09 / Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ, 2019. 230 с. URL: https://sc.knu.ua/upload/iblock/1af/dis_Malytska%20L.V..pdf (дата звернення 17.09.2023).
13. Сухан В. С. Кліматологія і кліматотерапія : методичні рекомендації. Ужгород: ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2012. 60 с. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/2671> (звернення 17.09.2023).
14. Катеруша Г. П. Методичні вказівки по виконанню практичних робіт при вивченні дисципліни «Аспекти екологічної кліматології» для студентів I року денної форми навчання рівень вищої освіти – магістр, 103 «Науки про Землю» (Освітня програма «Метеорологія і кліматологія»). Одеса : ОДЕКУ, 2020. 40 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/8609> (17.09.2023).

ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ ЖИТОМИРЩИНИ

Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луньова О.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
ke_kham@ztu.edu.ua

Клімат Житомирської області помірно континентальний. Протягом 2016–2021 досліджуваних років в Житомирській області спостерігається збільшення температури атмосферного повітря. Згідно аналізу кількості опадів в містах Житомирської області, а саме міст Житомир, Овруч, Олевськ, Коростень, Новоград-Волинський найбільша кількість опадів випадає в місті Житомир, а найменша кількість опадів в м. Олевськ, що спостерігається в період з 2016 по 2021 роки. Кількість опадів в більшості місяців року в містах Житомирщини в період 2016–2021 рр. було достатньо, а в окремі місяці їх кількість значно перевищувала норму. Проте, в окремі періоди переважала стійка погода антициклонічного типу, що обумовлювало нестачу опадів. Такі зміни могли стати причиною забруднення джерел води, збільшення ризику виникнення лісових пожеж, втрати працездатності населення та збільшення кількості смертельних випадків, оскільки в умовах зміни клімату в сторону потепління можливий розвиток серцево-судинних патологій. Аналіз кліматичних змін в період 2016–2021 рр. на Житомирщині, вказує на зміну кліматичних показників в сторону потепління, хоча особливо гострих змін за цей період часу не відбулося. Однак, це може свідчити про реакцією кліматичної системи міст Житомирщини тенденціям змін в кліматичній системі. Таким чином, ці зміни можуть спричинити як негативні, так і позитивні наслідки для забезпечення життєдіяльності населення. Кліматичні зміни в Україні на сьогоднішній день не є суттєвими. Однак, впродовж 21 століття будуть посилюватися та впливатимуть на різні галузі. Оскільки, зміни клімату проявляються підвищенням температурних показників впродовж року та збільшенням погодних аномалій, особливо відчутними вони будуть для населення. Міста є осередком антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Це, спричиняє незворотні зміни, які є причиною зміни кліматичних умов в містах для проживання живих організмів. В таких умовах велике значення має оцінювання змін клімату, для забезпечення екологічної безпеки населення в умовах стійкого розвитку. *Ключові слова:* клімат, населення, зміна клімату, навколишнє середовище, екологічна безпека.

Climate change trends in the Zhytomyr region. Patseva I., Kahukina A., Lunova O.

The climate of Zhytomyr region is moderately continental. During the observation period (2016–2021), an increase in atmospheric air temperature was detected in Zhytomyr Region. Based on the assessment of precipitation levels in the urban areas within the Zhytomyr region, in particular the cities of Zhytomyr, Ovruch, Olevska, Korosten, Novograd-Volynskyi, the greatest volume of precipitation was recorded in Zhytomyr, while Olevska experienced the lowest amount thereof. During the analyzed period, the urban centers of Zhytomyr region experienced a substantial and consistent amount of precipitation throughout most months of the year, with some months exceeding established norms. In certain periods, however, persistent anticyclonic weather prevailed, which caused a lack of precipitation. Such changes could cause pollution of water sources, an increase in the risk of forest fires, loss of working capacity of the population and the mortality increase, since the emergence of cardiovascular pathologies is plausible in the event of climate change that leads to global warming. The comprehensive examination of climatic variations in Zhytomyr region (2016–2021) reveals a shift in climatic parameters towards increased warming, although there were no particularly sharp changes during the indicated time period. Nevertheless, this suggests the response of Zhytomyr region's urban climate system to the patterns of climate modifications. Thus, these changes can cause both negative and positive consequences for ensuring the population's livelihood. Although current climatic changes in Ukraine are not significant, throughout the 21st century they are likely to intensify and influence various industries. Since climate changes are manifested by the growth in temperature indicators throughout the year, any increase in weather anomalies will be especially noticeable for the population. In view of the fact that cities are the focus of anthropogenic influence on the surrounding natural environment, irreversible changes cause shifts in urban climatic conditions for all living organisms. Therefore, the assessment of climate change is to date of utmost relevance to ensure the ecological safety of the population in conditions of sustainable development. *Key words:* climate, population, climate change, environment, environmental safety.

Постановка проблеми. Проблема зміни клімату є однією з основних проблем, оскільки підвищення температури повітря та перерозподіл опадів спричиняє виникнення природних стихійних явищ, що має вплив на аграрне виробництво, продовольчу безпеку держави та на стан здоров'я людини та її безпеки в процесі життєдіяльності. Кліматичні зміни, можуть мати як глобальний, та і регіональний характер. Різні регіони земної поверхні, можуть мати різні зміни клімату, від вираженого та стрімкого змінення до проявлення змін з меншою інтенсивністю [1]. Проблеми клімату є фактором, що визначає функціо-

нування екосистем. Зміни клімату проявляються, як через підвищення температурних показників впродовж року, так і через збільшення погодних аномалій. Згідно даних ВООЗ, зміна клімату відбивається на формуванні екологічної небезпеки життєдіяльності людини [2].

Актуальність дослідження. Велике значення має оцінювання змін клімату, для забезпечення екологічної безпеки населення за умов стійкого розвитку [3]. На сьогоднішній день кліматичні зміни в Україні не є суттєвими, але зміни впродовж 21 століття будуть посилюватися та впливатимуть на різні

галузі. Особливо відчутним це буде для населення. В умовах зміни клімату в сторону потепління можливий розвиток підвищеної захворюваності на серцево-судинні захворювання. Що може в свою чергу спровокувати збільшення смертності, оскільки хвороби серцево-судинної системи займають перше місце в серед причин смертності. Особливо гострим питанням зміни клімату є в центрах скупчення людей. Міста є осередком антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Це спричиняє незворотні зміни, які є причиною зміни кліматичних умов в містах для проживання живих організмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Домінуючою причиною потепління є антропогенний вплив на кліматичну систему [4]. Науковими дослідженнями [5, 6] встановлено, що зростання середньої температури повітря відбувається внаслідок перебудови глобальних процесів перенесення вологи та тепла. Класифікації погодних умов за їх впливом на людину проводилися у працях [7, 8].

Викладення основного матеріалу. Згідно даних на Рис. 1, опадів в більшості місяців року в містах Житомирщини в період 2016–2021 рр. було достатньо, а в окремі місяці їх кількість значно перевищувала норму.

В 2021 році кількість опадів складала: січень – 58–81 мм, що відповідає 149–231 % норми,

лютий – 63–75 мм, що відповідає 174–200 % норми, грудень – 65–83 мм, що відповідає 151–189 % норми. Найбільша кількість рясних дощів було в травні: на переважній частині території області випало 87–106 мм, що відповідає 130–168 % норми. Найбільша кількість опадів за період спостережень з 1945 року зафіксована у південних районах Житомирської області – 196 мм або 306 % норми, яка перевищила попередній рекорд в 2019 році, де кількість опадів в травні місяці склала 150 мм або 259 % норми. Кількість травневих опадів в 2019 році була наближена до найбільшого значення – 202 мм в 1911 році. В окремі період 2021 року спостерігалась погода антициклонічного типу. Найменша кількість опадів у жовтні за всю історію спостережень було зафіксовано на метеостанціях Овруч (3.0 мм) та Житомир (0.7 мм). В жовтні, кількість опадів склала лише 0.7–5 мм, а це 2–10 % норми. Зменшена кількість опадів спостерігалась в червні – 11–61 мм, що відповідає 16–79 % норми, на більшій частині території області у липні 35–58 мм або 34–58% норми, та у листопаді – 17–35 мм, що відповідає 38–75 % норми. В загальному кількість опадів за 2021 рік в Житомирській області складала – 630–732 мм, а це 96–117 % кліматичної норми [9].

Якщо аналізувати кількість опадів по містах, згідно рис. 1, можна стверджувати, що найбільша

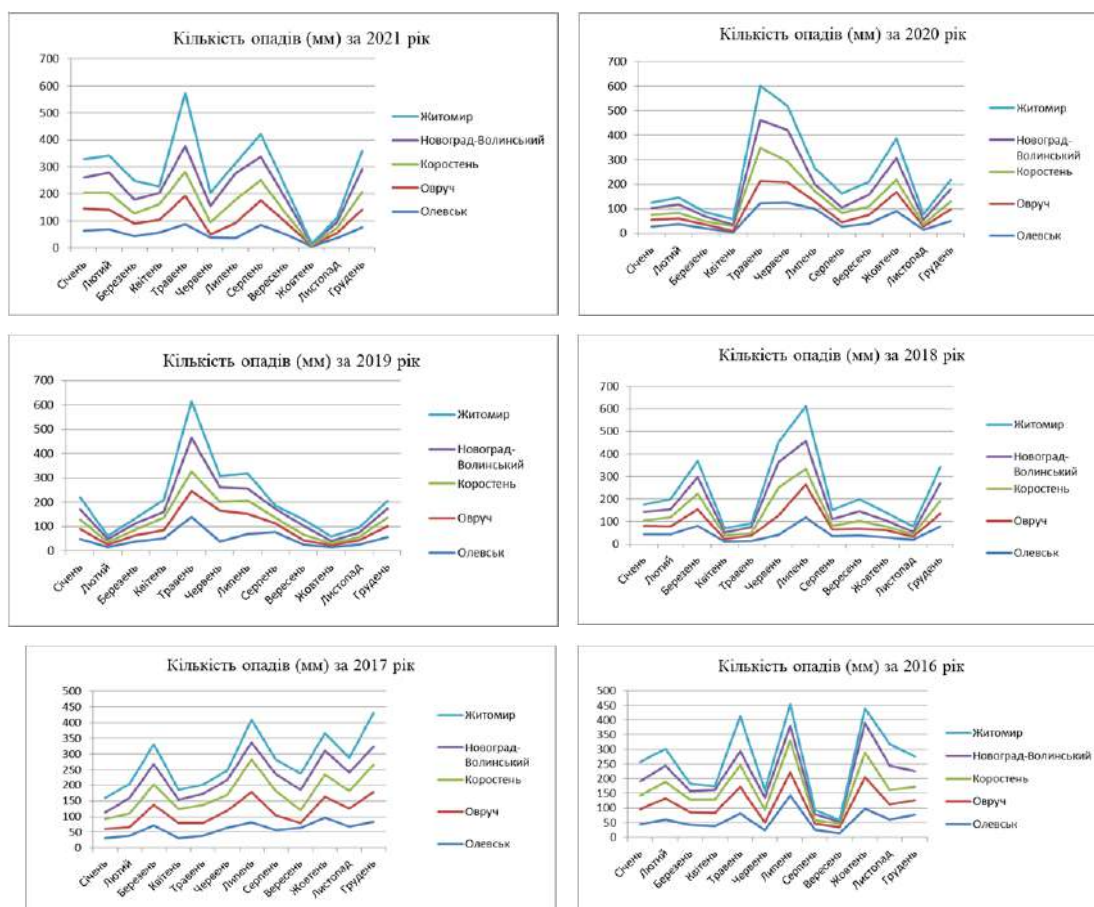


Рис. 1. Кількість опадів (мм) в містах Житомирської області

кількість опадів припадає в місті Житомир, а найменша кількість опадів в м. Олевськ, що спостерігається в період з 2016 по 2021 роки.

Клімат Житомирської області помірно континентальний. Якщо характеризувати 2021 рік, то середня річна температура складала 8.0–8.7° та була в межах норми. Проте, на 1.6–1.9° нижчою, ніж середня температура 2020 року. Найвищі температурні максимуми спостерігались в червні – на рівні 34–36°, та були абсолютно новими значеннями для даного

місяця починаючи з 1945 року. Найбільша температура липня по всій території Житомирської складала близько 34–35°. Найхолодніший місяць року лютий, середня температура якого становила 3.9–5.3° морозу та не відповідала нормі 1.5–2.6°. Також, лютий місяць характеризувався зафіксованими найнижчими температурами за рік, а саме – 22–25° морозу. В січні найнижчі температурні показники складала – 21–24° [9].

Згідно даних рис. 2 спостерігається відхилення від значення норми температури атмосферного повітря

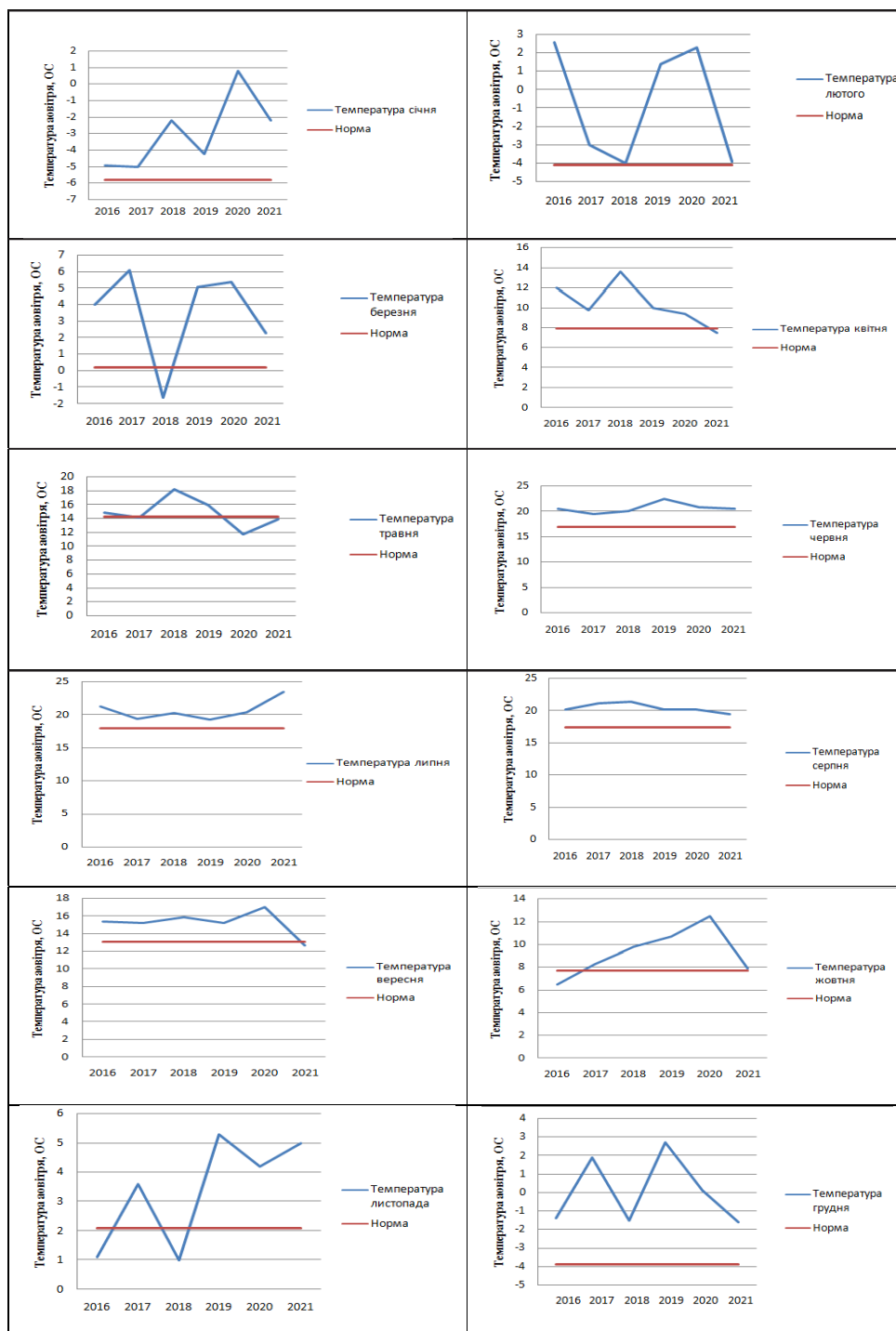


Рис. 2. Відхилення середньої температури повітря в розрізі місяців відносно норми на території м. Житомир впродовж 2016–2021 рр.

на території м. Житомир впродовж 2016–2021 досліджуваних роках.

Такі зміни, можуть провокувати забруднення джерел води, збільшення ризику виникнення лісових пожеж, що спричинить збільшення попиту на енергію та в свою чергу збільшить навантаження на інфраструктуру. Спека влітку зможе призвести до втрати працездатності населення та збільшення кількості смертельних випадків.

Однією з основних причини зміни клімату є парникові гази. Збільшення їх рівня в атмосфері спричиняє незворотні зміни, які мають важкі наслідки. Відходи є важливим місцевим фактором забруднення та основним джерелом довготривалої негативної дії на довкілля [10], що може призводити до змін клімату. Кількість твердих побутових

відходів в Житомирській області зростає [11, 12, 13], що в свою чергу буде мати вплив на кліматичні зміни.

Головні висновки. Найбільша кількість опадів припадає в місті Житомир, найменша в місті Олевськ. Кількість опадів в більшості місяців року в містах Житомирщини в період 2016–2021 рр. були в межах норми, хоча а в окремі місяці в південних районах Житомирської області зафіксовано збільшену кількість опадів. В період 2016–2021 рр. в Житомирській області спостерігається збільшення температури атмосферного повітря. Все це, може бути причиною забруднення поверхневих вод та збільшення ризику виникнення пожеж. В зв'язку з кліматичними змінами можливе виникненням проблем в стані здоров'я населення.

Література

1. Воронка В.П., Марченко О.А., Гришко С.В., Яценток Ю.В. Динаміка кліматичних характеристик міста Мелітополя як складова глобальних змін. *Екологічні науки* № 6(45). С. 105–109.
2. WHO's 10 calls for climate action to assure sustained recovery from COVID-19 / URL: <https://www.who.int/news/item/11-10-2021-who-s-10-calls-for-climate-action-to-assure-sustained-recovery-from-covid-19> (дата звернення: 05.08.2023).
3. Яковичина Т.Ф. Оцінювання зміни клімату протягом ХХ-го століття на прикладі техногенно ненавантаженої території Дніпропетровської області. *Екологічні науки* № 4(49). С. 238–245.
4. The Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC* : веб-сайт. URL: <http://www.ipcc.ch>. (дата звернення: 08.08.2023).
5. Краковська С.В. Чисельні проєкції кліматичних змін в Луганській області до 2050 року. *Наук. праці УкрНДДГМІ*. 2011. Вип. 261. С. 37–55.
6. Khrutba, V., Morozova, T., Kotsiuba, I., Shamrai, V. (2021). Simulation Modeling for Predicting the Formation of Municipal Waste. In: Shkarlet, S., Morozov, A., Palagin, A. (eds) *Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020)*. MODS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1265. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_3.
7. Федонюк В.В., Федонюк М.А. Дослідження сезонної динаміки атмосферного тиску в м. Луцьку. *Фізична географія та геоморфологія*. 2016. Вип. 4 (84). С. 82–89.
8. Бокша В.Г., Іванющенко О.Л. Медична кліматологія. К. : Медицина, 2010. 322 с.
9. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. URL: <http://surl.li/hfgsf> (дата звернення: 19.09.2023).
10. Коцюба І., Лико С., Луцькова В., Анпілова Ю. Науково-теоретичне обґрунтування накопичення твердих побутових відходів Житомирщини. Збірник наукових праць: *Екологічна безпека та природокористування*, Київ. № 4 (36). 2020. С. 56–65.
11. Кульбіда М.І., Єлістратова Л.О., Барабаш М.Б. Сучасний стан клімату України. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2013. Вип. 35. С. 118–130.
12. Коцюба І.Г., Лефтер Ю.О., Нонік Л.Ю., Єльнікова Т.О., Герасимчук О.Л. Аналіз сучасного досвіду та напрямів вирішення проблем управління твердими комунальними відходами. *Екологічні науки* № 6(39). С. 166–170.
13. Коцюба І.Г., Хрутьба В.В. Методологія екологічного краудсорсингу у сфері поводження з відходами. *Екологічні науки* № 2(25). С. 203–205.

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ТЕРИТОРІЇ БАСЕЙНУ РІЧКИ СЛУЧ

Пічура В.І., Потравка Л.О.

Херсонський державний аграрно-економічний університет

вул. Стрітенська, 23, 73006, м. Херсон

pichuravitalii@gmail.com

Зміни клімату є важливим глобальним викликом людства, який потребує міждисциплінарного підходу у його подоланні. Кліматичні зміни проявляються в інтенсивності та частоті кліматичних аномалій, екстремальних погодних явищ на різних рівнях ієрархії у просторі і часі. Зокрема, аналіз наявних джерел показав, що питання вивчення та моделювання можливих змін клімату й оцінки його впливу на функціонування екосистем річкових басейнів із метою розроблення та ведення нових адаптаційних заходів на різних рівнях господарювання залишаються актуальними та недостатньо дослідженими. Тому метою досліджень було є багаторічне дослідження та встановлення просторово-часових закономірностей формування кліматичних умов на території басейну річки Случ. Дослідження ґрунтувалися на даних аналізу кліматичних змін за 1901–2022 рр. та дешифруванні актуальних супутникових знімків космічного апарату Landsat 2. Встановлено, що в останні 120 років річна сума атмосферних опадів у межах водозбірної басейну варіювала від 487 мм до 716 мм. Зокрема, за останні 40 років середньорічна температура на території водозбору у середньому збільшилася на 1,9°C, що призвело до значного підвищення евапотранспіраційних процесів (ET_0) від 1,79 мм/день до 2,25 мм/день, зниження вологозабезпеченості басейнових ландшафтних і аквально-територіальних структур. Просторово-часова варіація ET_0 є важливим індикатором посухи, показником змін у формуванні водного режиму, вологозабезпечення басейнових ландшафтних структур, рівня споживання води рослинами, об'єму водного сліду на вирощування агрокультур тощо. Встановлено, що басейн річки Случ на теперішній час залишається добре вологозабезпеченим природним регіоном, але тенденції глобального потепління засвідчують про неминучість збільшення площі водозбору із сухим субгумідним кліматом у верхній частині басейну річки, що обумовить зменшення водності та призведе до імовірного пересихання малих водотоків у верхів'ї русла річки Случ. Зокрема, кліматичні проблеми верхньої частини водозбору посилюються високим рівнем антропогенно-порушених земель (сільськогосподарські угіддя і населені пункти) на рівні 68,9% та обмеженістю природних угідь (лісовкриті землі та інша природна рослинність, водно-болотні угіддя) – 31,1%. Тому одержані результати є необхідними для встановлення просторово-часових закономірностей формування водно-балансової стійкості басейну річки та обґрунтування збалансованого природокористування за умов змін клімату та антропогенного навантаження. *Ключові слова:* клімат, евапотранспірація, індекс аридності, басейн річки, моделювання, річка Случ.

Spatio-temporal patterns of the formation of climate conditions in the Sluch river basin. Pichura V., Potravka L.

Climate change is a critical global challenge requiring an interdisciplinary approach to address. These changes manifested in the intensity and frequency of climate anomalies and extreme weather conditions across different hierarchical levels in space and time. An analysis of available sources has shown that the study and modeling of potential climate change and its impact on the functioning of river basin ecosystems, along with the development and implementation of adaptation measures at various levels of governance, remain pertinent and inadequately researched. Therefore, the aim of this research was to conduct a long-term study and establish the spatial-temporal patterns in the formation of climate conditions within the territory of the Sluch River basin. The research was based on an analysis of climate changes from 1901 to 2022 and the interpretation of current satellite images from the Landsat 2. The findings reveal that over the past 120 years, the annual sum of atmospheric precipitation within the water basin has varied from 487 mm to 716 mm. Specifically, over the last 40 years, the average annual temperature in the watershed area increased by 1.9 °C, leading to a significant rise in evapotranspiration processes (ET_0) from 1.79 mm/day to 2.25 mm/day and a decrease in the moisture supply of basin landscape and aquatic territorial structures. The spatial-temporal variation of ET_0 is a crucial indicator of drought, changes in water regime formation, moisture supply of basin landscape structures, plant water consumption levels, and water footprint for crop cultivation. It was established that, the Sluch River basin remains well-supplied with natural moisture, however, global warming trends suggest an inevitable increase of the catchment area with a dry subhumid climate in the upper part of the river basin, which will result the reduction of water availability and potential drying of small streams in the upper reaches of the Sluch River. Climate problems in the upper part of the catchment area are exacerbated by a high level of anthropogenically disturbed lands (agricultural land and settlements) at 68.9% and the limitation of natural lands (forest-covered lands and other natural vegetation, wetlands) at 31.1%. Therefore, the obtained results are essential for establishing the spatial-temporal patterns in the formation of water balance stability in the Sluch River basin and for justifying balanced natural resource management under the conditions of climate change and anthropogenic pressure. *Key words:* climate, evapotranspiration, aridity index, river basin, modeling, Sluch River.

Постановка проблеми. Спрямована зміна клімату являється один із найважливіших сучасних глобальних викликів, який виходить за рамки наукових досліджень і представляє собою комплексну міждисциплінарну проблему, що охоплює екологічні, економічні, соціальні аспекти сталого розвитку країн світу

[1, 2]. За останні 30 років значно збільшилася частота та інтенсивність небезпечних погодних явищ [3–5], які є причиною суттєвих економічного збитку [6, 7], загрожують існуванню басейнових ландшафтних [8–10] і аквально-територіальних екосистем [11–12], здоров'ю та життю людей [13–15]. Висновки багатьох учених

свідчать про те, що кліматичні зміни, які частішають, можуть у майбутньому призвести до ще більш непередбачуваних наслідків, якщо людство не буде вживати відповідні попереджувальні заходи. Тому, актуальності набуває збалансоване управління природними ресурсами у розбудові кліматично орієнтованого господарювання [16, 17], розбудова якого потребує вибору особливої просторової одиниці біосфери. У цьому контексті для визначення просторово-часових закономірностей організації та взаємозв'язків стабілізуючих (природне середовище) та дестабілізуючих (антропогенне середовище) компонентів екосистем обрано басейн річки [18–20]. Зокрема, визначальним фактором формування та гідрофункціонування басейнів є рельєф місцевості та кліматичні характеристики території [21]. Перевищення кількості надходження атмосферних опадів над величиною випаровування та фільтрації води у ґрунті обумовлюють баланс поверхневого стоку води з території водозбору та її акумуляції у руслових системах [22, 23].

На басейновому рівні здійснюється найважливіша функція взаємозв'язків складових (біотичних і абіотичних) екосистем, між якими існують генетичні, історичні та функціональні зв'язки, виражені безперервним обміном речовин, енергії та інформації [24]. Закономірності фізичної організації функціонування басейнів визначаються стоком поверхневих вод і стоком твердої речовини, які залежать від кліматичних характеристик та антропогенним навантаженням на водозбір [25, 26]. До основних антропогенних чинників, які визначають рівень гідрофункціонування басейну річки, відносять промисловий комплекс [27], сільське господарство [28] та комунальну галузь [29]. Провідне й найпотужніше за масштабами проявів природокористування є сільське господарство, яке зумовлює масштабну агрогенну трансформацію басейнових ландшафтних структур і значне підвищення ґрунтово-ерозійної міграції високотоксичних і біогенних речовин, погіршує екологічний стан водозбору та ерозійно-руслових систем за межами первинних осередків забруднення [30, 31].

Проблеми сьогодення, зумовлені дефіцитом прісної води, можуть посилитися у майбутньому по причині зростання потреб у водних ресурсах, обмеженні їх доступності та зниженні якості. Зокрема, тривалий дефіцит опадів на водозбірній території спричиняє метеорологічну посуху [32], в подальшому проявляється зниженням вологості ґрунту, що посилюється випаровуванням стоку [33], що порушує стан екологічної системи басейну річки. Тому, в умовах змін клімату і нестабільного волого забезпечення, важливим питанням є забезпечення збалансованого функціонування водогосподарської галузі, що виражатиметься удосконаленням системи оцінювання та раціонального використання наявних водних ресурсів як складової цілісної системи у структурі басей-

нового природокористування, охорони довкілля та якості життєзабезпечення на основі сучасних методологій.

Аналіз наявних джерел показав, що питання вивчення та моделювання можливих змін клімату й оцінки його впливу на функціонування екосистем річкових басейнів із метою розроблення та ведення нових адаптаційних заходів на різних рівнях господарювання залишаються актуальними та недостатньо дослідженими. Зокрема, забезпечення збалансованого водокористування на агроландшафтах водозбірної території річки повинно ґрунтуватися на розрахунках співвідношенні надходження атмосферних опадів та обсягів водних ресурсів [34, 35].

Метою дослідження є багаторічне дослідження та встановлення просторово-часових закономірностей формування кліматичних умов на території басейну річки Случ.

Матеріали і методи досліджень

Матеріали досліджень. Для виділення водотоків, визначення їх порядків і встановлення меж водозбірної території басейну річки Случ була використана цифрова модель рельєфу (ЦМР) на основі даних *SRTM-90* із просторовою роздільною здатністю 90×60 м/пік сель, яка була представлена на офіційному сайті геологічної служби США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Дослідження виконано за допомогою програми *ArcGIS* на основі ЦМР з використанням удосконаленого алгоритму [18, 36] гідрологічного геомоделювання робочого модуля *Hydrologytools of Spatial Analyst Tools*. Для поділу річкового басейну на групи, в залежності від порядку головного русла, використано підхід Стралера-Філософова [37].

Структура земель басейну Случ розрахована на основі даних супутникового знімку космічного апарату *Landsat 2* (роздільна здатність 10 м/піксель) станом на 15–16.10.2022 р. із застосуванням методу “land use land cover (LULC)” of *ArcGIS*. Просторово-часові закономірності зміни кліматичних умов на водозбірній території басейну річки у період 1901–2022 рр. встановлені на основі даних *Climatic Research Unit of the University of East Anglia* (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hr/g/>) і даних *NASA POWER* (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

Характеристика території досліджень. Річка Случ бере початок з невеликого озера, що живиться підземними водами, розташованого в балці і 1 км на схід села Червона Случ Хмельницької області України на висоті 320 м над рівнем моря (рис. 1). Річка Случ впадає з правої притоки до річки Горинь у межах села Лютинськ Рівненської області. Загальна довжина річки складає 451 км, площа водозбірного басейну становить 13,83 тис. км², падіння русла 183 м (рис. 1б).

Висоти рельєфу у межах басейн річки від її витоку до гирла змінюється від 376 м до 137 м (рис. 1в), середній ухил водної поверхні рівний, 0,4%. Верхня частина басейну являє собою підвищену рівнину,

розчленовану врізаними річковими долинами довжиною 50–100 м та густою ярово-балковою мережею. Середня густина річкової мережі складає 0,39 км/км², у верхній частині басейну Случ, густина річкової мережі сягає 0,7 км/км². Морфометрія басейну має витягнуту з півдня на північ форму, довжиною 300 км, із середньою та найбільшою шириною відповідно 46 км та 110 км. Територія водозбору річки розташована у двох геоморфологічних областях, а саме: верхня і середня частини басейну знаходяться на Волинсько-Подільській височині та її відрогах, яка має назву Волинське полісся; нижня частина водозбору знаходиться у межах великої рівнини Полісся (Прип'ятське Полісся).

Русло річки звивисте, подекуди має круті береги з висотами від 20–40 м до 50 м, місцями береги помірно круті, рідше пологі з висотами 5–15 м. Долина сягає ширини 1,5–5,0 км у нижній

течії. Заплава двостороння, поросла лучною рослинністю, місцями заболочена. Лісистість басейну становить – 30,8%, інша рослинність (луки, ремізи, позахисні лісосмуги, рослинність на ярово-балкових землях) – 10,7%, заболоченість – 13,0%, водойми – 0,3%, сільськогосподарські угіддя – 39,7%, населені пункти – 5,4% (рис. 1з).

На річці Случ, у місті Новоград-Волинському, побудоване водосховище з об'ємом води 1,8 млн м³ (площею 95,5 га), яке використовується для господарської діяльності і комунального господарства. Споживання води становить 1,96 млн м³/рік [38]. Річка Случ використовується як джерело гідроенергії (Миропільська ГЕС, Любарська ГЕС, Пединківська ГЕС). Ставки у межах басейну Случ мають рибогосподарське призначення. Розподіл стоку протягом року нерівномірний, залежить від кількості надходження атмосферних опадів та тем-

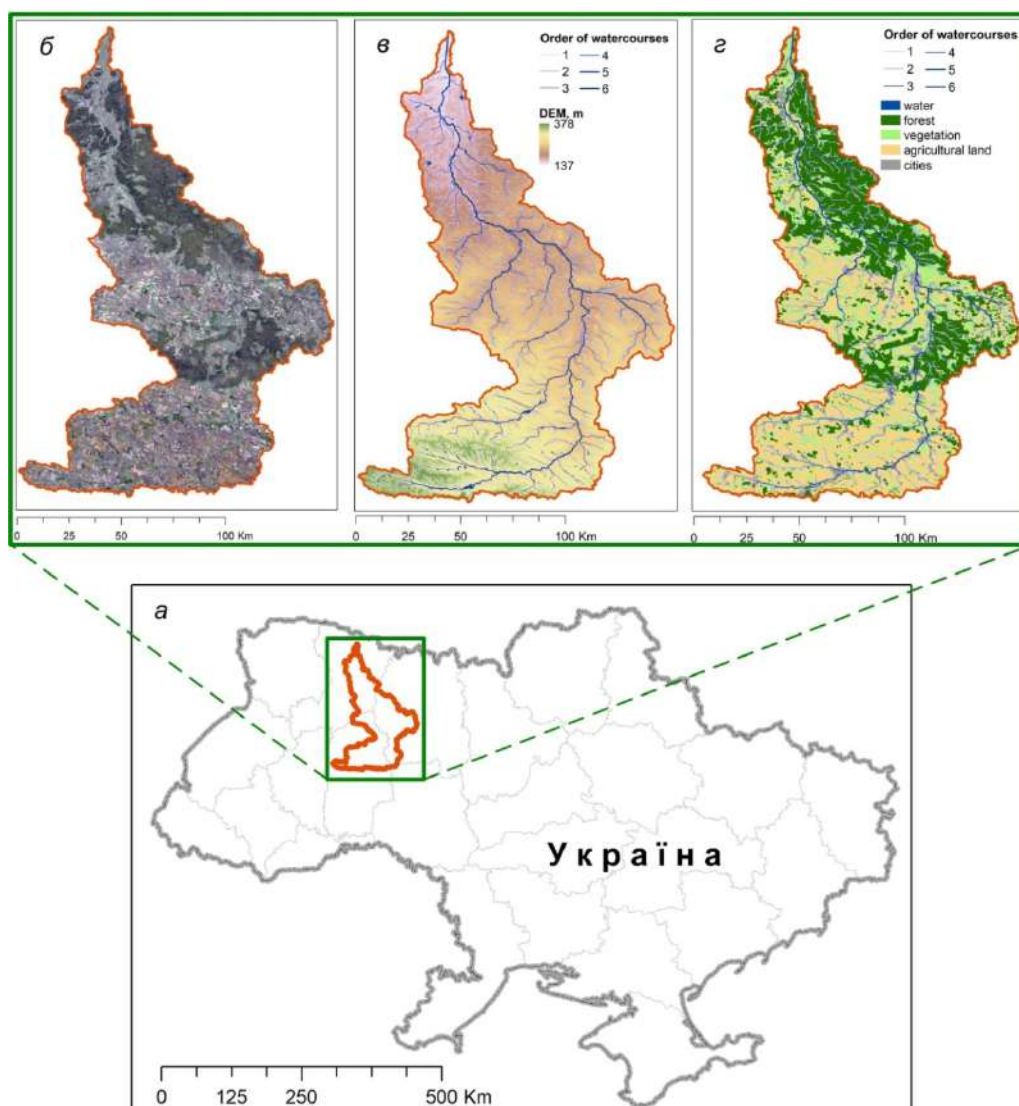


Рис. 1. Просторове розміщення та характеристика басейну річки Случ: а – розміщення на території України; б – супутниковий знімок з космічного апарату Landsat 2 станом на 15–16.10.2022 р.; в – цифрова модель рельєфу та розподіл гідромережі в межах басейну; з – структура земельних угідь

пературного режиму повітря. Більша частина стоку фіксується у період весняної повені, у межах 40–80% річкового стоку. У літню межень річка переважно живиться підземними водами [39]. У літньо-осінній період часто спостерігаються дощові паводки. Найбільший запас води у снігу рівний 102 мм, середній – 47 мм, забезпечений на 10% – 86 мм, на 25% – 65 мм. Сума річних опадів для 50% років досліджень становить 562 мм, для 75% – 481 мм, для 95% років – 401 мм. Швидкість течії річки при проходженні максимальних втрат води досягає 1,0–1,4 м/с, в межень середні швидкості складають 0,3–0,5 м/с. Мінералізація поверхневих вод у середньому становить: у весняну повінь – 313 мг/дм³; літньо-осінню межень – 321 мг/дм³; зиму межень – 349 мг/дм³. За комплексною екологічною оцінкою в період 2005–2021 років, якість поверхневих вод р. Случ у більшості випадків відбору проб вода віднесено до II класу – стан «добрий», з перевищенням вмісту азоту нітратного, показника БСК₅ (біохімічного споживання кисню в продовж п'яти днів) та фосфору фосфатів [40], що свідчить про присутність у складі води досліджуваної річки біогенних елементів антропогенного походження.

Метод розрахунку Aridity Index (AI). AI є показником посушливості, який визначається на основі співвідношення щорічних опадів (*P*) до щорічних значень еталонної евапотранспірації (*ET₀*) за формулою [41]:

$$AI = P / ET_0 \quad (1)$$

Індекс AI можна визначити як біокліматичний індекс, оскільки він враховує як фізичні явища (опади та випаровування), так і біологічні процеси (транспірацію рослин). Крім того, індекс є одним із найбільш актуальних показників для вивчення процесів опустелювання [42]. Як правило, значення AI нижче 0,5 визначають посушливі або напівпосушливі території, тоді як значення понад 0,65 засвідчує вологі та гіпервологі зони, як наведено у таблиці 1.

Aridity Index використовується United Nations Environment Programme (<http://www.unep.org/>), Food and Agriculture Organization (<http://www.fao.org/>) і United Nations Convention to Combat Desertification (<http://www.unccd.int/main.php>) для класифікації клімату, оцінки забезпеченості атмосферними опадами та управління зрошенням на певній території досліджень.

Обробку космічних знімків, створення картограм, просторово-часовий аналіз проводили із використанням ліцензійного програмного продукту ArcGis 10.6 та Microsoft Excel 2010.

Виклад основного матеріалу. Швидкість розвитку рослинного покриву та час досягнення ним ефективного повного покриву залежать від погодних умов в цілому та атмосферних опадів і температури повітря зокрема. Тому, тривалість часу між посівом та ефективним повним покриттям агроценозів, рівень водоспоживання, тривалість окремих фенологічних фаз рослин та урожайність, змінюється залежно від клімату, фізико-географічних умов місцевості (широти, висоти), дати висіву, сортових особливостей культури та рівня агротехнологічних заходів. Після досягнення ефективного повного покриття рослинного покриву швидкість фенологічного розвитку (цвітіння, розвиток насіння або зерна, дозрівання та відмирання) залежить від генотипу рослини та пластичності агроценозів до кліматичних умов. Відсутність атмосферних опадів та високі температури скорочують термін фенологічних фаз, прискорюють дозрівання та відмирання рослин. Зокрема, тривала висока температура повітря (>35°C) та нестача вологи прискорюють швидкість дозрівання, скорочують тривалість середнього і пізнього періодів вегетації рослин, що є причиною зростання рівня значень евапотранспіраційних процесів, зниження продуктивності агроценозів та дефіциту ґрунтової вологи. Тому, комплексна оцінка умов зволоження будь-якої території, прогнозування урожайності, розрахунок водоспоживання та вологозабезпечення сільськогосподарських культур, здійснюється з урахуванням агрометеорологічних показників, зокрема: атмосферні опади, температура повітря, швидкість вітру, а також похідних показників (енергія клімату, вологість повітря, евапотранспірація, кліматичні коефіцієнти та індекси тощо).

Водозбірна територія басейну річки Случ входить до зони оптимального рівня зволоження та добрими умовами одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур. За останні 120 років (рис. 2) річна сума атмосферних опадів у межах водозбірного басейну варіювала від 487 мм до 716 мм. Відносно низьке значення атмосферних опадів фіксується у районі витоку річки (487–586 мм), у середній частині головного русла значення становить від

Таблиця 1

Значення Aridity Index (AI)

Класифікація клімату	Aridity Index (AI)
Hyper-arid (гіперпосушливий)	≤0,05
Arid (посушливий)	0,05-0,20
Semi-arid (напівзасушливий)	0,20-0,50
Dry sub-humid (сухий субгумідних)	0,50-0,65
Humid (вологий)	0,65-0,75
Hyper-humid (гіпервологий)	>0,75

580 мм до 716 мм, у гирловій частині коливається в межах 590–630 мм. За період спостережень фіксувалося чотири десятилітніх періоди із максимальним значенням надходження атмосферних опадів і три із мінімальним значенням атмосферного вологозабезпечення (рис. 5а).

Фактором формування водності гідромережі, запасів ґрунтової вологи, величини водного сліду

при вирощуванні сільськогосподарських культур, тривалості фенологічних фаз рослин, активності евапотранспіраційних процесів є температура повітря. З 80-х років ХХ століття (рис. 5б) спостерігається поступове підвищення температурного режиму на території басейну річки Случ. За останні 40 років середньорічна температура на території водозбору у середньому збільшилася на 1,9 °С, що призвело до

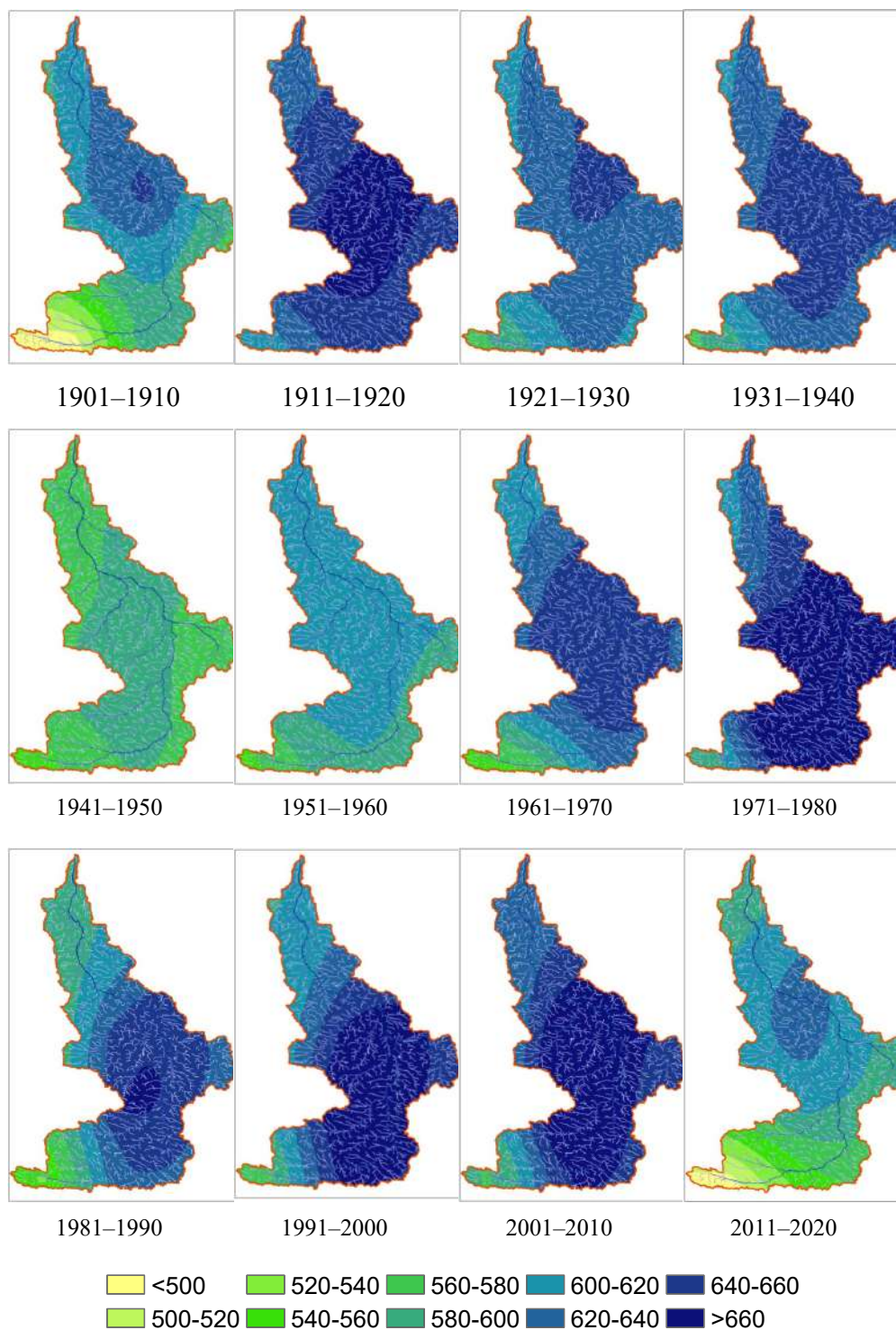


Рис. 2. Просторово-часова диференціація суми атмосферних опадів в межах басейну річки Случ в період 1901–2020 рр.

значного підвищення евапотранспіраційних процесів, зниження вологозабезпеченості басейнових ландшафтних і аквальних територіальних структур. Це також обмовило збільшення витрат водоспоживання агроценозів на формування однієї одиниці продукції (та/га).

Значення еталонної евапотранспірації (ET_0) на водозбірній площі річки Случ за останні 120 років

варіювало у межах 1,72–2,25 мм/день (рис. 3), його мінімальне значення фіксувалося у період вологих років: 1921–1930 рр – 1,79–1,94 мм/день і 1971–1980 рр – 1,72–1,88 мм/день (рис. 5б).

Максимальне значення ET_0 фіксується в останні 30 років, в межах 1,86–2,25 мм/день, що є закономірністю підвищення значення температури повітря і асинхронного зниження надходження атмосфер-

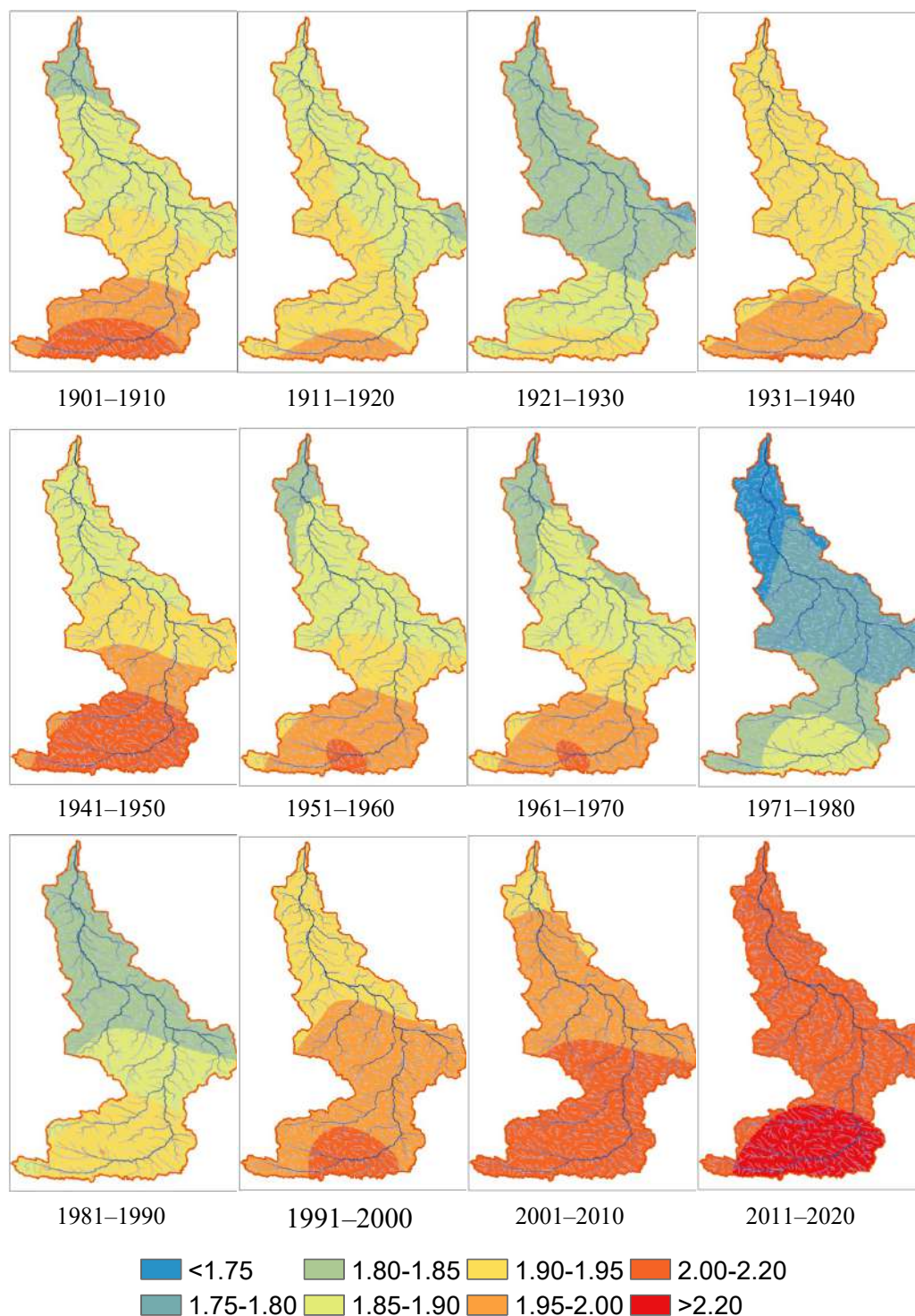


Рис. 3. Просторово-часова диференціація значення еталонної евапотранспірації (ET_0 , мм/день) в межах басейну річки Случ в період 1901–2020 рр.

них опадів. Високі значення еталонної евапотранспірації фіксувалися у межах басейнових ландшафтних і аквальних територіальних структур верхньої частини течії річки Случ – від 1,87 мм/день (вологий рік) до 2,25 мм/день (сухий рік). В межах басейну середньої течії річки значення ET_0 варіювало у межах 1,80–2,15 мм/день, у гирловій частині від 1,72 мм/день до 2,00 мм/день.

Просторово-часова варіація ET_0 є важливим індикатором посухи, показником змін у формуванні водного режиму, вологозабезпечення басейнових ландшафтних структур, рівня споживання води рослинами, об'єму водного сліду на вирощування

агроценозів тощо. Зокрема, посуха є кліматичним явищем стохастичної природи, що виникає внаслідок значного дефіциту опадів та екстремального підвищення температури повітря, які негативно впливають на функціонування басейнових ландшафтних і аквальних територіальних структур, зниження продуктивності агроценозів.

Посуха є частиною природного кліматичного циклу, яка може тривати кілька місяців або років, це складне явище, частота проявів якої в останні роки суттєво збільшилася і несе негативні екологічні та соціально-економічні наслідки для регіонів її прояву. Посуха, є результатом поєднання природ-

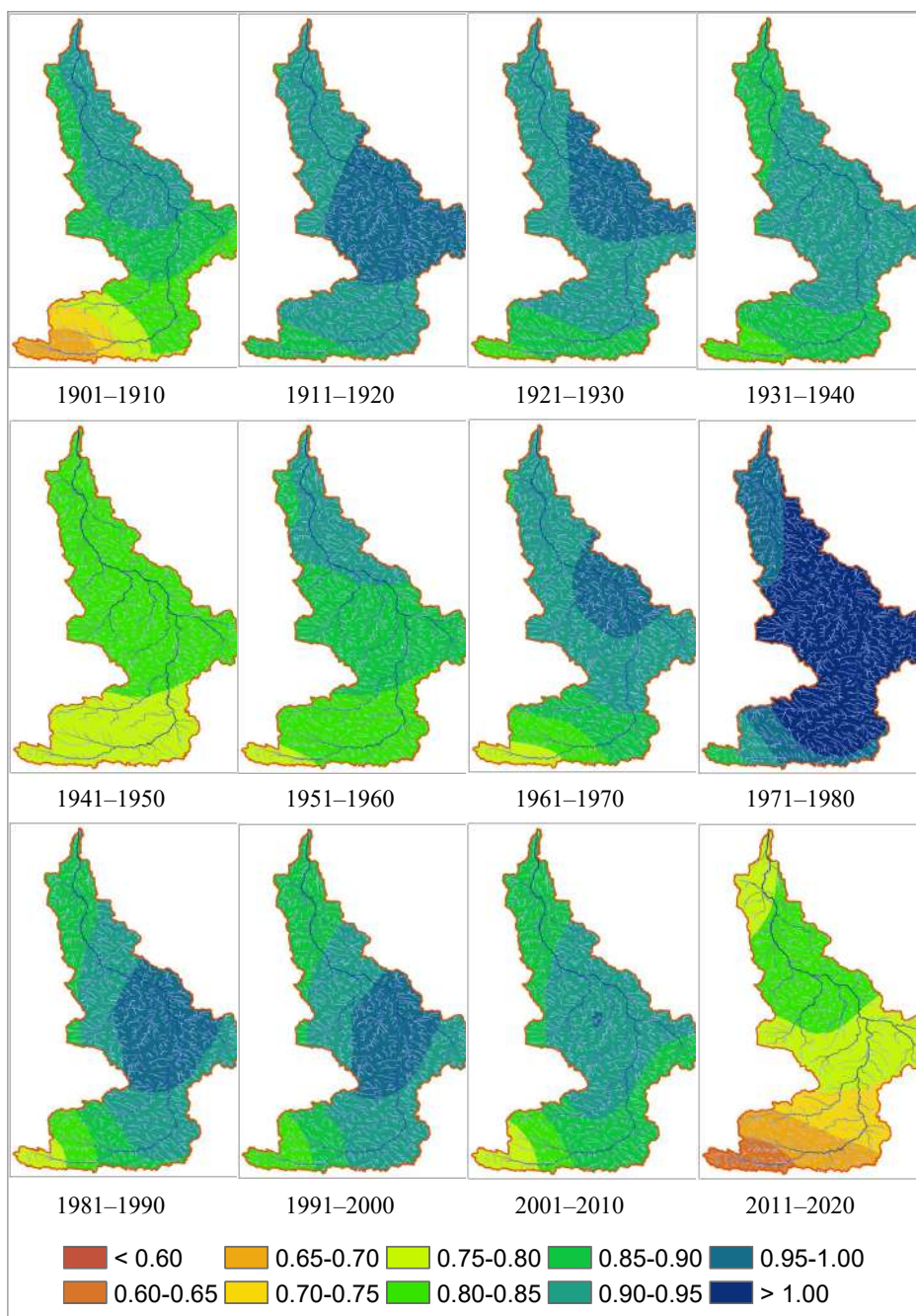


Рис. 4. Просторово-часова диференціація значення Aridity index (AI) в межах басейну річки Случ у період 1901–2020 рр.

них і антропогенних факторів, яка спричиняє дефіцит води, погіршення властивостей обігу речовин у природних екосистемах та функціонування соціально-економічної сфери. Тому, визначення періодів та характеристик посухи дозволяють встановити рівень посухи, її циклічність і тенденції, встановити ризику від проявів, що допомагає окреслити коло заходів щодо протидії кліматичним змінам, що будуть реалізовуватися шляхом впровадження адаптивно-кліматичних технологій у різних сфери господарювання. У кліматології визначення різних типів посухи здійснюється за допомогою Індексу посухи, який характеризує рівень посухи на основі однієї або декількох кліматичних показників. Для цього використовується співвідношення кількості атмосферних опадів та еталонної евапотранспірації. Індекси посухи відображають просторово-часові закономірності та умови змін клімату, прояви аномалій сухості клімату, затримку гідрологічних впливів (втрати вологи з ґрунту та води з акваторій). Рівень посухи впливає на зменшення продуктивності агроценозів (т/га) та збільшення коефіцієнту водоспоживання ($\text{m}^3/\text{т}$), що характеризують просторово-часові зміни у водному сліді на вирощування сільськогосподарських культур.

Розрахунок Aridity Index (AI) дає можливість встановити просторово-часові закономірності зміни клімату, класифікувати їх, визначити періоди або років можливих проявів посухи та визначити тренд комплексної оцінки умов зволоження водозбірної території річки та надати агрометеорологічні характеристики урожаїв сільськогосподарських культур. За результатами просторово-часових розрахунків AI за останні 40 років на водозбірній території басейну річки Случ фіксується значне потепління та зниження вологозабезпеченості (рис. 4, рис. 5).

За 120 років спостережень значення AI варіювало від 0,61 до 1,08, клімат у межах басейну річки у переважну кількість років характеризувався як «Гіпервологий». Але зміни клімату у останні 10–15 років привели до значної просторової диференціації вологозабезпечення на водозбірній території річки Случ, зокрема: 33,5% території водозбору, яка знаходиться у межах верхньої течії річки, характеризується сухим субгумідним (6,5%) і вологим кліматом (27,0%). Хоча басейн річки Случ на теперішній час залишається добре вологозабезпеченим природним регіоном, але тенденції глобального потепління засвідчують про неминучість збільшення площі водозбору із сухим субгумідним кліма-

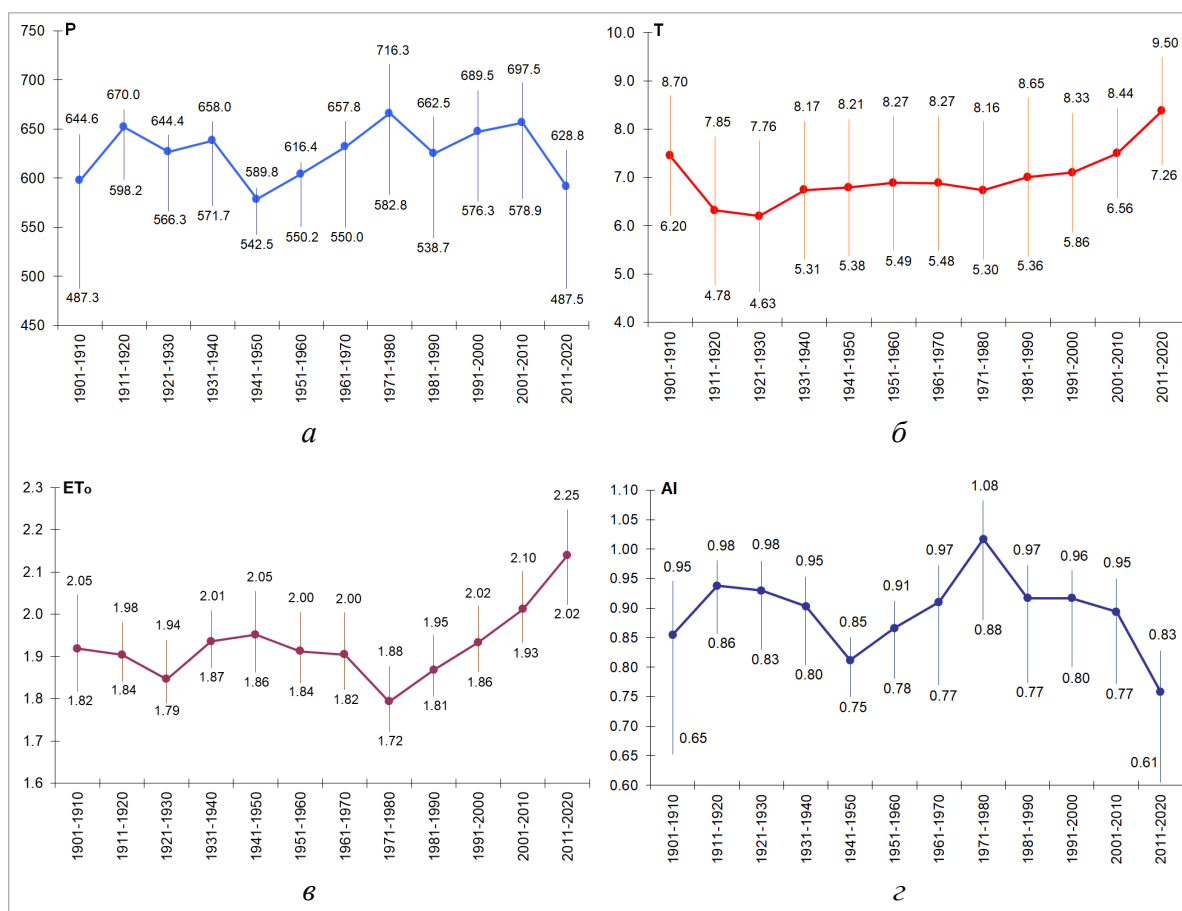


Рис. 5. Кліматичні характеристики водозбірної території річки Случ за період 1901–2020 рр.: а – сума атмосферних опадів за рік (P), мм; б – середньорічна температура повітря (T), °C; в – еталона евапотранспірація (ET_0 , mm/day); г – значення Aridity index (AI)

том у верхній частині басейну річки, що обумовить зменшення водності та призведе до імовірного пересихання малих водотоків у верхів'ї русла річки Случ. Зокрема, кліматичні проблеми верхньої частини водозбору посилюються високим рівнем антропогенно-порушених земель (сільськогосподарські угіддя і населені пункти) на рівні 68,9% та обмеженістю природних угідь (лісовкриті землі та інша природна рослинність, водно-болотні угіддя) – 31,1%. Варто зазначити, що природна рослинність виконує стабілізуючу та кліматично-регулюючу функцію для навколишнього середовища, сприяє зменшенню евапотранспіраційних процесів та проявів посух. У відповідності співвідношення «антропогенно-порушених земель і природних угідь» верхня частина водозбору характеризується «руйнівним» типом стану басейнових ландшафтних структур.

Висновок. На основі аналізу даних Climatic Research Unit of the University of East Anglia, NASA POWER та дешифрування космічних знімків супутникового апарату Sentinel 2 встановлено просторово-часові закономірності зміни клімату в межах басейну

річки Случ. Встановлено, що за останні 120 років сума атмосферних опадів за рік в межах водозбірної басейну річки Случ варіювала від 487 мм до 716 мм. За останні 40 років середньорічна температура на території водозбору в середньому збільшилася на 1,9 °С, що призвело до значного підвищення евапотранспіраційних процесів від 1,79 мм/день до 2,25 мм/день, зниження вологозабезпеченості басейнових ландшафтних і аквальних територіальних структур на 20–25%. Хоча басейн річки Случ на теперішній час залишається добре вологозабезпеченим природним регіоном, але тенденції глобального потепління засвідчують про неминучість збільшення площі водозбору із сухим субгумідним кліматом у верхній частині басейну річки, що обумовить зменшення водності та призведе до імовірного пересихання малих водотоків у верхів'ї русла річки Случ. Тому одержані результати є необхідними для встановлення просторово-часових закономірностей формування водно-балансової стійкості басейну річки та обґрунтування збалансованого природокористування за умов змін клімату та антропогенного навантаження.

Література

1. Пічуря В.І. Зональні закономірності вікових змін клімату на території басейну Дніпра. *Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2017. № 2. С. 43–52.
2. Пічуря В.І., Потравка Л.О., Білошкурєнко О.С., Вознюк Н.М. Закономірності багаторічних змін клімату у зоні Степу України. *Науковий збірник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2022. № 3(99). С. 89–104.
3. Lisetskii F., Pichura V. Steppe Ecosystem Functioning of East European Plain under Age-Long Climatic Change Influence. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol 9(18). P. 1–9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93780
4. Pichura V., Potravka L., Vdovenko N., Biloshkurenko O., Strachuk N., Baysha K. Changes in Climate and Bioclimatic Potential in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23(12). P. 189–202. <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>
5. Asgarizadeh Z., Gifford R., Colborne L. Predicting climate change anxiety. *Journal of Environmental Psychology*. 2023. Vol. 90. 102087. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102087>
6. Mei H., Li Y.P., Suo C., Ma Y., Lv J. Analyzing the impact of climate change on energy-economy-carbon nexus system in China. *Applied Energy*. 2020. Vol. 262. 1144568. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114568>
7. Koasidis K., Koutsellis T., Hexas G., Nikas A., Doukas H. Understanding expectations from and capabilities of climate-economy models for measuring the impact of crises on sustainability. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 414. 137585. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137585>
8. Lisetskii F., Polshina M., Pichura V., Marinina O. Climatic factor in long-term development of forest ecosystems. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2017. Vol. 17(32). P. 765–774.
9. Zhang Y., Wu T., Song C., Hein L., Shi F., Han M., Ouyang Z. Influences of climate change and land use change on the interactions of ecosystem services in China's Xijiang River Basin. *Ecosystem Services*. 2022. Vol. 58. 101489. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101489>
10. Prajapati R.N., Ibrahim N., Thapa B.R. Climate change impact on water availability in the Himalaya: Insights from Sunkoshi River basin, Nepal. *HydroResearch*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.10.002>
11. Pichura V.I., Potravka L.A., Skrypchuk P.M., Strachuk N.V. Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (4). P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/119521>
12. Yingshuo Lyu Y., Chen H., Cheng Z., He Y., Zheng X. Identifying the impacts of land use landscape pattern and climate changes on streamflow from past to future. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 345. 118910. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118910>
13. Chowdhury A., Hasan K., Hasan R., Younos T.B. Climate change impacts and adaptations on health of Internally Displaced People (IDP): An exploratory study on coastal areas of Bangladesh. *Heliyon*. 2020. Vol. 6 (9). e05018. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05018>
14. Paquin V. 78.1 Mental Health Impacts of Climate Change on Circumpolar Indigenous Peoples. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*. Vol. 61 (10). S109. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2022.07.445>
15. Ma T., Moore J., Cleary A. Climate change impacts on the mental health and wellbeing of young people: A scoping review of risk and protective factors. *Social Science & Medicine*. 2022. Vol. 301. 114888. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2022.114888>
16. Coleman M.A., Wernberg T. A Glass Half Full: Solutions-Oriented Management under Climate Change. *Trends in Ecology & Evolution*. 2021. Vol. 36 (5). P. 385–386. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.02.009>

17. Yin J., Xue Y., Li Y., Zhang C., Xu B., Liu Y., Ren Y., Chen Y. Evaluating the efficacy of fisheries management strategies in China for achieving multiple objectives under climate change. *Ocean & Coastal Management*. 2023. Vol. 245. 106870. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106870>
18. Pichura V.I., Domaratsky Y.A., Yaremko Yu.I., Volochnyuk Y.G., Rybak V.V. Strategic Ecological Assessment of the State of the Transboundary Catchment Basin of the Dnieper River Under Extensive Agricultural Load. *Indian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 44(3). P. 442–450.
19. Han Z., Wei Y., Meng J., Zou Y., Wu Q. Integrated water security and coupling of social-ecological system to improve river basin sustainability. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 905. 167182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167182>
20. Liu H., Wang Z., Zhang L., Tang F., Wang G., Li M. Construction of an ecological security network in the Fenhe River Basin and its temporal and spatial evolution characteristics. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 417. 137961. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137961>
21. Zhang M., Wang K., Liu H., Yue Y., Ren Y., Chen Y., Zhang C., Zhenhua Deng Z. Vegetation inter-annual variation responses to climate variation in different geomorphic zones of the Yangtze River Basin, China. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 152. 110357. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110357>
22. Pichura V.I., Malchukova D.S., Ukrainskij P.A., Shakhman I.A., Bystriantseva A.N. Anthropogenic Transformation of Hydrological Regime of The Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45 (3). P. 445–453.
23. Rivaes R.P., Feio M.J., Almeida S.F.P., Calapez A.R., Sales M., Gebler D., Lozanovska I., Aguiar F.C. River ecosystem endangerment from climate change-driven regulated flow regimes. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 818. 151857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151857>
24. Bai Y., Zhang S., Mu E., Zhao Y., Cheng L., Zhu Y., Yuan Y., Wang Y., Ding A. Characterizing the spatiotemporal distribution of dissolved organic matter (DOM) in the Yongding River Basin: Insights from flow regulation. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 325 (B). 116476. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116476>
25. Pichura V., Potravka L., Skok S., Vdovenko N. Causal Regularities of Effect of Urban Systems on Condition of Hydro Ecosystem of Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 47 (2). P. 273–280.
26. Kim S., Kim S., Green C.H.M., Jeong J. Multivariate polynomial regression modeling of total dissolved-solids in rangeland stormwater runoff in the Colorado River Basin. *Environmental Modelling & Software*. 2022. Vol. 157. 105523. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105523>
27. Xiong L., Ning J., Wang J., Dong Y. Coupling degree evaluation of heavy metal ecological capacity and enterprise digital transformation in river basins. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 133. 108358. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108358>
28. Madeira C.L., Acayaba R.D., Santos V.S., Villa J.E.L., Jacinto-Hernández C., Azevedo J.A.T., Elias V.O., Montagner C.C. Uncovering the impact of agricultural activities and urbanization on rivers from the Piracicaba, Capivari, and Jundiaí basin in São Paulo, Brazil: A survey of pesticides, hormones, pharmaceuticals, industrial chemicals, and PFAS. *Chemosphere*. 2023. Vol. 341. 139954. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139954>
29. Prasood S.P., Mukesh M.V., Rani V.R., Sajinkumar K.S., Thrivikramji K.P. Urbanization and its effects on water resources: Scenario of a tropical river basin in South India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2021. Vol. 23. 100556. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100556>
30. Dudiak N.V., Pichura V.I., Potravka L.A., Strachuk N.V. Geomodelling of Destruction of Soils of Ukrainian Steppe Due to Water Erosion. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20, Iss. 8. P. 192–198.
31. Santos F.M., Pelinson N.S., Oliveira R.P., Lollo J.A.D. Using the SWAT model to identify erosion prone areas and to estimate soil loss and sediment transport in Mogi Guaçu River basin in Sao Paulo State, Brazil. *CATENA*. 2023. Vol. 222. 106872. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106872>
32. Wu X., Feng X., Wang Z., Chen Y., Deng Z. Multi-source precipitation products assessment on drought monitoring across global major river basins. *Atmospheric Research*. 2023. Vol. 295. 106982. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106982>
33. Chen Y., Marek G.W., Marek T.H., Moorhead J.E., Heflin K.R., Brauer D.K., Gowda P.H., Srinivasan R. Simulating the impacts of climate change on hydrology and crop production in the Northern High Plains of Texas using an improved SWAT model. *Agricultural Water Management*. 2019. Vol. 221. P. 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.021>
34. Pichura V., Domaratskiy Ye., Potravka L., Biloshkurenko O., Dobrovol'skiy A. Application of the Research on Spatio-Temporal Differentiation of a Vegetation Index in Evaluating Sunflower Hybrid Plasticity and Growth-Regulators in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24(6). P. 144–165. <https://doi.org/10.12911/22998993/162782>
35. Pichura V., Potravka L., Domaratskiy Ye., Petrovas S. Spatiotemporal patterns and vegetation forecasting of sunflower hybrids in soil and climatic conditions of the Ukrainian Steppe zone. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Vol. 27(3). P. 31–45. doi: 10.56407/bs.agrarian/3.2023.31.
36. Пічуря В.І. Басейнова організація природокористування на водозбірній території транскордонної річки Дніпро. *Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС»*, 2020. 380 с.
37. Strahler A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1952.
38. Приймаченко І.В. Екологічний моніторинг басейну річки Случ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агронімія*. 2013. Вип. 183(2). С. 241–248.
39. Biedunkova O.O. 2013. Ecological assessment of modern state of river Sluch surface water basin principle. *Вісник національного університету та природокористування*. 2013. Вип. 4 (64). С. 74–82. (in Ukrainian)
40. Biedunkova O.O., Statnyk I.I., Boiaryn M.V. 2023. Selection of indicators of surface water quality monitoring of Sluch river. *Water bioresources and aquaculture*. 2023. Vol. 1 (13). P. 109–123. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.9> (in Ukrainian)
41. Stadler S.J. Aridity indexes. In *Encyclopedia of World Climatology*. Oliver, J.E., Ed. *Springer: Heidelberg, Germany*. 2005. P. 89–94.
42. Sgroi F., Di Trapani A.M., Testa R., Tudisca S. Economic sustainability of early potato production in the Mediterranean area. *American Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 11. P. 1598–1603. DOI: 10.3844/ajassp.2014.1598.1603.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

UDC 631.95:574.34:632.981:633

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.27>

EXOMETALOBITE OF THE VARIETIES OF CULTURAL PLANTS IN ALLELOPATIC RELATIONSHIPS WITH MICROMYCETES OF *FUSARIUM* LINK GENUS

Beznosko I.¹, Mudrak O.², Havryliuk L.¹, Gorgan T.¹

¹Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS
Metrologichna str., 12, 03143, Kyiv

²Public Higher Educational Establishment “Vinnytsia Academy of Continuing Education”
Hrushevskogo str., 13, 21050, Vinnytsia
beznoskoirina@gmail.com, ov_mudrak@ukr.net

The analysis of the seed material of the studied crops showed certain contamination with pathogenic micromycetes, from which 150 isolates were specified. Among the identified micromycetes, the dominant species were: *Fusarium incarnatum*, *F. solani*, *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *F. proliferatum*, *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. langsethiae*. It was established that the highest occurrence frequency of more than 60% characterized by micromycetes of the species *F. oxysporum* in wheat and *F. proliferatum* in onions. It was shown that the properties of the root exometabolites of cultural plants of the tested varieties depend significantly on the genotype of the variety. Exometabolites of Mulan and Skagen winter wheat varieties are able to significantly suppress the mycelial growth of colonies and the intensity of sporulation, as well as the viability of spores of pathogenic strains of *F. oxysporum*, which was almost 2 times lower than the control. At the same time, the exometabolites of winter wheat plants of Podolyanka and Natalka varieties are able to influence the growth and development of colonies of the *F. oxysporum* fungus that developed at the control level to a lesser extent.

It was found out that at the initial stages of subcultivation, plant exudates of onion cultivars stimulated the growth of *F. proliferatum* mycelium, but already on the sixth day of subcultivation, inhibition of mycelium development and a decrease in the growth rate of the pathogen were observed. In turn, inhibition of sporulation was observed in all variants compared to the control samples. The exometabolites of the sprouts of the cultivars demonstrated 1.5–2 time reduction of the sporulation of the fungus. It should be noted that the exometabolites of hot onion varieties (like Tkachenkivska, Lyubchuk, Varyag, Globus) significantly reduced sporulation compared to semi-sweet onion varieties (Mavka, Amfora), with Veselka variety, which was on par with hot varieties, being an exception. This indicates that the root exometabolites of the cultural plants of the tested varieties are characterized by fungicidal and bactericidal properties, which are caused by a complex of biologically active substances, which are able to influence the development of pathogenic mycobiota in different ways. On the basis of the research, exometabolites of cultural plants can be considered one of the mechanisms of influence of the plant variety on the intensity of the fungal phytopathogenic background formation. *Key words*: micromycetes, onions, winter wheat, plant metabolites, agrophytocenoses, biosafety.

Екзометаболіти сортів культурних рослин в аделопатичних відносинах з мікроміцетами роду *Fusarium* Link Genus. Безноско І.В., Мудрак О.В., Гаврилюк Л.В., Горган Т.М.

Аналіз насіннєвого матеріалу досліджуваних культур показав контамінацію патогенними мікроміцетами із яких було виділено 150 фітопатогенних ізолятів. Серед яких були види: *F. incarnatum*, *F. solani*, *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *F. proliferatum*, *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. langsethiae*. Встановлено, що найвищою частотою трапляння (60%) характеризувалися мікроміцети видів *F. oxysporum* на пшениці та *F. proliferatum* – на цибулі ріпчастій. Показано, що властивості кореневих екзометаболітів культурних рослин випробовуваних сортів істотно залежить від генотипу сорту. Екзометаболіти пшениці озимої сортів Мулан та Скаген в значній мірі здатні пригнічувати міцеліальний ріст колоній та інтенсивність споруляції і життєздатність спор фітопатогенних штамів *F. oxysporum*, який майже в 2 рази був нижчим за контроль. Поряд з тим, екзометаболіти рослин пшениці озимої сортів Подолянка, Наталка здатні в меншій мірі впливати на ріст і розвиток колоній гриба *F. oxysporum*, що розвивався на рівні контролю. Виявлено, що на початкових етапах субкульттивування ексудати рослин сортозразків цибулі ріпчастої стимулювали ріст міцелію *F. proliferatum*, але вже на шосту добу субкульттивування спостерігали пригнічення розвитку міцелію та зниження швидкості росту патогену. В свою чергу у всіх варіантах спостерігали пригнічення споруляції у порівнянні з контролем. Екзометаболіти паростків сортів знизили споруляцію гриба в 1,5–2 рази. Слід зазначити, що екзометаболіти гострих сортів цибулі (Ткаченківська, Любчик, Варяг, Глобус) значно знижували споруляцію в порівнянні з напівсолодкими сортами (Мавка, Амфора) виняток становив сорт Веселка, що був на рівні з гострими сортами цибулі. Це свідчить про те, що кореневі екзометаболіти культурних рослин випробовуваних сортів характеризуються фунгіцидними та бактерицидними властивостями, що обумовлюються комплексом біологічно активних речовин, які здатні по-різному впливати на розвиток патогенної мікобіоти. На підставі досліджень, екзометаболіти культурних рослин можна вважати одним із механізмів впливу сорту рослин на інтенсивність формування грибного фітопатогенного фону. *Ключові слова*: мікроміцети, цибуля, озима пшениця, метаболіти рослин, агрофітоценози, біобезпека.

Formulation of the problem. In the conditions of anthropogenic load, the rate of spread of pathogenic microorganisms increases more and more intensively, their resistant forms with increased aggressiveness are formed, which causes a decrease in the biosafety of plant production [1, 2, 3].

Mycomycetes of the species including *F. graminearum*, *F. solani*, *F. oxysporum*, *F. proliferatum*, due to their inherent wide specialization, are able to infect various types of plants, such as peas, beans, cucumbers, onions, tomatoes, and all representatives of the cereal family [4, 5, 6]. However, one of the most common causative agents of fusarium wilt of cereal crops is *F. oxysporum* [7, 8] and recently the micromycete *F. proliferatum* dominates among onion [9, 10].

Analysis of recent research and publications. Contamination of food products with mycotoxins caused by the development of fusarium wilt of cultural plants is currently a serious problem all over the world [11, 12, 13]. From many angles, fusariosis is a unique plant disease, and this causes significant difficulties in researching it [14, 15]. A special etiology is one of these special features, which means the participation of the species *Fusarium* Link in various pathogenesis of the complex of representatives [16]. Infestation of plants by these micromycetes not only damages the crop to the point of loss, but also significantly reduces the sowing and nutritional quality of seed material, therefore it is considered one of the most dangerous diseases of agricultural crops [17, 18].

Formulation of research objectives. Therefore, the purpose of our study was to study the role of metabolites of different cultural plants of winter wheat and onion

crops in allelopathic relationships with micromycetes *F. oxysporum* and *F. proliferatum*.

Statement of the main material. The 150 isolates of pathogenic micromycetes of the genus *Fusarium* Link were isolated from the seeds of the investigated crops of various varieties, among which the typical dominant species were: *F. incarnatum*, *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *F. proliferatum*, *F. graminearum*, *F. verticillioides*, *F. langsethiae*. Due to the fact that the highest occurrence frequency of more than 60% was characterized by mycomycetes of the species *F. oxysporum* on wheat and *F. proliferatum* on onions, further studies looked closely at the influence of the exometabolites of cultural plants varieties on the cultural and morphological characteristics of these strains (Fig. 1).

The effect of exometabolites of the different varieties of cultural plants on the rate of radial growth of mycelium of the micromycete *F. oxysporum* was determined. It was established that the exometabolites of cultural plants of different varieties significantly affect the indicated indexes (Fig. 2).

The smallest diameter of the fungus *F. oxysporum* colonies was observed during subcultivation with exometabolites of winter wheat varieties Skagen, Mulan, which, on the eighth day, turned out to be 39–40 mm and was twice as low as the control one. At the same time, exometabolites of winter wheat varieties Natalka and Podolyanka stimulated the growth of the micromycete colony, the diameter of which was 65–75 mm, which is almost on a par with the control parameter which is 77 mm. This testifies to the different biochemical composition of the root secretions of the varieties and the significant influence on the physiological activity of the

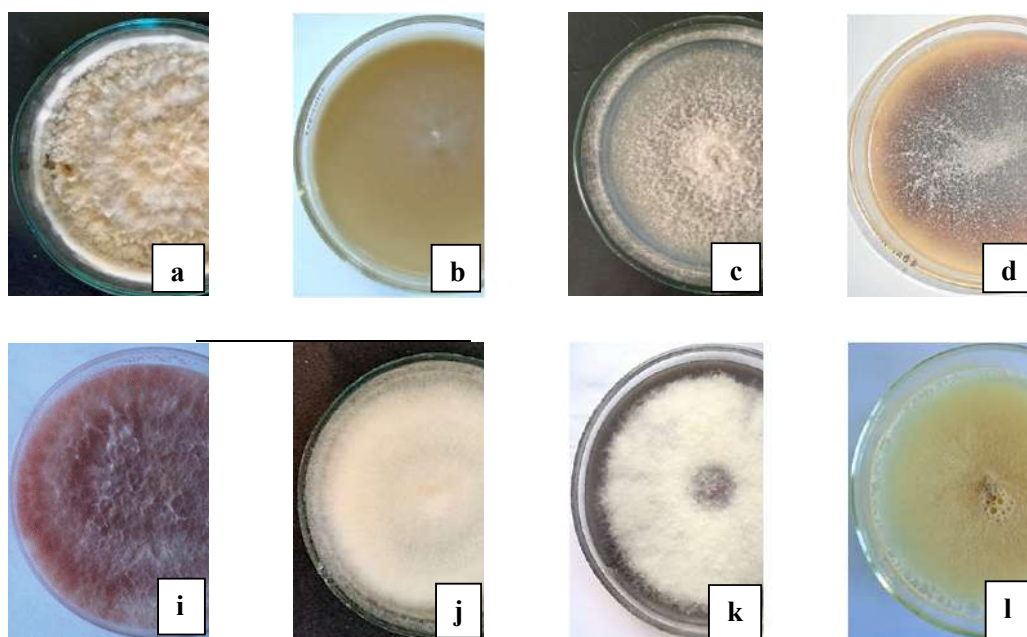


Fig. 1. The fungal colonies, isolates grown on potato dextrose agar (PDA) incubated at 25 °C. for 14 days:

a – *F. incarnatum*; b – *F. solani*; c – *F. oxysporum*; d – *F. proliferatum*;
i – *F. culmorum*; j – *F. graminearum*; k – *F. verticillioides*; l – *F. langsethiae*

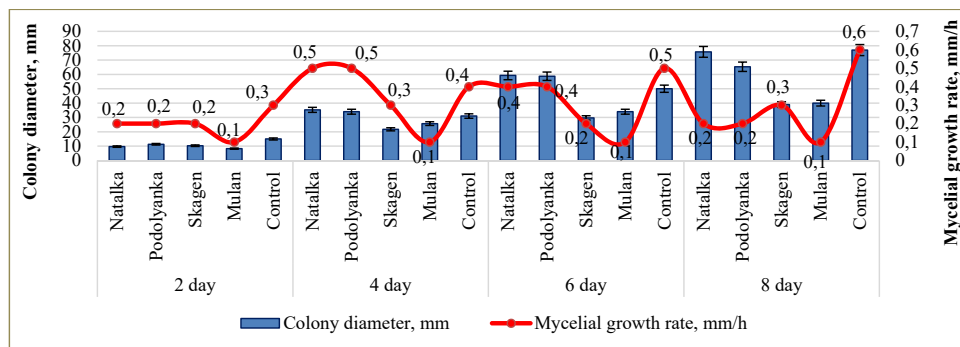


Fig. 2. The influence of metabolites of different varieties of cultural plants on the growth of the mycelium of the micromycete *F. oxysporum* (winter wheat)

F. oxysporum fungus. At the initial stages of subcultivation, the growth rate of the mycelium of the micromycete against the background of metabolites of winter wheat varieties was 0.1–0.2 mm/h (Fig. 2), while the growth rate of the mycelium in the control variant was almost twice as high which was 0.3 mm/hour. During the fourth and sixth days of subcultivation of the colonies of the fungus *F. oxysporum* with root exometabolites of winter wheat plants of the above varieties, an increase in the radial growth rate of mycelium by 0.3 mm/h was observed, and a decrease during the 8th day by 0.1–0.2 mm/hour. At the same time, on the control variant, the rate of mycelium growth increased linearly during each day and was 0.3–0.4–0.5–0.6 mm/h, respectively. (Fig. 2). The obtained results give a reason to believe that the antifungal properties of the root exometabolites of different varieties of winter wheat plants are able to restrain the growth and development of the mycelium of the fungus *F. oxysporum*.

The reproductive capacity of the micromycete *F. oxysporum* under the influence of exometabolites of different varieties of cultivated plants differed in different ways depending on the variety and its physiological and biochemical properties. Under the influence of the exometabolites of winter wheat varieties Skagen and Mulan, the intensity of sporulation ranged from 148.61 to 245.93 pcs. of spores, and the percentage of germinated spores was 35–40%.

At the same time, under the influence of exometabolites of winter wheat varieties Natalka and Podolyanka, the intensity of sporulation was in the range of 475,495–509,111 pcs. of spores, and the percentage of the germinated spores was 55–60%. (Fig. 3).

Whereas in the control version, these indicators were 1.5–2 times higher and amounted to 578,576 pcs, respectively (80% of germinated spores). This indicates that the antifungal property of root exometabolites varieties of cultural the tested varieties of winter wheat significantly depend on the genotype of the variety and can significantly influence reproductive development micromycete *F. oxysporum* (Fig. 3).

In the study of the effect of the plant metabolites on the micromycete *F. proliferatum*, hot and semi-hot onion varieties of domestic selection were used, such as: Tkachenkivska, Mavka, Veselka, Lyubchyk, Varyag, Globus, Amfora. Changes in the growth and development of the population of the micromycete *F. proliferatum* were observed under the influence of root exudates of different varieties the onion cells. In the course of the study, it was established that exometabolites of onion varieties stimulated the growth of the mycelium the fungus at the initial stages of subcultivation. The diameter of the colony the micromycete *F. proliferatum* on the third day of subcultivation with exudates the sprouts of onion varieties

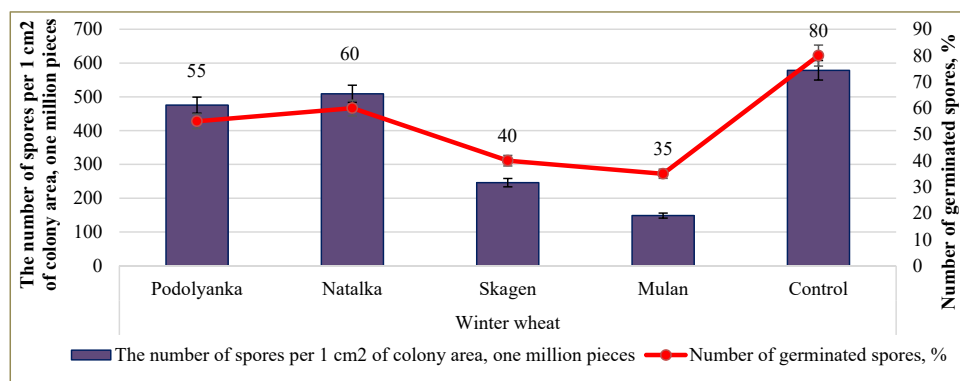


Fig. 3. The influence of metabolites of different varieties of cultural plants on the intensity of sporulation and the viability of spores of the micromycete *F. oxysporum* (winter wheat)

was in the range of 15.3–17.7 mm, while the size of the colony in the control variant was 15.0 mm (Fig 4).

On the sixth day, the diameter of the micromycete colony under the influence of the exudates of the sprouts of the variety samples ranged from 46.5 to 50.0 mm, while the size of the colony in the control sample was 48.0 mm. The speed of the radial growth of the mycelium gradually decreased under the influence of exometabolites of onion varieties: Tkachenkivska, Mavka, Lyubchyk, Varyag, Amfora: 0.4 mm/h. However, the influence of the exometabolites of Veselka and Globus varieties on the growth rate of the mycelium of the micromycete was at the control level: 0.5 mm/h. From the ninth day of subcultivation, a decrease in the rate of radial growth was observed in all samples within the range of 0.2–0.3 mm/h, except for the variant with exudates of the Veselka variety: 0.4 mm/h, which is at the control level. The diameter of the colonies in the variants ranged between 76.3–78.7 mm and 81.0 mm in the control variant.

On the twelfth day, the colony of *F. proliferatum* in the control sample reached the capacity of the medium and stopped its growth. Variants with sprout exudates reached the capacity of the medium on the fifteenth day. Therefore, the root metabolites of the sprouts of the studied onion varieties showed an inhibitory effect on the growth of *F. proliferatum* colonies.

Under the influence of metabolites of onion varieties on the micromycete *F. proliferatum*, it was established that all varieties suppress the reproductive capacity of the micromycete, up to 46.16–55.79 million pcs. per 1 cm² under the influence of metabolites of semi-acute (Mavka, Veselka, Amfora) varieties up to 28.33–59.26 million pcs. per 1 cm² and sharp (Tkachenkivska, Lyubchyk, Varyag, Globus) varieties compared to the control one reaching 77.86 million pcs. per 1 cm² (Fig. 5).

Metabolites of the varieties Tkachenkivska, Lyubchyk, Varyag and Globus significantly reduced the viability of micromycete spores, which was in the range of 20.5–51.1%, at the same time, under the influence of metabolites of the varieties Mavka, Veselka, Amphora, the micromycete had a viability of 42.6–61, 5% In the control version of the study of the micromycete *F. proliferatum*, high conidia viability of 84.1% was observed, which is 1.5–2 times higher than under the influence of exudates of onion varieties. It should be noted that the metabolites of the Globus variety significantly inhibited not only the intensity of sporulation of the micromycete *F. proliferatum*, but also the growth and development of mycelium. It can be assumed that onion metabolites will have a greater antifungal effect on micromycetes that do not parasitize this crop.

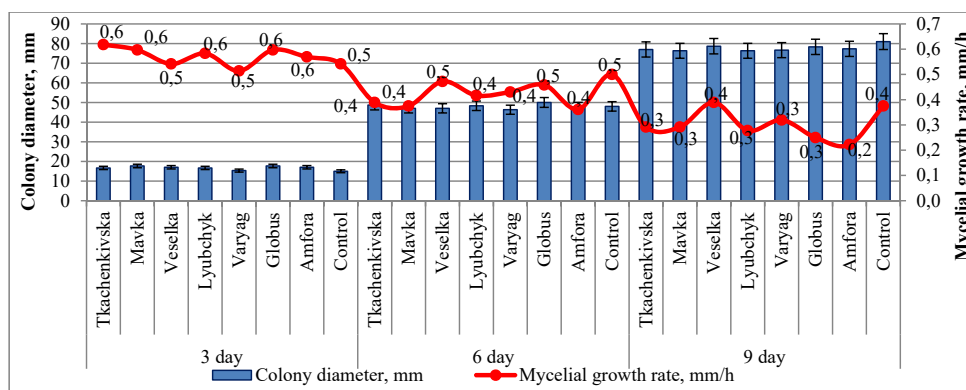


Fig. 4. The influence of metabolites of different varieties of onion on the growth of the mycelium of the micromycete *F. proliferatum*

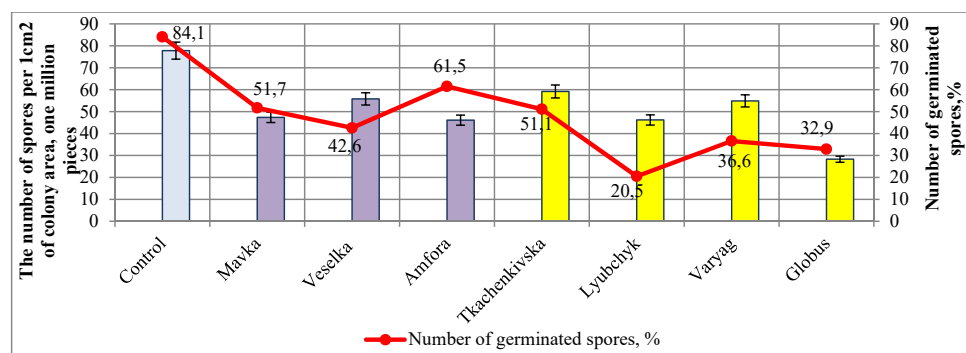


Fig. 5. The influence of metabolites of different varieties of onion on the intensity of sporulation and the viability of spores of the micromycete *F. proliferatum*

Therefore, the root exometabolites of cultivated plants of the tested varieties are characterized by suppressive properties caused by a complex of biologically active substances, which are able to influence the development of pathogenic mycobiota in different ways. The above research results suggest the use of water-soluble substances as an alternative to fungicides.

Conclusions. Therefore, the root exometabolites of cultivated plants of the studied varieties are

characterized by fungicidal and bactericidal properties, which are caused by a complex of biologically active substances capable of different effects on the development of pathogenic mycobiota. Based on the conducted studies, the exometabolites of cultivated plants can be considered one of the mechanisms of the influence of the plant variety on the intensity of the formation of the fungal phytopathogenic background.

References

- Cheng F., Cheng Z. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Front. Plant Sci.* 2015. 6. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>.
- Solecka J., Zajko J., Postek M., Rajnisz, A. Biologically active secondary metabolites from Actinomycetes. *Central European Journal of Biology.* 2012. 7. 373–390. DOI: <https://doi.org/10.2478/s11535-012-0036-1>.
- Vijayakumar R., Raja S.S. (Eds.). Secondary Metabolites – Sources and Applications. *IntechOpen.* 2018. 148. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.71955>.
- Dragomir L.B., Nicolae I. Researches regarding the physiology of lavender plants grown on soils with diferent pH values. *Annals of the University of Craiova – Agriculture, Montanology, Cadastre series.* 2015. 45(1). 45–50. URL: <file:///C:/Users/VS-2/Downloads/mariana,+214-832-1-CE.pdf>.
- Гаврилук Л.В., Косовська Н.А., Парфенюк А.І., Мостов'як І.І. Вплив екзометаболітів рослин різних сортів сої на швидкість радіального росту *Fusarium graminearum*. *Агроекологічний журнал.* 2019. 4. С. 55–59. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2019.189454>.
- García-Delgado C., Barba V., Marín-Benito J.M., Igual J.M., Sánchez-Martín M.J., Rodríguez-Cruz M.S. Simultaneous application of two herbicides and green compost in a field experiment: implications on soil microbial community. *Appl. Soil Ecol.* 2018. 127. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.03.004>.
- Shvartau, V.V. Myhalska, L.M. Zozulya, O.L. Spread of Fusarium in Ukraine. *Agronomist.* 2017. 4. 40–43.
- Швартау В.В., Зозуля О.Л., Михальська Л.М., Санін О.Ю. Фузаріози культурних рослин. Монографія // В.В. Швартау, О.Л. Зозуля, Л.М. Михальська, О.Ю. Санін. К.: Логос, 2016 с.
- Kintega K.R., Zida P.E., Tarpaga V.W., Sankara P. Sereme P. Identification of Fusarium Species Associated with Onion (*Allium cepa* L.) Plants in Field in Burkina Faso. *Advances in Bioscience and Biotechnology.* 2020. 11. 94–110. DOI: <https://doi.org/10.4236/abb.2020.113008>.
- Chretien P.L., Laurent S., Bornard I., Troulet C., El Maâtaoui M., Leyronas C. Unraveling the infection process of garlic by Fusarium proliferatum, the causal agent of rootrot. *Phytopathologia Mediterranea, Firenze University Press.* 2020. 59. 285–293. DOI: <https://doi.org/10.14601/Phyto-11103>.
- Li-Jun Ma., David M., Geiser R.H., Proctor A.,P., Rooney K., Frances T., Donald M., Gardiner J.M., Manners Kemal K. Fusarium Pathogenomics. *Annual Review of Microbiology.* 2013. 67. 399–416. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>.
- Eskola M., Kos G., Elliott C.T., Hajšlová J., Mayar S., Krska R. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate of 25. *Critical reviews in food science and nutrition.* 2020. 60(16), 2773–2789. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>.
- Perincherry L., Lalak-Kańczugowska J., Stepień Ł. Fusarium-produced mycotoxins in plant-pathogen interactions. *Toxins.* 2019. 11(11). 664. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11110664>
- Beznosko I.V., Gorgan T.M. The effect of exometabolites of cultivated plants on the germination of conidia of the genus mycomycetes Fusarium Link *Ideas and innovations in natural sciences International scientific and practical conference (Lublin, the Republic of Poland, (March 12-13, 2021).* Lublin, 45–49. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-047-6-11>.
- Babadoost M. Fusarium: Historical and Continued Importance, Fusarium – Plant Diseases, Pathogen Diversity, Genetic Diversity, Resistance and Molecular Markers. *Intech Open.* 2018. 13–22. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.74147>.
- Broeckling C.D., Broz A.K., Bergelson J., Manter D.K., Vivanco J.M. Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity. *Applied and environmental microbiology.* 2008. 74(3). 738–744. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.02188-07>.
- Camps S.M.T., Linden J.W.M., Li Y., Kuijper E.J., Dissel J.T., Verweij P.E., Melchers W.J.G. Rapid induction of multiple resistance mechanisms in *Aspergillus fumigatus* during azole therapy: a case study and review of the literature. *Antimicrob. Agents Chemother.* 2012. 56, 10–16. DOI: <https://doi.org/10.1128/AAC.05088-11>.
- Detmann K.C., Delgado M.N., Rebello V.A., Leite T.D., Azevedo A.A., Kasuya M.M., Almeida A.V. Comparação de métodos para a observação de fungos micorrízicos arbusculares e endofíticos do tipo dark septate em espécies nativas de Cerrado. *Rev Bras Ciênc Solo.* 2008. 32. 1883–1890. URL: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/PPXBzjXsP8FQFT74dZvDgxD/?lang=pt>.

ЕКОЛОГІЯ ПРИДОРОЖНІХ ЛІСОСМУГ КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Гетьман П.А., Фіцайло Т.В.

Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного Національної академії наук України
вул. Терещенківська, 2, 01601, м. Київ
poli-getman@ukr.net, tfitsailo@gmail.com

Захисні лісові лінійні насадження вздовж автомобільних шляхів є важливою складовою в організації напрямів автомобільного руху. Вони виконують екологічні та санітарно-технологічні функції. Також захищають від шуму, зменшують забруднення повітря вихлопними газами та виконують універсальні для всіх захисних лісових смуг функції – снігозахисні, вітрозахисні, покращення мікроклімату. Захисна лісистість Кіровоградщини становить 1,9%, що не відповідає нормам, захисні лісосмуги області потребують не лише санітарного догляду, а й відновлення та створення нових. Захисні лісові смуги вздовж автомобільних доріг Кіровоградської області мають продувну (у верхній частині просвіти 10%, в нижній – 60%), щільну (майже без просвітів – до 10%) та ажурну (рівномірні просвіти у верхній та нижній частинах – від 15% до 35%) конструкції, утворені за рахунок будови повздовжнього вертикального профілю деревостану в листяному стані, що впливає на аеродинамічні властивості придорожньої захисної лісової смуги. Отримані оригінальні результати кількісної синфітоіндикаційної оцінки амплітуди екологічних показників придорожніх захисних лісосмуг є основою для прогнозування змін та впливу різних факторів навколишнього середовища, що має важливе значення для розуміння, моделювання та створення майбутніх захисних лісових смуг. Факторами, які найбільш впливають на функціонування придорожніх лісових смуг є вміст мінерального азоту в ґрунті, вологість, аерація ґрунту, кріорежим та гумідність клімату. Трохи менший вплив мають вміст карбонатів в ґрунті та терморегим. Загалом, придорожнім захисним лісовим смугам уздовж автомобільних шляхів Кіровоградщини характерні мезофітні умови місцезростань; свіжі лісо-лучні помірноаеровані екотопи, відносно збагачені азотом ґрунтами; із незначним вмістом карбонатів у ґрунті; бідні на солі сильно вилуговані та слабокислі ґрунти. Результати аналізу місцезростань придорожніх захисних лісових смуг дають можливість детальніше розглянути питання екологічних особливостей формування біотопів та уточнити їх екологічну лабільність. *Ключові слова:* придорожні захисні лісосмуги, фітоіндикація, Кіровоградська область.

Ecology of roadside protective shelterbelts of Kirovohrad region. Hetman P., Fitsailo T.

Protective forest linear plantations along highways are an important component in the organization of traffic directions. Perform ecological and sanitary-technological functions. As well protection against noise, reduce air pollution by exhaust gases, and also perform universal functions for all protective plantings – snow protection, wind protection, improvement of the microclimate. The protective forest cover of Kirovohrad region is 1.9%, which does not meet the standards, the protective forest shelterbelts of the region need not only sanitary care, but restoration and creation of new ones. Protective forest shelterbelts along the highways of the Kirovohrad region have airy (10% clearance in the upper part, 60% – in the lower part), dense (almost no clearances – up to 10%) and openwork (uniform clearances in the upper and lower parts – from 15% to 35%) structures. They formed due to the structure of the longitudinal vertical profile of the tree stand in the deciduous state, which affects the aerodynamic properties of the protective forest shelterbelt. The obtained original results of the quantitative synphytoindicative assessment of the amplitude of roadside protective shelterbelts are the basis for predicting changes and the influence of various environmental factors, which is important for understanding, modeling and creating future protective forest shelterbelts. The factors that most influence the formation of roadside protective shelterbelts are the content of mineral nitrogen in the soil, humidity, soil aeration, cryo-regime and humidity of the climate. The content of carbonates in the soil and the temperature regime have a slightly smaller effect. In general, roadside protective forest shelterbelts of Kirovohrad region are characterized by mesophytic growth conditions; fresh forest-meadow moderately aerated ecotopes, relatively enriched with nitrogen soils; with an insignificant content of carbonates in the soil; salt-poor, strongly leached and weakly acidic soils. The results of the analysis of the habitats of roadside protective shelterbelts provide an opportunity to consider in more detail the ecological features of the formation of biotopes and clarify their ecological lability. *Key words:* roadside protective shelterbelts, phytoindication, Kirovohrad region.

Постановка проблеми. Найпоширенішими насадженнями, розташованими вздовж автомобільних доріг, є природні ліси та лісові насадження лінійного типу. Захисні лісосмуги вздовж автомобільних шляхів є важливою складовою в організації напрямів автомобільного руху. Виконують екологічні та санітарно-технологічні функції. Захист від шуму, зменшують забруднення повітря вихлопними газами, а також виконують універсальні для всіх захисних лінійних насаджень функції – снігозахисні, вітрозахисні, покращення мікроклімату [1].

Актуальність дослідження. Стан захисних лінійних насаджень за останні роки погіршується на тлі глобальних змін клімату [2], а саме збільшення повторюваності та тривалості посух. Крім того, відбувається деградація ландшафтів лісостепового біоценозу, що призводить до загибелі лісових насаджень на значній території [2]. Також, погіршення ситуації в значній мірі призвела воєнна агресія Російської Федерації проти України. Основними показниками незадовільного стану захисних лісових смуг є недосконалість конструкції унаслідок утворення густих непродувних

узлісь, незадовільний санітарний стан та спонтанна вирубка, пожежі і засмічення захисних лісосмуг. Тому дослідження екологічних особливостей біотопів придорожніх лісосмуг є важливою складовою при подальшому формуванню та створенню захисних лісосмуг.

Мета роботи – дослідити екологічні особливості захисних лісосмуг вздовж автомобільних доріг Кіровоградської області.

Матеріали і методи роботи. Польові дослідження проводили в період з 2021 по 2023 рік маршрутним методом з використанням еколого-флористичних критеріїв опису рослинних угруповань. Досліджено 16 придорожніх лісосмуг (автомобільних шляхів) загальною площею 697,45 км², зроблено 160 геоботанічних описів в лісостеповій та степовій частині Кіровоградської області. Ділянки для геоботанічних описів не мали стандартного розміру, а залежали від цілості і сформованості ценозів. Під час опису вказували місцезнаходження лісосмуги та координати за допомогою GoogleMaps (<https://www.google.com/maps>), ширину та довжину лісосмуги, кількість рядів, визначали тип, конструкцію (щільна, продувна, ажурна), для визначення розташування лісосмуг в просторі використовували компас, довжину міжрядь та відстань між головним породами вимірювали рулеткою, вказували висоту дерев, діаметр стовбура, зімкнення крон, ярусність, проективне покриття чагарникового та трав'яного ярусу, наявність молодого підросту та повний флористичний склад лісосмуг. Еколого-ценотичне профілювання лісосмуг та їх закраїн проводилося методом трансектів. Цей метод був адаптований до об'єкту дослідження, тому трансекти визначалися поперековим зрізом – “закраїна-лісосмуга-закраїна”. Екологічна характеристика надана за результатами обробки геоботанічних описів методом синфітоіндикації вологість ґрунту (*Hd*), змінність зволоження ґрунту (*fH*), аерація ґрунту (*Ae*), загальний сольовий режим ґрунту (трофність) (*Sl*), кислотність (*Rc*) ґрунту, вміст мінерального азоту (*Nt*) та вміст карбонатів (*Ca*) в ґрунті, термічний режим (*Tm*), континентальність (*Kn*), вологість (гумідність) клімату (*Om*), морозність (кріорежим) (*Cr*) мікроклімату, освітленість (*Lc*) [3, 4]. Для з'ясування екологічних амплітуд придорожніх лісосмуг за відношенням до провідних факторів середовища застосовано базовий статистичний аналіз у програмі STATISTICA 8.0. Для порівняння екологічної амплітуди та з'ясування провідних екологічних факторів диференціації ми використали метод зміщеного аналізу співвідношень (DCA) у програмі PAST. Види рослин подано за визначником рослин [5].

Виклад основного матеріалу. Досліджені придорожні лісосмуги Кіровоградської області мають різну конструкцію за рахунок будови повздовжнього вертикального профілю деревостану в листяному стані, що впливає на аеродинамічні властивості лісової смуги [6, 7].

Лісосмуги з ажурною конструкцією представляють собою насадження з дрібними наскрізними прорізами (з рівномірно розташованими просвітами від 15% до 35% загальної площі за всім повздовжнім вертикальним профілем), рівномірно розподіленими по висоті. Їх вітропроникність сягає 40–50%. Кількість рядів 2–4. У цьому випадку повітряний потік майже весь проходить крізь насадження, не змінюючи загального напрямку. Найменша швидкість вітру спостерігається з підвітряного боку на відстані від узлісся, яка дорівнює 3–5-кратній висоті смуги; в міру віддалення від узлісся, швидкість вітру збільшується. Деревний ярус (з зімкнутістю крон 0,2–0,5) сформований *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Robinia pseudoacacia*. У чагарниковому ярусі переважають *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*, *Cotinus coggygria* Scop.. Трав'яний покрив нещільний, утворений комплексом рудеральних та сегетальних видів з незначною домішкою лучних видів, проективне покриття 20–30% *Consolida regalis* S. F. Gray, *Chaerophyllum temulum* L., *Hyoscyamus niger* L., *Chelidonium majus*, *Galium aparine*, *Urtica dioica*, *Agrimonia eupatoria* L. (рис. 1А).

Продувні лісосмуги – одноярусні насадження (із просвітами в нижній та верхній частині повздовжнього вертикального профілю понад 60% і до 10% площі відповідно), що діють за принципом аеродинамічних дифузерів: повітряний потік поділяється на дві частини (перша – проходить між голими стовбурами дерев, а друга – огинає крони зверху), в результаті чого мінімальна швидкість вітру спостерігається на відстані від смуги, рівному 5–7-кратній висоті насадження і поступово наростає. Хороший ефект смуги такої конструкції дають при висоті просвітів між стовбурами від 2,5 до 3,5 м при висоті смуг 15–18 м. У деревному ярусі (зімкнутість 0,6–0,7) типовими є *Tilia cordata* L., *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*. Чагарниковий ярус не сформований, іноді поодинокі зустрічаються *Sambucus nigra* та *Rosa canina* L.

Трав'яний ярус формують бур'янисті нітрофіли з домішкою лучних видів (40%) *Ballota nigra*, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Lamium amplexicaule* L., *Galium aparine*, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Dactylis glomerata* L., *Achillea millefolium* L. (рис. 1Б).

Лісосмуги зі щільною конструкцією мають густе, щільне зверху до низу триярусне насадження (майже без просвітів – до 10% загальною площею на всьому повздовжньому вертикальному профілю), крізь яке майже не проходить вітер, а перевалюється через нього [7, 8]. Вони діють за принципом стіни. При смугах такої конструкції повністю затінений підвітряний бік галявини і зростає швидкість вітру по мірі віддалення від підвітряного узлісся лісосмуги. Деревний ярус формують *Acer platanoides* L., *Quercus robur* L., *Fraxinus excelsior* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Acer negundo* L., з зімкнутістю крон 0,8–0,9. У чагарниковому ярусі присутні *Crataegus*

monogyne Jacq., *Lonicera tatarica* L., *Euonymus europaeus* L., *Prunus spinosa* L., *Sambucus nigra* Marshall, *Rhamnus cathartica* L. утворюючи густі зарості. Проективне покриття трав'яного ярусу – 20%, характерними видами уруповань є *Ballota nigra* L., *Galium aparine* L., *Urtica dioica* Vell., *Chelidonium majus* Lour., *Geum urbanum* L. (рис. 1В).

На основі синфітоіндикації та методу зміщеного аналізу співвідношень ми визначили, що диференціюючими факторами для придорожніх лісосму є вміст мінерального азоту в ґрунті, вологість, аерація ґрунту, кріорежим та гумідність клімату (рис. 2).

Для кожного типу досліджуваних захисних лісосмуг розраховані мінімальні, максимальні та середні значення. Це дало можливість визначити амплітуди показників екологічних факторів та специфіку місцезростань придорожніх лісосмуг (рис. 3).

Найбільша варіабельність серед едафічних факторів належить вмісту мінерального азоту, аерації ґрунту та вмісту карбонатів в ґрунті, серед кліматичних гумідність клімату, кріо- та термічний режим.

За зволоженістю ґрунту придорожнім лісосмугам характерні мезофітні умови місцезростань (свіжі лісо-лучні екотопи з повним промочуванням кореневмісного шару ґрунту). Змінність зволоження для досліджуваних лісосмуг характеризується гемігідроконтрастозофільними умовами (сухуваті лісо-лучні і лучностепові екотопи з нерівномірним зволоженням кореневмісного шару ґрунту).

Для лісосмуг зі щільною конструкцією простежується незначне зміщення показників до гемігідроконтрастозофобних умов (свіжі лісо-лучні екотопи з помірним нерівномірним зволоженням кореневмісного шару ґрунту). За відношенням до аерації місцезростань придорожніх лісосмуг належать до геміаерозофобних умов (помірноаеровані ґрунти з повним промочуванням кореневмісного шару ґрунту).

За вмістом мінерального азоту в ґрунті досліджувані місцезростання мають нітрофільні (відносно збагачені азотом ґрунти 0,3–0,4%). За кислотністю ґрунту щільні та продувні лісосмуги характеризуються субацидофільними умовами (слабокислі ґрунти з рН 5,5–6,5), а лісосмуги з ажурною конструкцією нейтрофільними умовами (рН 6,5–7,1).

Показники насичення ґрунту карбонатами відповідають акарбонатофільним умовам (нейтральні екотопи, із незначним вмістом карбонатів у ґрунті). За загальним сольовим режимом місцезростання досліджуваних лісосмуг притаманні семіевтрофні умови (бідні на солі сильно вилугзовані (75–100 мг/л) ґрунти).

За термічним режимом лісосмуги характеризуються неморальним типом терморезиму (45–49 ккал·см²·рік⁻¹). Морозність клімату (кріорежим) досліджуваних місцезростань визначається як субкріофітні умови (морозність зим з -14 -10 °С) для щільних і продувних лісосмуг, та гемікріофітні умови (-6 -2 °С) для лісосмуг з ажурною структурою.

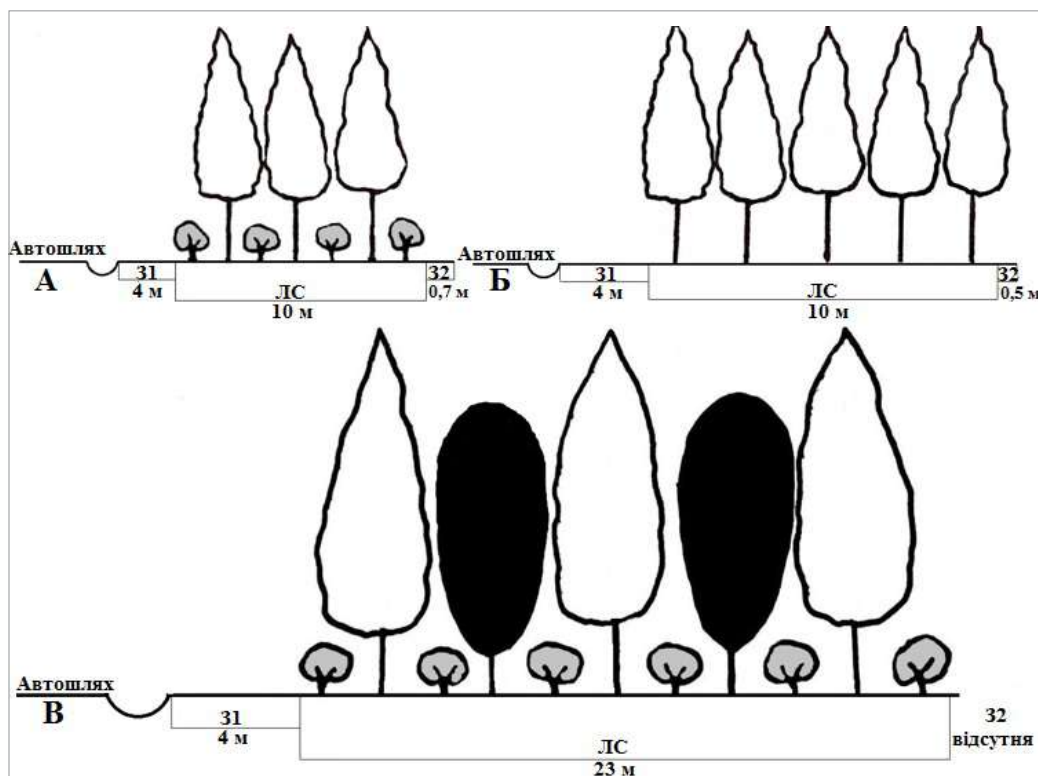


Рис. 1. Схеми конструкційних особливостей придорожніх захисних лісосмуг Кіровоградської області. Умовні позначення: А – лісосмуги з ажурною конструкцією; Б – лісосмуги з продувною конструкцією; В – лісосмуги зі щільною конструкцією; 31 – перший закрайок; 32 – другий закрайок; ЛС – лісосмуга

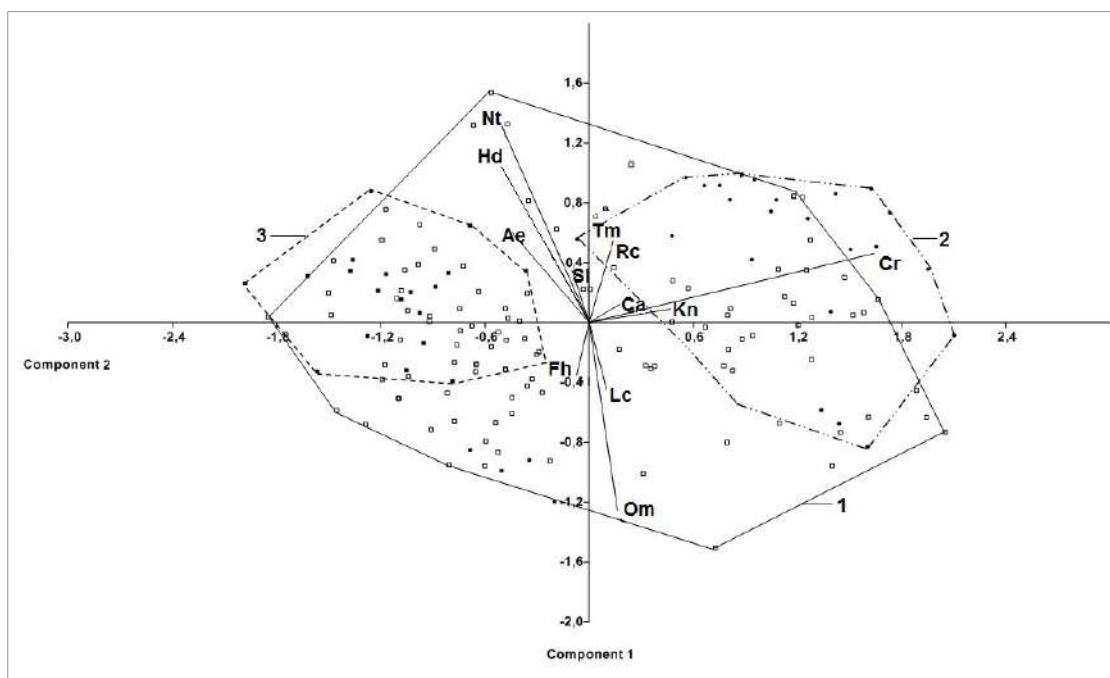


Рис. 2. Ординаційна діаграма методу зміщеного аналізу співвідношень (DCA) для придорожніх лісосмуг Кіровоградської області. Умовні позначення: 1 – щільні лісосмуги; 2 – продуктивні лісосмуги; 3 – ажурні лісосмуги; Hd – вологість ґрунту; Fh – змінність зволоження ґрунту; Ae – аерація ґрунту; SI – загальний сольовий режим ґрунту (трофність), Rc – кислотність ґрунту; Nt – вміст мінерального азоту та вміст карбонатів (Ca) у ґрунті; Tm – термічний режим; Kn – континентальність; Cr – морозність (кріорежим), Om – вологість (гумідність) клімату; Lc – освітленість

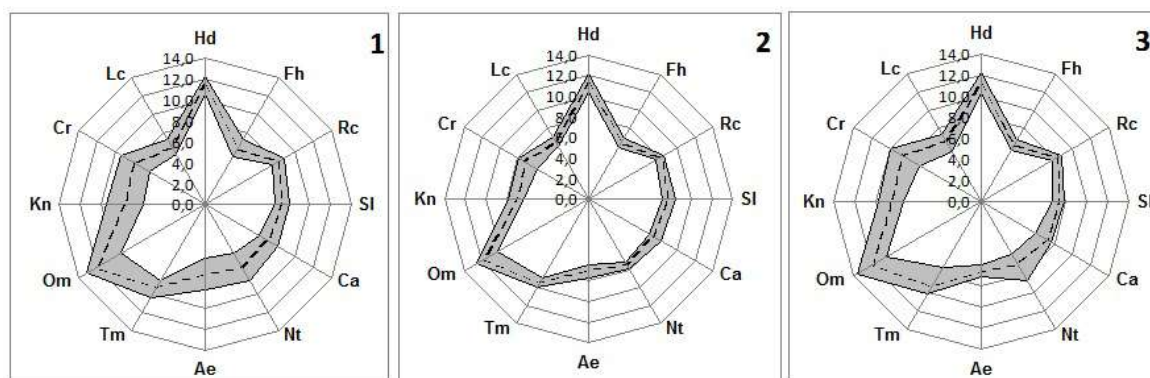


Рис. 3. Амплітуди екологічних показників придорожніх лісосмуг Кіровоградської області. Умовні позначення: 1 – щільні лісосмуги; 2 – продуктивні лісосмуги; 3 – ажурні лісосмуги; ■ – амплітуда (мінімум-максимум); - - - - - середнє значення. Позначення екологічних факторів таке саме, як і на рис. 2

Діапазон гумідності клімату коливається в межах від – 600 мм до 400 мм (субаридофітні умови). По відношенню до континентальності придорожні лісосмуги займають ділянки з геміокеанічними умовами та геміконтинентальними умовами (ажурні). За показниками освітленості екотопів придорожні лісосмуги мають ділянки від напівтіньових до напівосвітлених ділянок.

Головні висновки. Захисні лісові лінійні насадження є важливою складовою лісоаграрних ландшафтів, одним із ефективних, довгострокових і недорогих заходів боротьби з вітровою та водною ерозіями ґрунтів. Так як захисна лісистість Кіровоградщини

становить 1,9% [9], що не відповідає нормам, захисні лісосмуги області потребують не лише санітарного догляду, а відновлення та створення нових. Результати аналізу місцезростань придорожніх лісосмуг дають можливість детальніше розглянути питання екологічних особливостей формування біотопів та уточнити межі їх екологічної лабільності.

Фітоіндикаційний аналіз дозволив нам визначити, що вужчу (стенотопну) амплітуду майже за всіма факторами мають придорожні лісосмуги з продуктивною структурою. Вони мають низький ступінь пристосованості до змін факторів середовища і при

зміні екологічних умов можуть деградувати. Ширшу (гемістенотопну) амплітуду за більшістю показників екологічних факторів – лісосмуги з щільною структурою, є досить поширеними і відомі зі значної кількості місцезнаходжень з неоднорідністю умов, в яких вони формуються. Лісосмуги з ажурною структурою за різними показниками мають як стенотопну так і гемістенотопну амплітуди.

Факторами, які найбільш впливають на формування придорожніх лісосму є вміст мінерального азоту в ґрунті, вологість, аерація ґрунту, кріорежим та гумідність клімату. Трохи менший вплив мають вміст карбонатів в ґрунті та терморежим.

Загалом, придорожнім лісосмугам характерні мезофітні умови місцезростань; свіжі лісо-лучні

екотопи з помірноаерованими, відносно збагаченими азотом ґрунтами; із незначним вмістом карбонатів у ґрунті; бідні на солі сильно вилуговані (75–100 мг/л) та слабокислі ґрунти (рН 5,5–6,5). Екотопи лісосмуг відповідають неморальному типу з гемікріофітними та субаридофітними умовами клімату.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані оригінальні результати кількісної синфітоіндикаційної оцінки амплітуди екологічних показників придорожніх лісосму є основою для прогнозування змін та впливу різних факторів навколишнього середовища, що має важливе значення для розуміння, моделювання та створення майбутніх захисних лісосмуг.

Література

1. Пісоцька В.В., Ярось О.О. Аналіз видового складу та чисельності орнітофауни лісосмуг вздовж автошляхів Харківської області. *Colloquium-journal* 2021. 18(105) С. 3–9.
2. Дідух Я.П. Рослинний світ України в аспекті кліматичних змін. Київ: Наукова думка, 2022. 250 с.
3. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ: Інститут ботаніки НАН України, 1994. 280 с.
4. Didukh Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. К.: Phytosociocentre, 2011. 176 p.
5. Определитель высших растений Украины. Київ: Наукова думка, 1987. 548 с.
6. Гетьман П.А. Придорожні лісосмуги Кіровоградської області. Актуальні проблеми ботаніки та екології: матеріали міжнародної конференції молодих учених, Івано-Франківськ, 27–30 вересня, 2023. 38 с.
7. Агролісомеліорація /за ред. В.Ю. Юхновського. Київ: Кондор, 2012. 372 с.
8. Гладун Г.Б., Трофименко М.С., Лохматов М.А. Захисні лісові насадження: проектування, вирощування, впорядкування. Харків: Новеслово, 2005. 390 с.
9. Висоцька Н. Ю., Тарнопільський П. Б., Сидоренко С. В., Соломаха Н. Г., Короткова Т. М., Фомін В. І., Зубов О. Р., Зубова Л. Г., Єлісавенко Ю. А., Юрченко В. А. Оцінка сучасного стану захисних лісових смуг різного цільового призначення та об'єктів лісової рекультивациі. Харків, 2019. 21 с.

УДК 582.091:595.7:574

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.29>

ВПЛИВ ЖУКІВ ВИДУ *CERAMBYX CERDO* НА СТАН ЗБЕРЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ М. ЗНАМ'ЯНКА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Гулай В.В.

Центральноукраїнський національний технічний університет
пр. Університетський, 8, 25006, м. Кропивницький
vit.gulay@gmail.com

За результатами власних досліджень, архівних документів та опрацьованих інформаційних джерел виявлено нове місце існування рідкісного виду комах вусача великого дубового (*Cerambyx cerdo* L.), також встановлено вплив цих жуків на стан старовікових дерев дуба звичайного (*Quercus robur* L.), які є об'єктами охорони в двох ботанічних пам'ятках природи місцевого значення «Дуби-велетні» у м. Знам'янка Кіровоградської області.

З моменту створення у 1971 р. до 2023 р. в межах обох територій природно-заповідного фонду втрачено 55% об'єктів збереження, а саме дубів віком понад 100 років. В період обстеження виявлено сухостійні та пошкоджені дерева, що потребують видалення, капітального чи поточного ремонту. Причинами незадовільного стану дубів є різноманітні фактори, такі як центральна стовбурова гниль, гриби-трутовики, комахи – ксилофаги тощо. Характерні для личинок вказаного виду жуків пошкодження стовбура та гілок виявлено на всіх старовікових деревах. Тому саме їх діяльність вважаємо однією з вагомих причин незадовільного стану дубів. Проведення заходів збереження дерев шляхом знищення жуків-ксилофагів використовуючи інсектициди чи інші засоби неможливе, оскільки *C. cerdo* занесений в Червону книгу України зі статусом вразливий та Європейського червоного списку. Вказано досвід науковців країн Європи щодо подолання подібних проблем та можливі шляхи вирішення ситуації, яка виникла у зазначених об'єктах природно-заповідного фонду України.

Ситуація, що склалась в межах ботанічних пам'яток природи місцевого значення «Дуби-велетні» в м. Знам'янка потребує негайного втручання, оскільки бездіяльність призведе до поступової загибелі дерев дуба звичайного – основних об'єктів збереження цих природно-заповідних територій, і відповідно, до втрати середовища існування рідкісного виду комах – *C. cerdo*.
Ключові слова: Вусач великий дубовий, природно-заповідний фонд, Червона книга України, дуб звичайний.

The influence of beetles of the species *Cerambyx cerdo* on the state of preservation of the objects of the nature reserve fund of the city of Znamyanka, Kirovohrad region. Hulai V.

A new habitat of a rare insect species, the great capricorn beetle (*Cerambyx cerdo* L.) was discovered in Ukraine. The influence of these beetles on the condition of old oak trees (*Quercus robur* L.) was established on the results of own research, archival documents and processed information sources. These trees are objects of protection in two botanical monuments of nature of local importance "Giant Oaks" in the town of Znamyanka, Kirovohrad region.

55% of conservation objects (trees) have been lost within both territories of the nature reserve fund from the moment of their creation in 1971 to 2023. During the inspection period, dead and damaged trees were found that needed to be removed, capital or current repairs. The reasons for the unsatisfactory state of oaks are various factors, such as central trunk rot, tinder fungi, xylophagous insects, etc. All old trees had damages of the trunk and branches which were typical of the larvae of the specified species of beetles. Therefore, we consider their activity to be one of the important reasons for the unsatisfactory state of the oaks. It is impossible to carry out measures to preserve trees by destroying xylophagous beetles using insecticides or other means, since *C. cerdo* is listed in the Red Book of Ukraine with the status of vulnerable and the European Red List. The experience of scientists from European countries in overcoming similar problems and possible ways of solving the situation that arose in the specified objects of the nature reserve fund of Ukraine were indicated.

The situation that has developed within the botanical monuments of nature of local importance "Giant Oaks" in the town of Znamyanka requires immediate intervention. Since inaction will lead to the gradual death of oak trees – the main objects of preservation of these nature-reserved territories, and accordingly, to the loss of the habitat of a rare species of insect – *C. cerdo*.
Key words: the great capricorn beetle, nature reserve fund, Red Book of Ukraine, pedunculate oak.

Постановка проблеми. У сучасному стані природно-заповідний фонд (ПЗФ) Кіровоградської області налічує 241 об'єкт та територію загальною площею 101841,917 га, з них 26, площею 5909,8 га, мають статус загальнодержавного значення, решта 215, площею 95932,117 га – місцевого значення. Показник заповідності від загальної площі області становить 4,1%. Щороку ведуться роботи по виявленню нових природно цінних територій з метою їх подальшого заповідання. Разом з тим існуючі об'єкти природно-заповідного фонду також потре-

бують повторних обстежень з метою встановлення їх стану збереженості та природоохоронної цінності. У межах м. Знам'янка Кропивницького району Кіровоградської області знаходиться 2 об'єкти ПЗФ, що мають статус ботанічної пам'ятки природи місцевого значення з однаковою назвою «Дуби-велетні». Створені вони рішенням виконкому Кіровоградської обласної ради № 223 від 9 червня 1971 року з метою збереження дерев дуба звичайного (*Quercus robur* Linnaeus, 1753). Розташовуються ці заповідні території у місті поряд, але одна знаходиться на тери-

торії комунального некомерційного підприємства «Знам'янська міська лікарня ім. А.В. Лисенка» і має площу 3,2 га, інша, площею 6,6 га – зазначається за інформацією місцевої міськради, як зелена зона по вул. Михайла Грушевського. Історія походження та тривалість існування для цих ділянок однакова, оскільки первісно вони були частиною Чорноліського лісового масиву.

Актуальність дослідження. На момент створення у 1971 р. на території ботанічних пам'яток природи «Дуби-велетні» площею 6,6 га росло 64 дерева д. звичайного серед яких було 7 шт. з віком понад 300 років та 57 шт. з віком до 300 років, а на території площею 3,2 га – 27 дерев (17 шт. віком понад 300 років та 10 віком до 300 років). За період свого існування ці заповідні території поступово втрачали об'єкти збереження, що підтверджується архівними документами. Однією з вагомих причин незадовільного стану дерев є діяльність жуків-ксилофагів, а в найбільшій мірі вусача дубового великого (*Cerambyx cerdo* Linnaeus, 1758). Личинки цього виду жуків прокладають під корою довгі звивисті ходи, що з часом призводить до відмирання частини крони та відшарування кори на стовбурах заселених ними дерев.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 5 серпня 2020 р. № 695 «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки» в нашій державі заплановано у період до 2030 р. збільшення територій та об'єктів природно-заповідного фонду, що становитиме 15% від території держави. Разом з тим збереження уже існуючих природоохоронних територій та об'єктів має не менш важливе значення, оскільки з моменту створення, на деяких з них, спеціальних моніторингових досліджень їх стану не ведеться. З плином часу такі території можуть втрачати свою природоохоронну цінність під дією природних чи антропогенних чинників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Публікації щодо дослідження впливу на стан деревних насаджень личинок *C. cerdo* в межах природо-заповідних територій в Україні відсутні, але у країнах Європи цією проблемою займалися науковці Іспанії, Італії, Чехії, Польщі тощо [7–10]. Осередки існування жуків *C. cerdo* на території України вказуються для Закарпатської, Львівської, Черкаської, Кіровоградської областей, АР Крим [3–6]. Разом з тим в Кіровоградській області з опублікованих даних відомо, що були виявлені окремі екземпляри в ландшафтному заказнику «Чорноліський» ще у 1953 році, а також поряд с. Чутівка, що знаходилося неподалік вказаного заказника, у 2003 р. [5]. З інформаційних інтернет джерел, таке як <https://www.gbif.org/> відомо виявлення екземплярів в межах області у смт. Олександрівка у 2019 р. та у Знам'янському

лісництві в межах ДП «Чорноліське лісове господарство» у 2020 р.

Матеріали та методи досліджень. Реалізацію завдань виконували відповідно отриманих матеріалів від департаменту екології та природних ресурсів Кіровоградської ОДА та власних натурних досліджень. Об'єктами дослідження слугували дерева виду д. звичайного. Визначення діаметру стовбурів проводилося за допомогою мірної виделки на висоті 1,3 м.

Результати досліджень та їх обговорення. При проведенні обстеження у 2022–2023 р. території ботанічної пам'ятки природи «Дуби велетні» площею 6,6 га нами було виявлено 58 дерев д. звичайного, з них 23 – це дерева віком близько 100 років з діаметром стовбура від 38 до 73 см. З огляду на те, що ботанічна пам'ятка природи була створена 51 рік тому, на нашу думку, ці дерева не могли бути включені до об'єктів збереження у зв'язку з молодим віком. Тому дубів, які підлягають охороні, в межах зазначеної території нараховується 35. Ці дерева мають діаметр стовбура в межах 95–140 см. З них одне дерево було зламане і видалене з території в наслідок буревію у серпні 2021 року. Серед інших дерев встановлено, що 5 є сухостійними та перебувають у аварійному стані.

На території іншої пам'ятки природи, площею 3,2 га нами було виявлено 20 дерев д. звичайного. З них 4 – з діаметром стовбура в межах 52–62 см, мають вік близько 100 років. З огляду період створення ці дерева також не могли бути включені до охоронних об'єктів. Дерев дуба, які можна вважати «дубами-велетнями» нами виявлено 16. Діаметр стовбура у них коливається в межах 80–140 см. Серед цих дерев виявлено 4 сухостійні екземпляри, що знаходяться у аварійному стані. Вони потребують видалення, оскільки можуть становити небезпеку для відвідувачів лікарні чи мед. персоналу.

На обох територіях також виявлено дерева д. звичайного з частковою втратою кори на стовбурі від поверхні ґрунту до висоти 2,5–3 м. Як наслідок на цих дубах спостерігається всихання частини крони. Крім того на деревах виявлені дупла, плоді тіла грибів, пошкодження викликані центральною стовбуровою гниллю, вихідні отвори шкідників у корі тощо. Відповідно міри пошкодження ці дерева потребують капітального чи поточного ремонту.

Дослідженнями проведеними у 2022–2023 р. встановлено, що в межах обох ботанічних пам'яток природи залишилося близько 45% від початкового складу охоронних об'єктів. Значна кількість дерев д. звичайного пошкоджена, що також призведе до їх загибелі у найближче десятиліття.

На нашу думку, одним з найбільш вагомих негативних факторів, що впливають на стан дерев є активність личинок жука *C. cerdo*. Дослідженнями встановлено, що ними з різною інтенсивністю заселені усі старовікові дерева. Ці комахи надають перевагу живим деревам, де заселяють місця, що добре про-

гриваються сонцем, переважно з південно та південно-східною експозицією. Ходи в деревині ослаблюють механічну пружність гілок, що може призводити до їх обламування. Для встановлення ризиків щодо громадської безпеки та усунення небажаних наслідків вважаємо доцільним рекомендувати проведення моніторингу стану цих дерев та видаляти відмерлі частини.

Разом з тим вказаний вид комах занесений в Червону книгу України, тому вимагає охорони.

Виникає дилема щодо збереження дерев у вказаних ботанічних пам'ятках природи, оскільки будь-які роботи зі знищення чи негативному впливу на жука-шкідника чи його личинок є порушенням Закону України «Про Червону книгу України». Такі ситуації виникають не лише в нашій державі. В дослідженнях науковців [8] описується подібна ситуація для європейських країн в межах яких існують популяції *C. cerdo*, особливо в населених пунктах. Для вирішення цих питань автори пропонують розміщувати пастки для імаго з подальшим переселенням жуків у інші ділянки лісу, де вони зможуть існувати. Разом з тим, дослідники вказують на складнощі у реалізації цих заходів, оскільки пастки добре видно для відвідувачів, які можуть втручатися у збір. Фактично, нелетальний відлов *C. cerdo* передбачає щоденну перевірку пасток, щоб уникнути будь-яких травм або смерті зібраних особин [7]. Про те, такий спосіб вимагає залучення фахівців, витрат часу та фінансів організацій на яких оформлені охоронні зобов'язання.

Головні висновки. Існуючі об'єкти та території природно-заповідного фонду України потребують

систематичного обстеження за станом заповідних природних комплексів та об'єктів – це вимога Закону України «Про природно-заповідний фонд України». Проте, через відсутність чітких вказівок щодо того як часто та з якою періодичністю необхідно проводити ці обстеження, на практиці складається ситуація, що окремі об'єкти ПЗФ України не обстежуються впродовж декількох десятиліть, фактично від моменту свого створення.

В окремих випадках, як це було виявлено нами для території ботанічних пам'яток природи місцевого значення «Дуби-велетні» в м. Знам'янка, головним шкодочинним агентом, що загрожує їх збереженню є біологічний вид – *C. cerdo*, який сам перебуває під охороною.

Ситуація, що склалась в межах ботанічних пам'яток природи місцевого значення «Дуби-велетні» в м. Знам'янка потребує негайного втручання, оскільки бездіяльність призведе до поступової загибелі дерев дуба звичайного – основних об'єктів збереження цих природно-заповідних територій, і відповідно, до втрати середовища існування рідкісного виду комах – *C. cerdo*.

Перспективи використання результатів дослідження. Вирішення подібної проблеми є досить складним природоохоронним завданням, і потребує дуже зваженого підходу, із врахуванням як особливостей екології видів, що підлягають охороні, так і правових аспектів. Зважаючи на це, вважаємо за доцільне, звернутись до Міндовккілля з пропозицією щодо розробки відповідних методичних рекомендацій, оскільки подібна ситуація може бути не поодиноким для України.

Література

1. Червона книга України/ за ред. Я. П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
2. Про затвердження переліків видів тварин, що заносяться до Червоної книги України (тваринний світ), та видів тварин, що виключені з Червоної книги України (тваринний світ): Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 19 січня 2021 року № 29. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0260-21#Text>
3. Матеріали до 4-го видання Червоної книги України. Тваринний світ. Серія: "Conservation Biology in Ukraine". Вип. 7, Т. 1. Редкол.: І. А. Акімов та ін. Київ: Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України, 2018. 442 с.
4. Матеріали до 4-го видання Червоної книги України. Тваринний світ. Серія: "Conservation Biology in Ukraine". Вип. 7, Т. 2. Редкол.: І. А. Акімов та ін. Київ: Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України, 2018. 454 с.
5. Поширення раритетних видів біоти України. Серія: «Conservation Biology in Ukraine». Вип. 27. Т. 1. Редкол: В.О. Харченко та ін. Київ: Інститут зоології, UNCG; Чернівці: Друк Арт, 2022. 480 с.
6. Zamoroka A. M. The longhorn beetles (Coleoptera, Cerambycidae) of Ukraine: Results of two centuries of research. Biosystems Diversity. 2022. № 30(1). P. 46–74. URL: <https://doi.org/10.15421/012206>
7. Guidelines for the monitoring of *Cerambyx cerdo* / De Zan L.R. et al. Nature Conservation. 2017. № 20. P. 129–164. URL: <https://doi.org/10.3897/natureconservation.20.12703>
8. When a threatened species becomes a threat: A key to reading the Habitats Directive based on occurrence and distribution of *Cerambyx cerdo* L. in Mediterranean urban and peri-urban areas / Mannu R.; Torres-Vila L.M.; Olivieri M.; Lentini A.. Insect Conserv. Divers. 2021. № 14. P. 730–735. URL: <https://doi.org/10.1111/icad.12531>
9. Platek M., Sebek P., Hauck D., Cizek L. When is a tree suitable for a veteran tree specialist? Variability in the habitat requirements of the great capricorn beetle (*Cerambyx cerdo*) (Coleoptera: Cerambycidae). Eur. J. Entomol. 2019. № 116. P. 64–74. URL: <https://doi.org/10.14411/eje.2019.007>
10. The great capricorn beetle *Cerambyx cerdo* L. in south-western Poland – the current state and perspectives of conservation in one of the recent distribution centres in Central Europe/ Kadej M. et al. Nature Conservation. 2017. № 19. P. 111–134. URL: <https://doi.org/10.3897/natureconservation.19.11838>

УДК 591.524.

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.30>

ФАУНІСТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА І ТАКСОНОМІЧНА СТРУКТУРА КОЛОВЕРТОК (*ROTIFERA* : *ROTATORIA*) ТОРФ'ЯНИХ БОЛІТ ГАЛИЧНИНИ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ЛЮДВИГА КОЗАРА

Іванець О.Р.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, 79005, м. Львів
oleh_ivanets@ukr.net

У досліджуваних водоймах Л. Козар зареєстрував 114 таксонів *Rotatoria* які об'єднані, відповідно до чинної на той час систематики, в 4 ряди (*Ploima*, *Flosculariacea*, *Collothecacea*, *Bdelloida*) 19 родин (*Notommatidae*, *Epiphanidae*, *Brachionidae*, *Mytilinidae*, *Euchlanidae*, *Lepadellidae*, *Trichotriidae*, *Trichocercidae*, *Gastropodidae*, *Synchaetidae*, *Triarthridae*, *Polyarthridae*, *Asplanchnidae*, *Testudinellidae*, *Pedalidae*, *Flosculariadaea*, *Collothecidae*, *Adinetidae*, *Philodinidae*), 4 підродини (*Notommatinae*, *Dicranophorinae*, *Philodininae*, *Habrotrochinae*), і 46 родів (*Notommata*, *Taphrocampa*, *Proales*, *Plewrotrocha*, *Eosphora*, *Cephalodella*, *Diaschiza*, *Monommata*, *Dicranophorus*, *Encentrum*, *Enteroplea*, *Epiphanes*, *Brachionus*, *Platyias*, *Keratella*, *Notholca*, *Anuraeopsis*, *Mytilina*, *Euchlanis*, *Lecane*, *Monostyla*, *Lepadella*, *Colurella*, *Squatinella*, *Trichotria*, *Scaridium*, *Trichocerca*, *Diurella*, *Ascomorpha*, *Synchaeta*, *Filinia*, *Polyarthra*, *Asplanchna*, *Asplanchnopus*, *Testudinella*, *Pedalia*, *Floscularia*, *Limnias*, *Ptygura*, *Collothea*, *Adineta*, *Philodina*, *Rotaria*, *Macrotrachela*, *Dissotrocha*, *Habrotrocha*).

За кількістю видів роди поділяються на 7 груп. До I групи відноситься один рід, який включає 8 видів (2% від загальної кількості родів.); до II групи належать 4 роди (9%), у кожному з яких зареєстровано по 6 видів; III група включає 2 роди у яких по 5 видів (4%); IV група містить 5 родів (10%), у кожному з яких по 4 види; V група містить 3 роди (7%) з трьома видами у кожному з них; VI група об'єднує 14 родів у кожному з яких по два видових таксони (30%); VII група включає 17 родів (38% від загальної кількості родів) кожен з яких представлений лише одним видовим таксоном.

З врахуванням родових таксонів найбільш презентабельний ряд *Ploima* (36 родів, що становить 78% від загальної кількості зареєстрованих таксонів рангу роду). Інші роди характеризуються у цьому спектрі значно нижчими показниками: *Bdelloida* – 6 родів (13%), *Flosculariacea* – 3 роди (7%), *Collothecacea* – 1 рід (2%).

Родина *Notommatidae*, що належить до ряду *Ploima* включає дві підродини (*Notommatinae* і *Dicranophorinae*), як і родина *Philodinidae*, що належить до ряду *Bdelloida* (*Philodininae* і *Habrotrochinae*).

Найбільша різноманітність родів відзначена у підродині *Notommatinae* (вісім родів), підродина *Philodininae* включає чотири роди, підродина *Dicranophorinae* об'єднує три роди, а підродина *Habrotrochinae* має найменшу різноманітність і містить лише один рід. **Ключові слова:** коловертки, фауна, Галичина, *Rotifera*, *Rotatoria*.

Faunistic characteristics and taxonomic structure of rotifers (*Rotifera* : *Rotatoria*) of peat swamps of Galicia in the research of Ludwig Kozar. Ivanets O.

In the studied reservoirs, L. Kozar registered 114 taxa of *Rotatoria*, which were united, according to the taxonomy valid at that time, into 4 orders (*Ploima*, *Flosculariacea*, *Collothecacea*, *Bdelloida*) 19 families (*Notommatidae*, *Epiphanidae*, *Brachionidae*, *Mytilinidae*, *Euchlanidae*, *Lepadellidae*, *Trichotriidae*, *Trichocercidae*, *Gastropodidae*, *Synchaetidae*, *Triarthridae*, *Polyarthridae*, *Asplanchnidae*, *Testudinellidae*, *Pedalidae*, *Flosculariadaea*, *Collothecidae*, *Adinetidae*, *Philodinidae*), 4 subfamilies (*Notommatinae*, *Dicranophorinae*, *Philodininae*, *Habrotrochinae*) and 46 genera (*Notommata*, *Taphrocampa*, *Proales*, *Plewrotrocha*, *Eosphora*, *Cephalodella*, *Diaschiza*, *Monommata*, *Dicranophorus*, *Encentrum*, *Enteroplea*, *Epiphanes*, *Brachionus*, *Platyias*, *Keratella*, *Notholca*, *Anuraeopsis*, *Mytilina*, *Euchlanis*, *Lecane*, *Monostyla*, *Lepadella*, *Colurella*, *Squatinella*, *Trichotria*, *Scaridium*, *Trichocerca*, *Diurella*, *Ascomorpha*, *Synchaeta*, *Filinia*, *Polyarthra*, *Asplanchna*, *Asplanchnopus*, *Testudinella*, *Pedalia*, *Floscularia*, *Limnias*, *Ptygura*, *Collothea*, *Adineta*, *Philodina*, *Rotaria*, *Macrotrachela*, *Dissotrocha*, *Habrotrocha*).

According to the number of species, genera are divided into 7 groups. Group I includes one genus, which includes 8 species (2% of the total number of genera); the II group includes 4 genera (9%), in each of which 6 species are registered; group III includes 2 genera with 5 species each (4%); IV group contains 5 genera (10%), each of which has 4 species; group V contains 3 genera (7%) with three species in each of them; the VI group unites 14 genera, each of which contains two species of taxa (30%); group VII includes 17 genera (38% of the total number of genera), each of which is represented by only one specific taxon.

Taking into account generic taxa, the *Ploima* series is the most presentable (36 genera, which is 78% of the total number of registered taxa of genus rank). Other genera are characterized by much lower indicators in this spectrum: *Bdelloida* – 6 genera (13%), *Flosculariacea* – 3 genera (7%), *Collothecacea* – 1 genus (2%).

The family *Notommatidae* belonging to the order *Ploima* includes two subfamilies (*Notommatinae* and *Dicranophorinae*), as does the family *Philodinidae* belonging to the order *Bdelloida* (*Philodininae* and *Habrotrochinae*).

The greatest diversity of genera is noted in the subfamily *Notommatinae* (eight genera), the subfamily *Philodininae* includes four genera, the subfamily *Dicranophorinae* unites three genera, and the subfamily *Habrotrochinae* has the least diversity and contains only one genus. **Key words:** rotifers, fauna, Galicia, *Rotifera*, *Rotatoria*.

Постановка проблеми. Коловертки (*Rotatoria*) є вагомим компонентом зоопланктонних угруповань. Вони відіграють важливу роль у функціонуванні гідроєкосистем, забезпечують процеси самоочищення водойм та значною мірою визначають їх продукційні характеристики. Відповідно до положень Водної Рамкової Директиви Європейського Парламенту і Ради (EU Water Framework Directive 2000/60/EC), яка акцентує на значній ролі гідробіонтів у проведенні гідроекологічного моніторингу коловертки, як компонент зоопланктоценозів, включені у систему комплексної оцінки стану водних об'єктів України [1, 2, 3]. Водночас, регіональна фауна, історичні аспекти досліджень таксономії і структурної характеристики ротаторіоценозів вивчені неповно.

Актуальність дослідження. На сьогодні недостатньо даних щодо регіональних фаун коловерток (*Rotatoria*). Проте, такі матеріали важливі при вивченні екологічних характеристик стану водойм методами біологічної індикації, аналізі раціонів іхтіофауни, продукційно-деструкційних характеристик, а також трофодинаміки гідроценозів. Показники стану популяцій *Rotatoria*, які досягають значної чисельності та біомаси у гідроєкосистемах та є чутливими щодо впливу різноманітних факторів середовища, забезпечують оптимальні параметри гідроекологічного моніторингу.

При цьому особливо важливим є врахування змін у гідроєкосистемах, які можуть бути спрогнозовані на основі динаміки стану угруповань коловерток, протягом тривалих періодів часу.

Аналіз та систематизація таких матеріалів у ретроспективному плані, порівняння отриманих параметрів із сучасними даними, дасть змогу простежити трансформацію гідроєкосистем, особливості формування в історичному аспекті мікрокліматичних змін, схарактеризувати антропогенний вплив та спрогнозувати перспективний розвиток стану водойм. Саме тому ретроспективні дослідження коловерток регіональних фаун на сьогодні особливо вагомі.

Дане дослідження розглядає історичні аспекти вивчення фауністичних характеристик та таксономічної структури угруповань коловерток у регіоні Головного Європейського Вододілу, котрий відіграє значущу роль при формуванні гідроєкосистем і частково проходить по теренах північно-східної Галичини.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження проводилось в межах таких науково-дослідних тем: «Ценотичні зв'язки ключових видів як основа збереження та відтворення біорізноманіття водотоків Європейського вододілу», «Оптимізація екологічної мережі транскордонних об'єктів природно-заповідного фонду заходу України у рамках Програми ЮНЕСКО «Людина та біосфера»,

«Трансформація оселищ і її вплив на зообіоту заходу України за сучасних умов кліматичних змін».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші повідомлення щодо коловерток Галичини знаходимо у видатного польського ротаторіолога А. Вежейського, який був фундатором досліджень коловерток на цих теренах [4, 5, 6, 7, 8]. У Кракові 1893 року А. Вежейський опублікував фундаментальну монографію "*Rotatoria (wrotki) Galicyi*" у якій зареєстрував 161 таксон коловерток [8].

На сьогодні коловертки Галичини та прилеглих регіонів також привертають значну увагу. Зокрема, досліджуються *Rotatoria* водойм лісових ландшафтів [9]. Вивчаються коловертки ставів західного лісостепу України [10]. Приділяється увага еколого-фауністичній характеристиці окремих родів коловерток, зокрема, роду *Brachionus* [11].

Звертається увага на методичні підходи щодо систематико-фауністичного вивчення коловерток [12]. Акцентується на морфологічних характеристиках екологічних груп коловерток, які лежать в основі їх адаптацій до факторів середовища [13]. Вивчається таксономічна структура та динамічні характеристики популяцій роду *Asplanchna* регіону Українського Розточчя [14].

Досліджуються трофічні характеристики *Asplanchna*. Зокрема, показана значимість коловерток роду *Filinia* у спектрі раціону *Asplanchna* рівнинних гідроєкосистем заходу України [15]. Досліджується фауна і таксономічна структура ротаторіоценозів водойм Галичини [16].

Коловертки досліджуються як компонент зоопланктоценозів в асоціаціях водної рослинності ставів західного лісостепу України [17]. Фауністичні характеристики *Rotatoria* вивчаються також у структурі зоопланктонних угруповань Українського Розточчя та прилеглих теренів [18, 19].

Водночас, на сьогодні історичні аспекти досліджень *Rotatoria* на теренах Галичини вивчені неповно.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета нашої роботи полягала в аналізі вивченості *Rotatoria* за матеріалами досліджень Л. Козара, які були проведені на початку 20 століття на теренах північно-східної Галичини. Досягнення мети передбачає розв'язання таких завдань:

- проведення ретроспективного аналізу фауни *Rotatoria* за матеріалами Л. Козара відповідно до чинної на той час систематики;
- розгляд таксономічної структури *Rotatoria* з врахуванням значимості таксонів коловерток у спектрі рядів, родин, підродів, родів та видів
- компаративний аналіз таксонів *Rotatoria* різноманітного рангу, зареєстрованих Л. Козаром.

Проведене дослідження є важливим з огляду на значимість *Rotatoria* в проблематиці оцінки впливу факторів зовнішнього середовища на гід-

роекосистеми протягом тривалих історичних періодів. Дослідження відгуків угруповань *Rotatoria* на ті чи інші чинники з врахуванням особливостей фауни і таксономічної структури є одним із ключових аспектів на яких базується проблематика гідроекологічного моніторингу. У зв'язку з цим представляє особливий інтерес фауністичний аналіз *Rotatoria* та порівняльна характеристика показників, що ідентифікують значні часові відтинки. Такі роботи є актуальними з врахуванням сучасних публікацій щодо зоопланктону заходу України [14, 15, 16, 17, 18, 19].

Новизна. За матеріалами досліджень Л. Козара початку 20 століття проаналізовано вивченість *Rotatoria* водойм торф'яних боліт північно-східної Галичини. З врахуванням чинної на той час систематики проведено ретроспективний аналіз фауни *Rotatoria*, подано характеристику таксономічної структури коловерток з врахуванням значимості таксонів різного рангу та проведений їх компаративний аналіз.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Проведене дослідження є важливим з огляду на значимість *Rotatoria* в проблематиці оцінки впливу факторів зовнішнього середовища на гідроекосистеми. Дослідження відгуків угруповань коловерток на ті чи інші чинники з врахуванням особливостей фауністичної структури є одним із ключових аспектів гідроекологічного моніторингу.

У цьому зв'язку представляє особливий інтерес фауністичний аналіз *Rotatoria* та порівняльна характеристика показників, що ідентифікують тривалі періоди часу. Такі роботи є актуальними з врахуванням сучасних методологічних підходів у дослідженнях регіональних фаун коловерток.

Матеріали та методи. Проведена робота базується на аналізі публікації Л. Козара “Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens”, яка була опублікована 1914 року у науковому журналі “Zoologischer Anzeiger” Німецького товариства зоологів (рис. 1) [20].

При характеристиці таксономічної структури *Rotatoria* та компаративному аналізі таксонів коловерток різноманітного рангу приймали, відповідно до [21], що таксон – це достатньо відособлена таксономічна група якій можна присвоїти певну категорію. Враховували, що поняття таксону належить до конкретних організмів і має бути описаним під певною назвою.

Викладосновного матеріалу. Л. Козар – польський гідробіолог, який значну увагу приділяв вивченню коловерток північно-східної Галичини. У публікації “Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens”, яка вийшла 1914 року у науковому журналі “Zoologischer Anzeiger” Німецького товариства зоологів, подано результати досліджень коловерток торф'яних боліт

північно-східного регіону Галичини (рис. 2) [20]. Дослідження проводилися, як зазначає автор публікації, протягом 1908–1912 р.р.

Особливо ретельними наукові розвідки були у літні місяці (липень-серпень). У інші пори року збір матеріалу проводився фрагментарно. Досліджувалися, насамперед, канали, рови та багаті гумусом невеликі ставки.

Усього в досліджуваних водоймах було зареєстровано 114 таксонів *Rotatoria*. Подамо перелік таксонів коловерток, зареєстрованих Л. Козаром, відповідно до чинної на той час систематики.

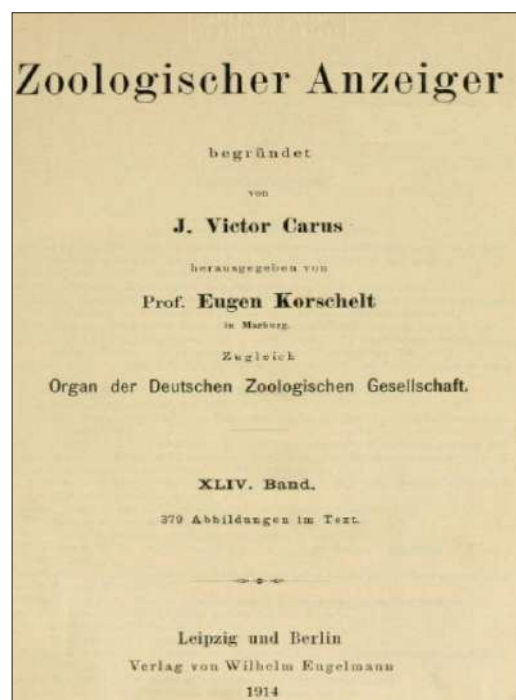


Рис. 1. Титульна сторінка журналу “Zoologischer Anzeiger” у якому була опублікована стаття Л. Козара “Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens” [20]



Рис. 2. Фрагмент публікації Л. Козара “Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens” [20]

Коловертки торф'яних боліт північно-східної
Галичини за дослідженнями Л. Козара [20]Ряд *Ploima*Родина *Notommatidae*Підродина *Notommatinae*Рід *Notommata* Ehrbg.*Notommata aurita* Müller*Notommata cerberus* Gosse*Notommata tripus* Ehrbg.*Notommata najas* Ehrbg.*Notommata torulosa* Dujardin*Notommata copeus* Ehrbg.*Notommata brachyota* Ehrbg.*Notommata pachyura* GosseРід *Taphrocampa* Gosse*Taphrocampa annulosa* GosseРід *Proales* Gosse*Proales decipiens* Ehrb.Рід *Pleurotrocha* Ehrbg.*Pleurotrocha petromyxon* Ehrbg.*Pleurotrocha reinhardtii* Ehrbg.Рід *Eosphora* Ehrbg.*Eosphora najas* Ehrbg.*Eosphora elongata* Ehrbg.*Eosphora digitata* Ehrbg.Рід *Cephalodella* Bory de St. Vincent*Cephalodella catellina* Müller.*Cephalodella* sp.*Cephalodella forficula* Ehrbg.Рід *Diaschiza* Gosse*Diaschiza gibba* Ehrbg.*Diaschiza gracilis* Ehrbg.*Diaschiza auriculata* Müller.*Diaschiza hoodi* Gosse*Diaschiza tigridia* Gosse*Diaschiza eva* GosseРід *Monommata* Bartsch*Monommata orbis* MüllerПідродина *Dicranophorinae*Рід *Dicranophorus* Nitzsch.*Dicranophorus grandis* Ehrbg.*Dicranophorus auritus* Ehrbg.Рід *Encentrum* Ehrbg.*Encentrum biraphis* Gosse*Encentrum clastopis* GosseРід *Enteroplea* Ehrbg.*Enteroplea lacustris* Ehrbg.Родина *Epiphanidae*Рід *Epiphanes* Ehrbg.*Epiphanes senta* Müller*Epiphanes brachionus* Ehrbg.Родина *Brachionidae*Рід *Brachionus* Pallas*Brachionus urceus* Linneus*Brachionus calyciflorus* Pallas*Brachionus angularis* Gosse*Brachionus capsuliflorus* PallasРід *Platyias* Haring*Platyias quadricornis* Ehrbg.Рід *Keratella* Bory de St. Vincent*Keratella cochlearis* Gosse*Keratella quadrata* MüllerРід *Notholca* Gosse*Notholca striata* MüllerРід *Anuraeopsis* Lauterborn*Anuraeopsis fissa* Gosse.Родина *Mytilinidae*Рід *Mytilina* Bory de St. Vincent*Mytilina ventralis* Ehrbg.*Mytilina ventralis brevispina* Ehrbg.*Mytilina mucronata* Müller*Mytilina mucronata spinigera* Ehrbg.*Mytilina bicarinata* Perty*Mytilina compressa* GosseРодина *Euchlanidae*Рід *Euchlanis* Ehrbg.*Euchlanis dilatata* Ehrbg.*Euchlanis triquetra* Ehrbg.*Euchlanis pyriformis* GosseРід *Lecane* Nitzsch.*Lecane luna* Miller*Lecane unguolata* Gosse*Lecane ludwigii* Eckstein*Lecane gissensis* EcksteinРід *Monostyla* Ehrbg.*Monostyla cornuta* Müller*Monostyla lunaris* Ehrbg.*Monostyla bulla* Gosse*Monostyla hamata* StokesРодина *Lepadellidae*Рід *Lepadella* Bory de St. Vincent*Lepadella patella* Müller*Lepadella acuminata* Ehrbg.*Lepadella triptera* Ehrbg.*Lepadella salpina* Ehrbg.*Lepadella pygmea* Gosse*Lepadella oblonga* Ehrbg.Рід *Colurella* Bory de St. Vincent*Colurella adriatica* Ehrbg.*Colurella bicuspidata* Ehrbg.*Colurella obtusa* Gosse*Colurella colurus* Ehrbg.Рід *Squatinella* Bory de St. Vincent*Squatinella lamellaris* Müller*Squatinella mutica* Ehrbg.Родина *Trichotriidae*Рід *Trichotria* Bory de St. Vincent*Trichotria pocillum* MüllerРід *Scaridium* Ehrbg.*Scaridium longicaudum* MüllerРодина *Trichocercidae*Рід *Trichocerca* Lamarck*Trichocerca rattus* Müller*Trichocerca iernis* Gosse*Trichocerca longiseta* Schrank

Trichocerca cristata Harring
Trichocerca pusilla Jennings
 Рід *Diurella* Bory de St. Vincent
Diurella tigris Miller
Diurella tenuior Gosse.
Diurella weberi Jennings
Diurella porcellus Gosse
 Родина *Gastropodidae*
 Рід *Ascomorpha* Perty
Ascomorpha ecaudis Perty
 Родина *Synchaetidae*
 Рід *Synchaeta* Ehrbg.
Synchaeta pectinata Ehrbg.
Synchaeta tremula Ehrbg.
 Родина *Triarthridae*
 Рід *Filinia* Bory de St. Vincent
Filinia longiseta Ehrbg.
Filinia cornuta Weisbe
 Родина *Polyarthridae*
 Рід *Polyarthra* Ehrbg.
Polyarthra trigla Ehrbg.
 Родина *Asplanchnidae*
 Рід *Asplanchna* Gosse
Asplanchna priodonta Gosse
Asplanchna brighwellii Gosse
Asplanchna sieboldii Leydig
 Рід *Asplanchnopus* de Guerne
Asplanchnopus multiceps Schrank
 Родина *Testudinellidae*
 Рід *Testudinella* Bory de St. Vincent
Testudinella patina Hermann
Testudinella mucronata Gosse
Testudinella elliptica Ehrbg.
 Родина *Pedalidae*
 Рід *Pedalia* Barrois
Pedalia mira Hudson
 Ряд *Flosculariacea*
 Родина *Floscularidae*
 Рід *Floscularia* Cuvier
Floscularia ringens Linnaeus
 Рід *Limnias* Schrank
Limnias ceratophylli Schrank
 Рід *Ptygura* Ehrbg.
Ptygura crystallina Ehrbg.
Ptygura intermedia Davis
 Ряд *Collothecaceae*
 Родина *Collothecidae*
 Рід *Collotheca* Harring
Collotheca ornata Ehrbg.
Collotheca cornuta Dobie
 Ряд *Bdelloida*
 Родина *Adinetidae*
 Рід *Adineta* Hudson
Adineta vaga Davis
 Родина *Philodinidae*
 Підродина *Philodininae*
 Рід *Philodina* Ehrbg.
Philodina rosoela Ehrbg.

Philodina citrina Ehrbg.
 Рід *Rotaria* Scopoli
Rotaria tardigrada Ehrbg.
Rotaria macrura Ehrbg.
Rotaria elongata Weber
Rotaria rotatoria Pallas
Rotaria neptunia Ehrbg.
 Рід *Macrotrachela* Milne
Macrotrachela quadricornifera Milne
 Рід *Dissotrocha* Bryce
Dissotrocha aculeata Ehrbg.
Dissotrocha macrostyla Ehrbg.
 Підродина *Habrotrochinae*
 Рід *Habrotrocha* Bryce
Habrotrocha lata Bryce
Habrotrocha tridens Milne

Л. Козар для багатьох таксонів подає особливості їх морфології та екології, відзначає особливості поширення. Він також звертає увагу на характеристику «яєць спокою» коловерток, які є одним із важливих етапів життєвого циклу циклу *Rotatoria*.

Зокрема, зроблені цікаві спостереження над коловертками роду *Euchlanis*. Л. Козар зазначає, що цей таксон досить поширений. У літній період у кінці липня йому вдалося знайти «яйце спокою» *Euchlanis* (рис. 3).

«Яйця спокою» *Euchlanis* до цього часу іншим дослідникам були невідомі. Яйце, яке віднайшов Л. Козар, було прикріплене до ряски триборознистої (*Lemna trisulca* L.) таким чином, що клейка поверхня виглядала цілком плоскою. Л. Козар припускає, що саме така локація цих яєць була причиною того, що «яйця спокою» роду *Euchlanis* раніше не відзначалися дослідниками.

Л. Козар також подає розмірні характеристики таких яєць, а саме: довжина – 0,035 мм, ширина – 0,025 мм. Він вказує на те, що яйце немає кришки і характеризується зовнішньою оболонкою з неправильною сітчастою структурою. Як вказує цей дослідник, поверхня яйця липка і містить включення з діатомових водоростей та часточок детриту.

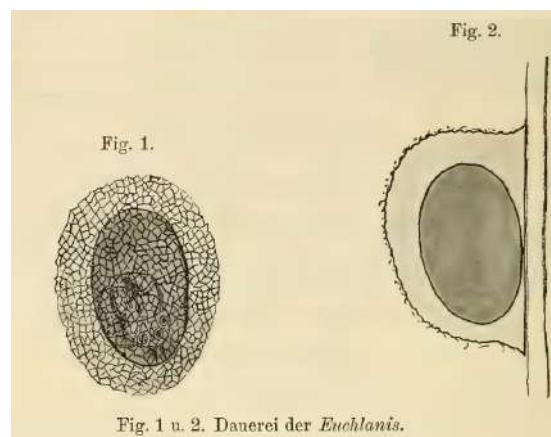


Рис. 3. «Яйця спокою» представників роду *Euchlanis* за матеріалами досліджень Л. Козара [20]

Подано особливості розвитку цього яйця. Зокрема, Л. Козар зазначає, що яйце було знайдено о четвертій годині дня. При ретельному розгляді в яйці, що розвивається, уже було видно жувальний апарат коловертки, око, окремі деталі будови травної та видільної систем, а також війки коловертального апарату.

Яєчник коловертки, що розвивається був помічений о дев'ятій годині вечора. О десятій годині коловертка вийшла із яйця через його покриви, які були нерівномірно розірвані з одного боку.

Особливу увагу Л. Козар приділив також таксону *Asplanchnopus multiceps* Schrank та будові його жувального апарату, рисунок якого він подає у своїй публікації (рис. 4).

Л. Козар зазначає що *A. multiceps* є досить поширеним видом мікрофауни торфових боліт який щорічно протягом періоду досліджень траплявся у неглибоких, багатих гумусом канавах з квітня по вересень.

Жувальний апарат *A. multiceps* характеризується невеликими зубцями на внутрішній стороні (рис. 4).

Проаналізуємо таксономічну структуру угруповань коловерток, які досліджував Л. Козар (табл. 1).

Угруповання коловерток нараховує 114 видових таксонів, які об'єднані в 4 ряди, 19 родин 4 підродина і 46 родів.

За кількістю видів роди поділяються на 7 груп. До I групи відноситься один рід, який включає 8 видів; до II групи належать 4 роди, у кожному з яких зареєстровано по 6 видів; III група включає 2 роди у яких по 5 видів; IV група містить 5 родів, у кожному з яких по 4 види; V група містить 3 роди з трьома видами у кожному з них; VI група об'єднує 14 родів у кожному з яких по два видових таксони; VII група включає 17 родів кожен з яких представлений лише одним видовим таксоном.

Таким чином, найбільш високу презентабельність з врахуванням видових таксонів має VII група родів, яка складає 38% від загальної кількості родів. Найменша презентабельність характеризується I групою родів – 2% від загальної кількості родів. Значним відсотком презентабельності, проте, трохи нижчим від максимального, відзначається VI група родів – 30%. Інші групи родів відзначаються значно нижчими, якщо порівнювати з максимальними значеннями, відсотковими характеристикам і мають проміжний вимір цих показників: IV група – 10%, II група – 9%, V група – 7%, III група – 4%.

Подамо порівняльну характеристику рядів зареєстрованих коловерток у спектрі родових таксонів. З врахуванням цих показників найбільш презентабельний ряд *Ploima* (36 родів, що становить 78% від загальної кількості зареєстрованих тасонів рангу роду). Інші роди характеризуються у цьому спектрі значно нижчими показниками: *Bdelloida* – 6 родів (13%), *Flosculariacea* – 3 роди (7%), *Collothecacea* – один рід (2%).

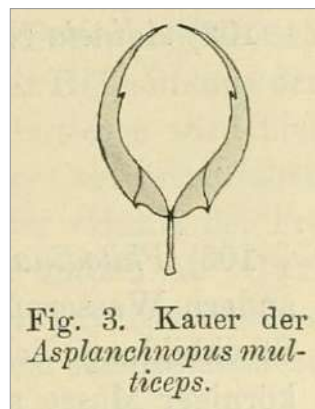


Fig. 3. Kauer der *Asplanchnopus multiceps*.

Рис. 4. Жувальний апарат *Asplanchnopus multiceps* Schrank за матеріалами досліджень Л. Козара [20]

Родина *Notommatidae*, що належить до ряду *Ploima* включає дві підродина (*Notommatinae* і *Dicranophorinae*), як і родина *Philodinidae*, що належить до ряду *Bdelloida* (*Philodininae* і *Habrotrochinae*).

Серед означених підродин найбільша різноманітність родів відзначена у *Notommatinae* (вісім родів), підродина *Philodininae* включає чотири роди, підродина *Dicranophorinae* об'єднує три роди, а підродина *Habrotrochinae* має найменшу різноманітність і містить лише один рід.

Головні висновки. Отже, у досліджуваних вододіймах Л. Козар зареєстрував 114 таксонів *Rotatoria* які об'єднані в 4 ряди, 19 родин, 4 підродина, і 46 родів.

За кількістю видів роди поділяються на 7 груп. До I групи відноситься один рід, який включає 8 видів (2% від загальної кількості родів.); до II групи належать 4 роди (9%), у кожному з яких зареєстровано по 6 видів; III група включає 2 роди у яких по 5 видів (4%); IV група містить 5 родів (10%), у кожному з яких по 4 види; V група містить 3 роди (7%) з трьома видами у кожному з них; VI група об'єднує 14 родів у кожному з яких по два видових таксони (30%); VII група включає 17 родів (38% від загальної кількості родів) кожен з яких представлений лише одним видовим таксоном.

З врахуванням родових таксонів найбільш презентабельний ряд *Ploima* (36 родів, що становить 78% від загальної кількості зареєстрованих тасонів рангу роду). Інші роди характеризуються у цьому спектрі значно нижчими показниками: *Bdelloida* – 6 родів (13%), *Flosculariacea* – 3 роди (7%), *Collothecacea* – 1 рід (2%).

Родина *Notommatidae*, що належить до ряду *Ploima* включає дві підродина (*Notommatinae* і *Dicranophorinae*), як і родина *Philodinidae*, що належить до ряду *Bdelloida* (*Philodininae* і *Habrotrochinae*).

Найбільша різноманітність родів відзначена у підродині *Notommatinae* (вісім родів), підродина *Philodininae* включає чотири роди, підродина *Dicranophorinae* об'єднує три роди, а підродина

Таксономічна структура ротаторіоценозу торф'яних боліт північно-східної Галичини за матеріалами Л. Козара [20]

Ряд	Родина	Підродина	Рід	Кількість видів
Ploima	Notommatidae	Notommatinae	Notommata	8
			Taphrocampa	1
			Proales	1
			Pleurotrocha	2
			Eosphora	3
			Cephalodella	2
			Diaschiza	6
			Monommata	1
		Dicranophorinae	Dicranophorus	2
			Eencentrum	2
	Enteroplea		1	
	Epiphanidae		Epiphanes	2
	Brachionidae		Brachionus	4
			Platyias	1
			Keratella	2
			Notholca	1
			Anuraeopsis	1
	Mytilinidae		Mytilina	6
	Euchlanidae		Euchlanis	6
			Lecane	4
			Monostyla	4
	Lepadellidae		Lepadella	6
			Colurella	4
			Squatinella	2
	Trichotriidae		Trichotria	1
			Scaridium	1
	Trichocercidae		Trichocerca	5
			Diurella	4
	Gastropodidae		Ascomorpha	1
	Synchaetidae		Synchaeta	2
Triarthridae		Filinia	2	
Polyarthridae		Polyarthra	1	
Asplanchnidae		Asplanchna	3	
		Asplanchnopus	1	
Testudinellidae		Testudinella	3	
Pedalidae		Pedalia	1	
Flosculariacea	Flosculariadaea	Floscularia	1	
		Limnias	1	
		Ptygura	2	
Collothecacea	Collothecidae		Collotheca	2
Bdelloida	Adinetidae		Adineta	1
	Philodinidae	Philodininae	Philodina	2
			Rotaria	5
			Macrotrachela	1
			Dissotrocha	2
		Habrotrochinae	Habrotrocha	2

Habrotrochinae має найменшу різноманітність і містить лише один рід.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження є важливими при з'ясуванні екологічного стану водойм методом біоіндикації, визначенні їх трофодинаміки та продук-

ційно-деструкційних показників. Такі матеріали є необхідними при гідроекологічному моніторинзі, визначенні ретроспективних змін у гідроценозах протягом тривалих періодів часу, а також прогнозуванні стану водойм у перспективі внаслідок впливів біотичних та абіотичних факторів середовища.

Література

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities. L 327, 22.12.2000. 72 p.
2. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О.М. Арсан, О.А. Давидов, Т.М. Дяченко та ін.; за ред. В.Д. Романенка. – НАН України. Ін-т гідробіології. К.: Логос, 2006. 408 с.
3. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксінок О.П., Яцик А.В., Чернявська А.П., Васенко О.Г., Верниченко А.А. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. К., 2001. 48 с.
4. Іванець О.Р. А. Вежейський – фундатор ротаторіологічних досліджень на теренах Галичини. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень*: матеріали першої Міжнародної наук.-практ. конф. 10-12 квітня 2014 р. м. Хотин. Чернівці: Друк Арт. С. 352–355.
5. Іванець О.Р. Гідробіологічні дослідження А. Вежейського на теренах Карпат. *Історичні і сучасні аспекти вивчення біоти Карпат*: матеріали наук. конф., присвяч. 60-річчю Високогірного біологічного стаціонару Львівського національного університету імені Івана Франка (27–30 липня 2015 року). С. 78–80.
6. Wierzejski A. Liste des Rotiferes observes en Galicie (Autriche-Hongrie). *Bull. soc. zool. France*. 16. 1891. P. 49–52.
7. Wierzejski A. Zur Kenntnis der *Asplanchna*-Arten. *Zool. Anz*. 15. 1892. S. 345–349.
8. Wierzejski A. Rotatoria (wrotki) Galicyi. Kraków: Akademia Umiejętności. Druk. Uniw. Jag. 1893. 112 s.
9. Іванець О.Р. До вивчення фауни коловерток (*Rotatoria*) водойм лісових ландшафтів. *Український лісотехнічний університет. 46 науково-технічна конференція*: матеріали 46-ї наук.-техні. конф. Львівського лісотехнічного університету (лісогосподарська секція, 12–19 квітня 1994 р.). Львів, 1994. С. 91–93.
10. Іванець О.Р. Фауна планктонних коловерток (*Rotatoria*) ставів західного лісостепу України. *Актуальні проблеми медицини, біології, ветеринарії і сільського господарства*. Серія медицина і біологія. Книга наукових статей. П'ята книга. Львів, 2001а. С. 46–51.
11. Іванець О.Р. Еколого-фауністична характеристика роду *Brachionus* (*Rotatoria*) у водоймах різноманітного типу. *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія, № 3(14). Спеціальний випуск: Гідроекологія. 20016, С. 53–55.
12. Іванець О.Р. Методичні вказівки до систематико-фауністичного вивчення коловерток (*Rotatoria*). Львів. ЛДУ. 1996. 28 с.
13. Іванець О.Р. Морфологічні характеристики екологічних груп коловерток (*Rotifera*, *Rotatoria*) як основа адаптацій до факторів середовища. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку*: матеріали наук. конф. 12 – 15 вересня 2013 р. Львів: Сполом, 2013. С. 28–32.
14. Іванець О. Р. Таксономічна структура та динаміка популяцій роду *Asplanchna* (*Rotifera*: *Monogononta*) Українського Розточчя. *Вісник ЛНУ ім. І. Франка. Сер. біол.* 2018. Вип. 79. С. 114–121.
15. Іванець О. Р. *Filinia* в спектрі раціону *Asplanchna* (*Rotifera*: *Monogononta*) рівнинних гідроекосистем заходу України. *Екологічні науки*. Вип. 2 (25). 2019. С. 147–151. <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-23>
16. Іванець О. Р. Фауністична характеристика угруповань коловерток (*Rotifera* : *Rotatoria*) водойми Глинна Наварія. *Екологічні науки*. Вип. 2 (41). 2022. С. 119–124. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.20>
17. Ivanets O.R. Zooplankton of the water vegetation in the ponds of west forest-steppe of Ukraine. *Вісник ЛНУ ім. І. Франка. Сер. біол.* 2011. Вип. 56. С. 148–156.
18. Ivanets O. R. The fauna of *Rotatoria* and microcrustaceans (*Cladocera*, *Copepoda*) of the Ukrainian Roztocze and its surroundings. *Development of natural sciences in countries of the European Union taking into account the challenges of XXI century: Collective monograph*. Lublin : Izdawniciba “Baltija Publishing”, 2018. P. 183–196.
19. Kovalchuk A. A., Ivanets O. R. The impact of damming and water poundage on the formation and structure of zooplanktocoenoses in the conditions of rivers in the Ukrainian Roztocze (the “outer” or “chunk” Carpathians). *Issues and challenges of small hydropower development in the Carpathians region (hydrology, hydrochemistry, and hydrobiology of watercourses)*. Monograph. Uzhgorod-L'viv-Kyiv : Biological Faculty of L'viv National University & Hydroecological society “Uzh”, 2016. P. 138–151.
20. Kozar L. “Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens”. *Zool. Anz*. 44. 1914. S. 413–425.

СЛИВА СОЛОДКА (*PRUNUS DULCIS* (MILL.) D.A.WEBB) В ІНТРОДУКЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ХОРОЛЬСЬКОГО БОТАНІЧНОГО САДУ

Красовський В.В.¹, Черняк Т.В.^{1,2}

¹Хорольський ботанічний сад

вул. Кременчуцька 1/79, оф. 46, 37800, м. Хорол

²Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка

вул. Остроградського, 2, 36000, м. Полтава

horolbotsad@gmail.com

Показано *Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb як перспективну горіхоплідну культуру Лісостепу України, адже в умовах кліматичних змін доцільність інтродукційних досліджень даного виду відповідає запитам сьогодення.

Прикметно, що процес інтродукції *P. dulcis* в Лісостеп України тривалий в часі бо включає такі основні стадії як прогнозування, відбір інтродукційного матеріалу та його мобілізація, випробування, розробка технології розмноження та основ культивування в змінених умовах середовища, створення нових генотипів, впровадження у аматорську, а в перспективі і в промислово культуру.

Одним з регіональних пунктів інтродукції субтропічних культур за відкритого ґрунту визначено Хорольський ботанічний сад де фахівці наукового сектору акліматизації плодкових, ягідних та лікарських культур проводять інтродукційні дослідження *P. dulcis*.

Підкреслено, що головною перешкодою розвитку культури *P. dulcis* в Лісостепу України є нестача високоякісного садивного матеріалу зимостійких, пізньоквітучих сортів та форм.

Дослідна колекція *P. dulcis* в м. Хорол формується з 2013 р. і для випробування (освоєння рослин) створено 8 дослідних локацій, 5 з яких на території ботанічного саду.

Зазначено місцеположення локацій у просторі-часі, обумовлено значення їх мікрокліматичних умов, адже вони не лише сприяють або обтяжують процес адаптації, а й безпосередньо впливають на плодоношення рослин, що важливо у практиці поширення виду в регіоні.

Виокремлено вагомість створення дослідних локацій на прибудинкових територіях та присадибних ділянках, бо широке поширення виду на такі території позитивно впливатиме на самозабезпечення жителів населених пунктів цінною горіхоплідною продукцією, а у цьому сегменті ринку сприятиме й імпортозаміщенню.

Загалом, у процесі інтродукційних досліджень насіннєве розмноження виду дало можливість отримати власні форми *P. amara* та *P. dulcis*, а залучення зимостійких і пізньоквітучих сортів спомогає розвтку генетичного банку *P. dulcis*, а отже і запровадженню подальших адаптивних селекційних досліджень. *Ключові слова:* Хорольський ботанічний сад, інтродукція, *P. dulcis*, дослідні локації, селекція.

Prunus dulcis (Mill.) D.A.Webb in the introductory studies of the Khorol Botanical Garden. Krasovsky V., Chernyak T.

Prunus dulcis (Mill.) D.A.Webb is shown as a promising nut-bearing crop of the Forest-Steppe of Ukraine, because in the conditions of climatic changes, the expediency of introduction studies of this species meets today's demands.

It is noteworthy that the process of introduction of *P. dulcis* into the Forest-Steppe of Ukraine is long in time because it includes such basic stages as forecasting, selection of introduction material and its mobilization, testing, development of reproduction technology and the basics of cultivation in changed environmental conditions, creation of new genotypes, introduction into amateur, and in the future also into industrial culture.

One of the regional points for the introduction of subtropical crops under open ground has been identified as the Khorol Botanical Garden, where experts from the scientific sector of the acclimatization of fruit, berry and medicinal crops conduct introduction studies of *P. dulcis*.

It is emphasized that the main obstacle to the development of *P. dulcis* culture in the Forest-Steppe of Ukraine is the lack of high-quality planting material of winter-hardy, late-flowering varieties and forms.

The experimental collection of *P. dulcis* in the city of Khorol has been forming since 2013, and 8 experimental locations have been created for testing (cultivation of plants), 5 of which are on the territory of the botanical garden.

The location of locations in space-time is specified, the significance of their microclimatic conditions is determined, because they not only contribute to or burden the adaptation process, but also directly affect the fruiting of plants, which is important in the practice of spreading the species in the region.

The significance of the creation of experimental locations in the home territories and homesteads is highlighted, because the wide distribution of the species in such territories will have a positive effect on the self-sufficiency of the inhabitants of settlements with valuable nut products, and in this segment of the market it will also contribute to import substitution.

In general, in the process of introduction research, the seed propagation of the species made it possible to obtain its own forms of *P. amara* and *P. dulcis*, and the involvement of winter-hardy and late-flowering varieties helps the development of the genetic bank of *P. dulcis*, and therefore the introduction of further adaptive breeding studies. *Key words:* Khorol Botanical Garden, introduction, *P. dulcis*, research locations, selection.

Вступ. Однією з перспективних горіхоплідних культур Лісостепу України є слива солодка, адже в умовах кліматичних змін доцільність інтродукційних досліджень даного виду відповідає запитам сьогодення [1–3].

Регіональним пунктом інтродукції субтропічних культур за відкритого ґрунту визначено Хорольський ботанічний сад (далі ХБС), заснований у 2009 р., розпочав функціонувати у 2011 р., офіційно відкритий у 2013 р. У структурі наукового підрозділу ХБС є науковий сектор акліматизації плодкових, ягідних та лікарських культур [4] де і проводяться інтродукційні дослідження сливи солодкої.

Постановка проблеми. Процес інтродукції сливи солодкої в Лісостеп України тривалий в часі і включає такі основні стадії: прогнозування, відбір інтродукційного матеріалу та його мобілізація, випробування, розробка технології розмноження та основ культивування виду в змінених умовах середовища, створення нових генотипів, впровадження у аматорську, а в перспективі і в промислову культуру [5–8].

Головною перешкодою розвитку культури сливи солодкої в Лісостепу України є нестача високоякісного садивного матеріалу зимостійких, пізньоквітучих сортів та форм.

Матеріали та методи. Об'єкт дослідження – вид слива солодка (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb), роду *Prunus*, з родини *Rosaceae*, який має два різновиди: солодкий (*Prunus dulcis*) та гіркий (*Prunus amara*).

Вид *P. dulcis* є досить цінною садовою рослиною групи горіхоплідних [9, 10]. Ядро (насіння) плодів використовують в основному у харчовій (92%), а також у медичній (6%) і в парфумерній (2%) промисловості. Широке використання *P. dulcis* у харчовій промисловості для виготовлення високоякісних кондитерських виробів зумовлюється його високими смаковими якостями і вмістом у ядрі в середньому 25% білків і від 20 до 70% олії, стійкої проти термічної обробки. Олія *P. dulcis* на відміну від олії *Juglans regia* L., *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch, *Pinus sibirica* Du Tour та *Pistacia vera* L. не гіркне [10].

Попит на ядро *P. dulcis* в Україні задовольняється за рахунок щорічного імпорту, а створення власних промислових насаджень даного виду у нашій країні можливе лише на узбережжі Чорного моря.

Глобальні зміни клімату протягом останніх десятиліть сприяють поширенню *P. dulcis* в аматорську культуру зони Лісостепу України.

P. dulcis невелике посухостійке листопадне дерево заввишки 4–6 м або гіллястий кущ висотою 2–3 м. Краще росте при сильному освітленні. Квітки порівняно великі – 3–4 см в діаметрі, двостатеві, розпускаються до появи листків. Пелюсток п'ять, білі з рожевим відтінком, біля основи з карміновим забарвленням. В середині пелюсток по колу розміщуються тичинки, яких буває від 20 до 36 та одна маточка [9].

Плід — однокістянка з сухим оплоднем, який розтріскується на дві стулки при дозріванні насіння. Кісточка такої ж форми що і сам плід, покрита дрібними ямками, іноді з борозенками, з товстою твердою або крихкою оболонкою (ендокарпом). Насіння (ядро) солодке чи гірке (залежно від різновиду), з плівчастою шкіркою.

Предмет дослідження – інтродукція *P. dulcis*, а саме стадія випробування (освоєння) рослин.

Методи дослідження – наукове експериментування (висів насіння вільного запилення *P. amara*, *P. dulcis*, пересадка сіянців, щеплення сортів *P. dulcis*), селекція (відбір перспективних форм, опис, морфометричні обміри).

Рослини досліджуються за експериментальну *ex situ* на території ХБС та за його межами.

Фотофіксацією рослин, плодів та їх частин робили фотокамерою як в польових так і лабораторних умовах, морфометричні виміри плодів та насіння, визначення їх маси проводили в лабораторних умовах установи.

Результати та їх обговорення. Дослідна колекція *P. dulcis* в ХБС формується з 2013 р. Комплексні дослідження проводяться у форматі підготовки до захисту дисертації на здобуття ступеня PhD за спеціальністю 091 Біологія.

Для випробування *P. dulcis* (освоєння рослин) у місті Хоролі створено 8 дослідних локацій, 5 з яких на території ХБС (рис. 1). На окремих з них створюються інтродукційні популяції, що дає можливість зберігати вид та завдяки гібридизаційним процесам виявляти нові форми, придатні до поширення в Лісостепу України [11].

Місцеположення локацій, а відповідно і їх мікрокліматичні умови (рельєф та вітряність місцевості, інсоляційна експозиція) не лише сприяють або обтяжують процес адаптації, а й безпосередньо впливають на плодоношення рослин, що має значення для практики поширення виду в регіоні.

Локація 1. Наукова зона, колекційна ділянка «Сад субтропічних плодкових культур»:

а) Розсадник колекційної ділянки «Сад субтропічних плодкових культур»:

P. amara: посівний матеріал отримано із м. Молочанськ, Запорізької обл. (аматорський сад). Висіяно у 2014 р. 449 кісточок, схожість – 73,7%, отримано 331 сіянець. Нині частина з них вступила в пору плодоношення і складає інтродукційну популяцію (15 особин).

P. dulcis: посівний матеріал отримано із м. Харків (інтернет-магазин «Лісосад»). Висіяно 20 кісточок, схожість 40%, отримано 8 сіянців.

б) Колекційна ділянка «Сад субтропічних плодкових культур»:

Висаджено: сіянцеві рослини *P. amara* у 2016 р. (пересаджені з розсадника на постійне місце зростання з порядковими номерами 10–5–1; 10–5–2; 10–5–3).

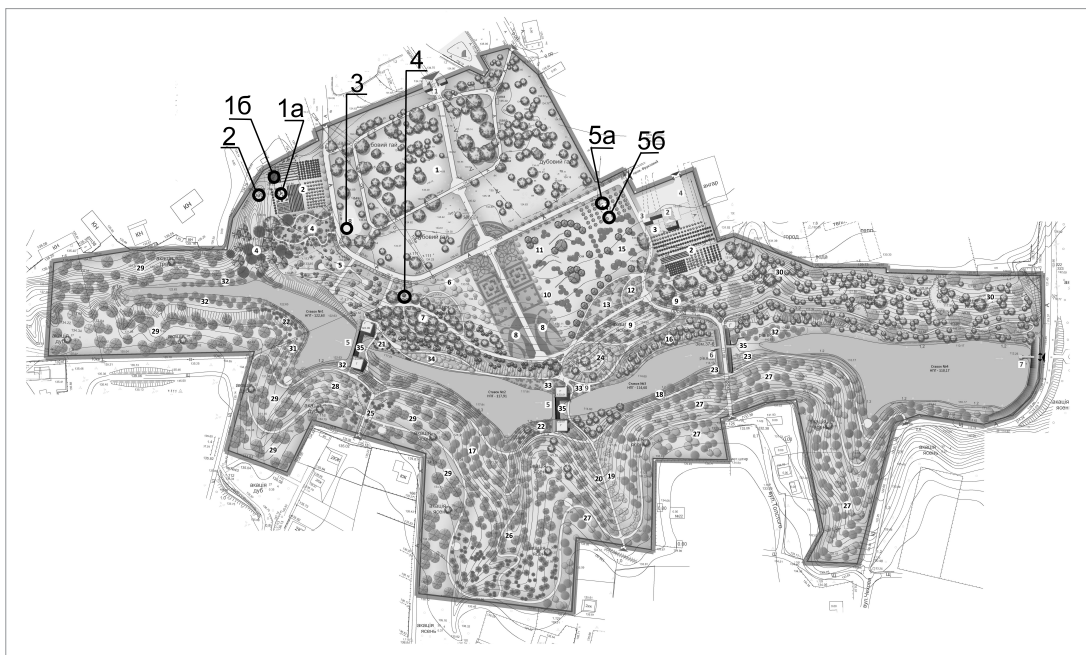


Рис. 1. Локації *P. dulcis* на території ХБС

Щеплено: 2021 р. – *P. dulcis* сорт ‘Десертний’, 2022 р. – *P. dulcis* сорт ‘Десертний’, 2023 р. – *P. dulcis* сорти ‘Первенець Храмова’, ‘Вайро’.

На даній локації *P. amara* плодоносять з 2016 року. В результаті дослідження насіння цього різновиду встановлено, що репродукція мобілізованого генетично однорідного насіння в процесі інтродукції дає значне розщеплення ознак утворенням нових адаптованих форм рослин з хорошими ростовими показниками та продукуванням виповненого доброякісного насіння і це має практичне значення для вирощування зимостійких підщеп [12].

P. dulcis на цій локації плодоносить з 2023 року (рис. 2–4, табл. 1).

Вихід ядра становить – 31,3%.



Рис. 2. Плодоношення *P. dulcis* сорт «Десертний». Локація 1, 2023 р.



Рис. 3. *P. dulcis* сорт «Десертний» (поз. 1 – кісточка; поз. 2 – оплодень)



Рис. 4. *P. dulcis* сорт «Десертний» (поз. 1 – кісточка; поз. 2 – насінина (ядро))

Середні розміри кісточки та насінини *P. dulcis* сорт 'Десертний' та їх маса

Розміри кісточки, мм			Маса, г		Розміри насінини, мм			Маса насінини (ядра), г
Довжина	Ширина	Товщина	Кісточка з оплоднем	Кісточка	Довжина	Ширина	Товщина	
44,0	26,0	15,0	12,8	6,4	29,0	16,0	9,0	2,0

Локація 2. За межами колекційної ділянки «Сад субтропічних плодових культур»:

Висаджено: сіянцеві рослини *P. amara* у 2016 р. (пересаджені з розсадника на постійне місце зростання).

Щеплено: 2023 р. – сорти 'Метеор', 'Бумажний'.

Локація 3. Колекційна ділянка «Дубовий гай»:

***P. amara*:** посівний матеріал отримано із м. Харків (інтернет-магазин «Лісосад»). Висіано у 2019 р. 158 кісточок, схожість 48,1%, отримано 76 сіянців.

Щеплено: 2023 р. – сорти 'Первенець Храмова', 'Вікторія'.

Локація 4. Колекційна ділянка «Райський сад»:

Висаджено: сіянцеві рослини *P. amara* у 2018 р. (пересаджені з розсадника на постійне місце зростання).

Щеплено: 2023 р. – сорт 'Метеор', форми Ф – 48, № 1 (плакучий).

Локація 5. Наукова зона, колекційна ділянка «Формовий плодовий сад»:

а) Розсадник колекційної ділянки «Формовий плодовий сад»:

***P. dulcis*:** посівний матеріал сорту 'Тонкокорий' отримано із м. Харків (інтернет-магазин «Лісосад») у кількості 30 кісточок. Висіано у 2021 р. 14 кісточок, схожість – 64,3%, отримано 9 сіянців.

б) Колекційна ділянка «Формовий плодовий сад»:

***P. amara*:** сіянцеві рослини у 2019 р. (пересаджені з розсадника на постійне місце зростання).

***P. dulcis*:** посівний матеріал сорту 'Тонкокорий' отримано із м. Харків (інтернет-магазин «Лісосад») у кількості 30 кісточок. Висіано на постійне місце зростання у 2021 р. в 1 ряд колекційної ділянки 16 кісточок, схожість 75%, отримано 12 сіянців; посадковий матеріал (2 саджанці) сорту 'Бумажноскорлупий' отримано із м. Молочанськ, Запорізької обл. (аматорський сад), висаджено у 2021 р. на постійне місце зростання (7, 8 ряд); пересаджено у 2022 р. сіянцеві рослини (2 сіянці) сорту 'Тонкокорий' з розсадника колекційної ділянки «Формовий плодовий сад» на постійне місце зростання (7, 8 ряд).

Щеплено *P. dulcis*: 2022 р. – 7, 8 ряд: сорт 'Десертний';

2023 р. – 7, 8 ряд: сорт 'Десертний';

2023 р. – 1 ряд: сорт 'Е5 Борозан'.

На даній локації культивуємо *P. dulcis* у рослин формуємо штучну чашоподібну крону із 3–4 скелетних гілок першого порядку без центрального провідника зі штамбом 80 см (рис. 5).



Рис. 5. Чашоподібна крона *P. dulcis*. Локація 5, ХБС, 22.11.2023 р.

Планована висота дерев – 4–4,5 м, діаметр крони до 3,5 м. Формування здійснюється способом обрізки.

Локація 6. Чорнобильський парк: Висаджено у 2016 році, нині 8 сіянцевих рослин *P. amara* мають вільноростучу природну форму, вони щорічно плодоносять. Найбільше дерево має висоту понад 4 м, діаметр штамбу біля кореневої шийки становить 16 см.

Локація 7. Прибудинкова територія, вул. Небесної Сотні, 114:

***P. dulcis*:** посівний матеріал сорту 'Десертний' отримано із м. Молочанськ, Запорізької обл. (аматорський сад). Висіано у 2014 р. 4 кісточка, схожість – 25%, отримано 1 сіянець.

Локація 8. Присадибна ділянка, вул. Л. Толстого, 6 Г, мікрорайон Заяр'є:

Висаджено: пересаджено з розсадника саду субтропічних плодових культур сіянцеву рослину *P. amara* у 2016 р.

Щеплено: 2023 р. – форма 1 – Д.

Висновки. У процесі інтродукції для освоєння (впровадження) *P. dulcis* у лісостеповій зоні України та з метою охоплення всіх аспектів культивування виду в змінених умовах середовища на території ХБС та за його межами закладено 8 дослідних локацій. Це дало можливість проводити комплексне

дослідження *P. dulcis*, адже кожна з локацій має різні мікрокліматичні умови, обумовлені мікромасштабними відмінностями земної поверхні усередині місцевого клімату.

Вагоме значення має створення дослідних локацій на прибудинкових територіях та присадибних ділянках, адже широке поширення виду на такі території позитивно впливатиме на самозабезпечення жителів населених пунктів цінною горіхо-

плідною продукцією, а у цьому сегменті ринку сприятиме й імпортозаміщенню.

У процесі інтродукційних досліджень у ХБС та за його межами насінневе розмноження виду забезпечило можливість отримати власні форми *P. amara* та *P. dulcis*, а залучення зимостійких і пізньоквітучих сортів спомогає створенню генетичного банку *P. dulcis*, а отже і запровадженню подальших адаптивних селекційних досліджень.

Література

1. Красовський В. В., Черняк Т. В., Федько Р. М. Перспективи використання мигдалю звичайного (*Amygdalus communis* L.) у лісостеповій зоні України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2016. № 4 (61). 15 с.
2. Красовський В.В., Черняк Т.В. Підходи до інтродукції мигдалю звичайного (*Amygdalus communis* L.) в Лісостеп України у Хорольському ботанічному саду. *Збереження рослин у зв'язку зі змінами клімату та біологічними інвазіями* : матеріали Міжнародної наукової конференції (м. Біла Церква, 31 березня, 2021 р.). Біла Церква: ТОВ «Білоцерківдрук», 2021. С. 79–82.
3. Красовський В. В. Первинне інтродукційне випробування *Amygdalus communis* L. у Хорольському ботанічному саду. *Актуальні проблеми озеленення населених місць : освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Біла Церква, 2014. С. 55–58.
4. Красовський В. В., Козлов А. В. Ботанічний сад у системі ландшафтної забудови міста Хорола : монографія. Полтава : Дивосвіт, 2018. 116 с.
5. Адаптація інтродукованих рослин в Україні: монографія / Д. Б. Рахметов та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2017. 516 с.
6. Збереження та збагачення рослинних ресурсів шляхом інтродукції, селекції та біотехнології : монографія / Т. М. Червченко та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 432 с.
7. Рахметов Д. Б. Сучасні проблеми інтродукції рослин в Україні. *Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції рослин у реаліях євроінтеграції* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю Національної академії наук України. Київ : Видавництво Ліра-К, 2018. С. 171–180.
8. Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції і збереження рослин у Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка НАН України : монографія / Н. В. Заїменко, Д. Б. Рахметов, М. Б. Гапоненко, М. І. Шумик та ін. Київ : Видавництво Ліра-К, 2022. 540 с.
9. Казас А. Н., Литвинова Т. В., Мязина Л. Ф. и др. Субтропические плодовые и орехоплодные культуры : научно-справочное издание. Симферополь : ИТ «Ариаль», 2012. 304 с.
10. Щепотьєв Ф. Л., Павленко Ф. А., Ріхтер О. А. *Горіхи*. Київ : Урожай, 1987. 184 с.
11. Методика проведення експертизи сортів рослин групи плодових, ягідних, горіхоплідних, субтропічних та винограду на придатність до поширення в Україні. Вид. 2-ге., випр. і доп. / відп. ред. С. О. Ткачик. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 85 с.
12. Красовський В. В., Черняк Т. В., Гапон С. В. Морфологічні ознаки кісточок та насіння гіркокого різновиду мигдалю звичайного (*Amygdalus communis* L. *forma amara* DS) інтродукованого в Хорольському ботанічному саду. *Біологія та екологія*. Полтава, 2020. Т. 6. № 1–2. С. 37–43.

УДК 712.41:712.253(477.60)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.32>

ЖИТТЄВИЙ СТАН ВИДІВ РОДУ АСЕР L. В УРБОСИСТЕМАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Суслова О.П., Бойко Л.І.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50000, м. Кривий Ріг
elenasuslova2901@gmail.com

Проведено дослідження видів роду Асер L. (*Acer platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. tataricum* L.) в парковому дендроценозі м. Покровськ. Визначено вік дерев, їх життєздатність, патологічні зміни крон та стовбурів, класи бонітету деревостану, розраховано відносний життєвий стан насаджень. Вік рослин встановлювали згідно обліковим записам комунального підприємства зеленого будівництва міста, а також візуально відповідно до їх загального стану та умов зростання. Життєздатність дерев встановлювали за 8-бальною шкалою Л.С. Савел'євої (1975). Бонітет визначали за віком і висотою рослин по таблиці, розробленій М.М. Орловим (1911). Для розрахунку відносного життєвого стану дерев використовували формулу В.А. Алексєєва (1989). За результатами досліджень в парковому насажденні представленість видів роду Асер коливається від 0,4% у *A. saccharinum* до 1,3% у *A. platanoides*. В дендроценозі переважають дерева віком 31–40 років. Значну кількість дерев (45,5%) оцінено вищими балами життєздатності (6–8). Найпоширеніші в насажденнях рослини, життєздатність яких становить 4–5 балів (48%). Дерев, що перебувають у критичному стані і потребують видалення (їхня життєздатність 1–3 бали) становлять 4,5%. Виявлено 2% сухих дерев. Визначено, що середня висота 20-річних дерев видів роду Асер, які віднесено до рослин першої величини (*A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*) становить 9,25±1,03 м, що відповідає високому класу бонітету (I). Дерев віком 30 і 40 років із середньою висотою 9,50±2,10 м і 10,7±2,64 м відповідно віднесено до невисокого класу (III), що свідчить про зниження бонітету насаджень із збільшенні віку рослин. В парковому дендроценозі виявлено патологічні зміни крон та стовбурів видів роду Асер, найбільшу кількість яких визначено у 20,9% дерев *A. saccharinum* та 11,2% – у *A. pseudoplatanus*; найменшу – у *A. tataricum* (5,3%). Серед порушень найпоширеніші розрідження крони (9%), засохлі скелетні гілки (8,8%), сухoverхість (6,5%). Розраховано відносний життєвий стан насаджень видів роду Асер в парковому дендроценозі, який за кількістю дерев дорівнює 50 умовним балам, що відповідає категорії «ослаблені». **Ключові слова:** степова зона України, парковий дендроценоз, життєздатність, відносний життєвий стан, бонітет насаджень, фаутистність крон і стовбурів.

Vital state of species of the genus *Acer* L. in the urban systems of the steppe zone of Ukraine. Suslova O., Boyko L.

We conducted a study of species of the genus *Acer* L. (*Acer platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. tataricum* L.) in the park dendroecenosis of Pokrovsk. The age of the trees, their vitality, the quality classes of the plantations, the pathological changes of the crowns and trunks were determined, and the relative vital state of the plantations was calculated. The age of the plants was determined according to the records of the city's green construction utility company, as well as visually according to their general condition and growth conditions. Plant viability was determined on the 8-point scale by L. S. Savelyeva (1975). The bonitet was determined by the age and height of the plants according to the table developed by M. M. Orlov (1911). To calculate the relative vital state of trees, we used the formula of V. A. Alekseev (1989). According to research results, the representation of species of the genus *Acer* in the parks of Pokrovsk varies from 0.4% in *A. saccharinum* to 1.3% in *A. platanoides*. The dendroecenosis is dominated by trees aged 31–40 years. A significant number of trees (45.5%) were assessed with higher viability scores (6–8). The most common in tree plantations, the viability of which is 4–5 scores (48%). Plants that are in a critical condition and need to be removed (their viability is 1–3 scores) make up 4.5% of trees. 2% of trees are dry. It was determined that the average height of 20-year-old trees of species of the genus *Acer*, which are classified as plants of the first size (*A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*) is 9.25±1.03 m, which corresponds to a high bonitet class (I). Trees aged 30 and 40 years with an average height of 9.50±2.10 m and 10.7±2.64 m, respectively, are classified as low class (III), which indicates a decrease in the quality of plantations with increasing plant age. In the park dendroecenosis, pathological changes in crowns and trunks of species of the genus *Acer* were detected, the largest number of which was determined in 20.9% for *A. saccharinum* trees and 11.2% for *A. pseudoplatanus*; the smallest one – for *A. tataricum* (5.3%). Among the violations, thinning of the crown (9%), dried skeletal branches (8.8%), dry tops (6.5%) are the most common. The relative vital state of species of the genus *Acer* in the park dendroecenosis was calculated, which in terms of the number of trees is equal to 50 conditional points, which corresponds to the “weakened” category. **Key words:** steppe zone of Ukraine, park dendroecenosis, viability, relative living condition, quality of plantations, faults of crowns and trunks.

Постановка проблеми. Кліматичні зміни, інтенсивне техногенне та рекреаційне навантаження призводять до передчасного старіння дерев, погіршення стану деревних насаджень в міських парках степової зони України і, як наслідок, до зниження їх санітарно-гігієнічних функцій та декоративності. Тому доцільно проводити моніторинг життєвого стану основних видів деревних рослин паркових

зон для визначення їх стійкості в певних екологічних умовах зростання, оптимального використання дендроресурсів та підтримання фіторізноманіття в урбодендроценозах.

Актуальність дослідження. Деревні насадження відіграють важливу роль в створенні комфортних умов існування населення, оскільки вони стабілізують мікроклімат, нейтралізують промислові та

автотранспортні викиди, знижують шум, насичують повітря киснем та фітонцидами, створюють кращі умови для рекреації. Однак, за наявності кліматичних змін в техногенно забруднених регіонах, деревні рослини підпадають під вплив високих температур, частих посух з одного боку і антропогенного навантаження з другого, що призводить до різних порушень у функціонуванні рослинного організму [1; 10; 11; 13]. Внаслідок порушень в рості і розвитку дерев відбувається їх ослаблення, пошкодження шкідниками, хворобами, передчасне старіння та всихання [8]. Виходячи з цього, актуальним є дослідження життєвого стану деревних рослин паркових дендроценозів за сучасних умов існування в урботехногенному середовищі з метою оптимізації використання паркоутворюючих видів деревних рослин.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями. Представлені результати є висновками в межах комплексної науково-дослідної роботи, що виконується у відділі інтродукції та акліматизації рослин Криворізького ботанічного саду НАН України за темою «Стійкість та адаптивна спроможність деревно-чагарникових рослин в умовах урбоекосистем Правобережного степового Придніпров'я у зв'язку з глобальними кліматичними змінами», державний номер реєстрації 0117U00082883.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Створення та утримання деревних насаджень в урбоекосистемах степової зони України передбачає комплексну оцінку їх життєвого стану, тому цим питанням присвячено значну кількість наукових праць. В наукових виданнях наведено результати досліджень урбодендроценозів в різних містах Правобережного Степу України. Встановлено життєвий стан деревних насаджень за морфофізіологічними показниками модельних дерев в міських парках м. Дніпро залежно від антропогенного навантаження та проведено порівняльний аналіз їх стану в різних умовах зростання [5]. Наведено результати досліджень деревних насаджень парку ім. Т.Г. Шевченка м. Запоріжжя, розраховано відносний життєвий стан деревостану та оцінено його як «здоровий» [9]. Проаналізовано фітосанітарний стан зелених насаджень м. Херсон та з'ясовано, що збільшення техногенного навантаження призводить до зниження життєздатності видів-ефікаторів [2]. Встановлено, що життєвий стан деревних рослин парків та скверів м. Кривий Ріг має значну розбіжність залежно від рекреаційного навантаження, високої щільності посадок і зімкненості крон, незадовільної агротехніки. Однак 80–90% досліджуваних дерев в парках та скверах міста мають задовільний життєвий стан [3; 7]. Щодо досліджень міських деревних паркових насаджень за умов Лівобережного Степу, то фахівцями наведено лише узагальнені дані з життєздатності дерев в парках промислових міст залежно від їх вікових категорій [12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значний доробок науковців з питань визначення життєвого стану деревних рослин паркових дендроценозів степової зони України, інформація із зазначених питань в міських насадженнях Лівобережного Степу майже відсутня. Виходячи з цього, метою наших досліджень було визначення життєвого стану основних паркоутворюючих видів деревних рослин в екологічних умовах Лівобережної степової зони України.

Наукова новизна. Вперше для екологічних умов північної частини Лівобережного степу України визначено життєздатність видів роду *Acer* в складі паркового дендроценозу промислового міста, розраховано їх відносний життєвий стан, оцінено бонітет деревостану та встановлено патологічні зміни крон та стовбурів зазначених видів.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом досліджень були чотири види роду *Acer* L. (*Acer platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. tataricum* L.) в дендроценозі парку «Ювілейний» м. Покровськ Донецької області. Обстежено 452 дерева. Вік рослин визначали згідно обліковим записам комунального підприємства зеленого будівництва міста, а також візуально відповідно до їх загального стану та умов зростання. Життєздатність рослин визначали за 8-бальною шкалою Л.С. Савел'євої [6]. При цьому враховували стан крони рослини (форма і щільність), характер і величину приросту пагонів, наявність ушкоджень кори стовбура, гілок, листя, обумовлених механічними чинниками, морозобоїнами, ураженням дерев різними захворюваннями і шкідниками. Бонітет визначали за віком і висотою рослин по таблиці, розробленій М.М. Орловим [9]. Для розрахунку відносного життєвого стану дерев використовували формулу В.А. Алексєєва [4]:

$$L_n = 100 \times n_1 + 70 \times n_2 + 40 \times n_3 + 5 \times n_4 / N,$$

де L_n – відносний життєвий стан деревостану, розрахований за кількістю дерев, n_1 – кількість абсолютно здорових, n_2 – помірно ослаблених, n_3 – сильно ослаблених, n_4 – відмираючих дерев; N – загальна кількість дерев разом із сухостоєм. При значеннях показника L_n 80–100 стан деревостану може бути оцінений як здоровий, непошкоджений; в межах 50–79 вважається ослаблений; 20–49 – сильно ослаблений; при 19 і нижче – майже зруйнований. Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою програми Excel.

Результати досліджень. Одне з провідних місць в озелененні урбанізованих територій степової зони України займають види роду *Acer*, оскільки вони швидкозростаючі, вітро- та посухостійкі, невибагливі до родючості ґрунту, стійкі до дії промислового забруднення. Це дає їм значну перевагу при створенні паркових дендроценозів в населених пунктах

промислових регіонів степової зони. Однак, в паркових насадженнях м. Покровськ представленість видів роду *Acer* незначна і коливається від 0,4% у *A. saccharinum* до 1,3% у *A. platanoides*. За нашими даними в насадженнях переважають дерева віком 31–40 років. Лише серед рослин *A. tataricum* найбільша кількість дерев перебуває у віковій категорії 21–30 років (табл. 1). Серед досліджуваних видів в насадженнях відсутні молоді дерева віком до 10 років та 11–20 років, що свідчить про невикористання їх в озелененні в останні десятиріччя. Оцінюючи життєздатність дерев, в парковому насадженні відмічено значну кількість рослин з вищими балами (6–8). До цієї групи віднесено 70% дерев *Acer platanoides*, 26% – *A. pseudoplatanus*,

44% – *A. saccharinum*, 53% – *A. tataricum*. Більша частка цих рослин знаходиться у віковій категорії 31–40 років. Серед дерев *Acer tataricum* найбільша кількість їх відповідає категорії 41–50 років. Поширені в дендроценозі дерева, життєздатність яких становить 4–5 балів. Серед них 28% дерев *A. platanoides*, 64% – *A. pseudoplatanus*, 52% – *A. saccharinum*, 45% – *A. tataricum*. Рослини, що перебувають у критичному стані і потребують видалення (їхня життєздатність 1–3 бали) становлять 1% дерев *A. platanoides*, 9% – *A. pseudoplatanus*, 2% – *A. saccharinum*, 2,1% – *A. tataricum*. В насадженнях також є сухі дерева, кількість яких коливається від 0,8% у *A. platanoides* і *A. pseudoplatanus* до 11,5% у *A. saccharinum*.

Таблиця 1

Розподіл дерев видів роду *Acer* L. за віком та життєздатністю в парковому дендроценозі м. Покровськ (%)

Життєздатність, бал	Вікові категорії, роки					Разом, %
	Трапляння, %					
	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	
<i>Acer platanoides</i> L.						
0	-	0	0	0	0,8	0,8
3	-	0	1	0	0	1
5	-	1	27,3	0	0	28,3
6	-	4,5	23,4	4,2	0	32,1
7	-	2	4	6,6	15,9	28,5
8	-	1	2,6	3,4	2,3	9,3
Всього		8,5	58,3	14,2	19	100
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.						
0	-	0	0	0	0,8	0,8
1	-	8	0	0	0	8
3	-	0	1	0	0	1
4	-	0,8	8	0	0	8,8
5	-	13,8	32,7	9	0	55,5
6	-	0	7	0	0	7
7	-	0	1	2,4	2,5	5,9
8	-	6,2	5,3	1	0,5	13
Всього		28,8	55	12,4	3,8	100
<i>Acer saccharinum</i> L.						
0	2	5,8	3,7	0	-	11,5
3	0	2	0	0	-	2
4	0	7,8	2	0	-	9,8
5	0	27,0	14,7	0	-	41,7
6	0	0	29	2	-	31
7	0	0	4	0	-	4
Всього	2	42,6	53,4	2		100
<i>Acer tataricum</i> L.						
2	-	0	2,1	0	-	2,1
4	-	0	3,2	0	-	3,2
5	-	42	0	0	-	42
6	-	1,1	9,6	0	-	10,7
7	-	0	0	42	-	42
Всього		43,1	14,9	42	-	100

За узагальненими нами даними найпоширеніші в дендроценозі і кількість дерева, життєздатність яких відповідає 5 балам життєздатності (44%), значна кількість – 6 балам (19,5%) та 7 балам (22,5%). Дерев з найвищим балам 8 становлять 3,5% від загальної кількості дерев видів роду *Acer*. Сильно пошкоджені та відмираючі рослини (1–3 бали) становлять лише 4,5%, а сухих дерев в насадженні 2% (рис. 1).

На основі даних, отриманих в результаті досліджень, розраховано відносний життєвий стан насаджень видів роду *Acer* (L_n) в парковому дендроценозі, який за кількістю дерев дорівнює 50 умовним балам, що відповідає категорії «ослаблені».

Для комплексної оцінки життєвого стану насаджень бажано враховувати їх бонітет, оскільки цей показник свідчить про ступінь відповідності умов зростання вимогам рослин для їх життя. Бонітет визначали, враховуючи вік та середню висоту трьох видів роду *Acer*, які формують в дендроценозі перший ярус і відносяться до дерев першої величини (табл. 2). За нашими підрахунками 6,5% досліджуваних дерев відповідають високим класам бонітету (Ia та I). Серед таких дерев відмічено 20-річні особини *Acer pseudoplatanus*, частка яких становить 4,1% (від всіх дерев виду) та 20- і 30-річні дерева *A. saccharinum* – 14% і 19,4% відповідно. Найпоширеніші в насадженнях дерева невисоких класів бонітету (II та III), частка яких становить 90%. До II і III класів віднесено 17,6% і 72% дерев *A. platanoides* (від загальної кількості дерев виду); 27% і 59,4% – *A. pseudoplatanus* та 22,2% і 44,4% – *A. saccharinum*. Низький клас бонітету (IV) визначено у 0,9% дерев (від загальної кількості досліджуваних рослин). Такі рослини відмічені серед 50-річних дерев *A. pseu-*

doplatanus (2,7% від загальної кількості рослин виду). В насадженнях зустрічаються дерева дуже низького класу бонітету (V), частка яких становить 2,6%. Серед них 0,8% 30-річних дерев *A. platanoides*, 6,8% – *A. pseudoplatanus* віком 60 років. В результаті аналізу отриманих даних встановлено, що середня висота 20-річних дерев видів кленів становить $9,25 \pm 1,03$ м, що відповідає I класу бонітету; дерев віком 30 років – $9,50 \pm 2,10$ м (III клас); 40-річні рослини досягають висоти $10,7 \pm 2,64$ м (III клас). Таким чином, клас бонітету кленових насаджень знижується зі збільшенням віку рослин.

Значну увагу при визначенні життєвого стану деревних рослин приділяють оцінюванню деревостану за патологічними змінами форми крон та стовбурів, оскільки ігнорування визначення і аналізу таких змін призводить до зниження об'єктивності одержуваних результатів. Відхилення від нормальної форми стовбура вважають фаутом. За нашими результатами серед досліджуваних видів виявлено низку фаутив крон і стовбурів (табл. 3). Фаутність представлена такими змінами: розрідження крони (9,5% від всіх досліджуваних дерев); багатостовбурність (2,2%); засохлі скелетні гілки (8,8%); суховерхість (6,5%); сухобочини (5,6%); морозобоїни та тріщини (5,6%); плодове тіла грибів (2,6%); капові нарости (1,8%); дупло в стовбурі (0,6%). Серед досліджуваних видів найбільшу фаутність виявлено у 20,9% дерев *Acer saccharinum*, найменшу – у *A. tataricum* (5,3%).

Висновки. За результатами досліджень в парковому дендроценозі м. Покровськ насадження видів роду *Acer* представлені різновіковими деревами, серед яких переважають 31–40-річні рослини. Бонітет 20-річних дерев оцінено як високий (I клас),

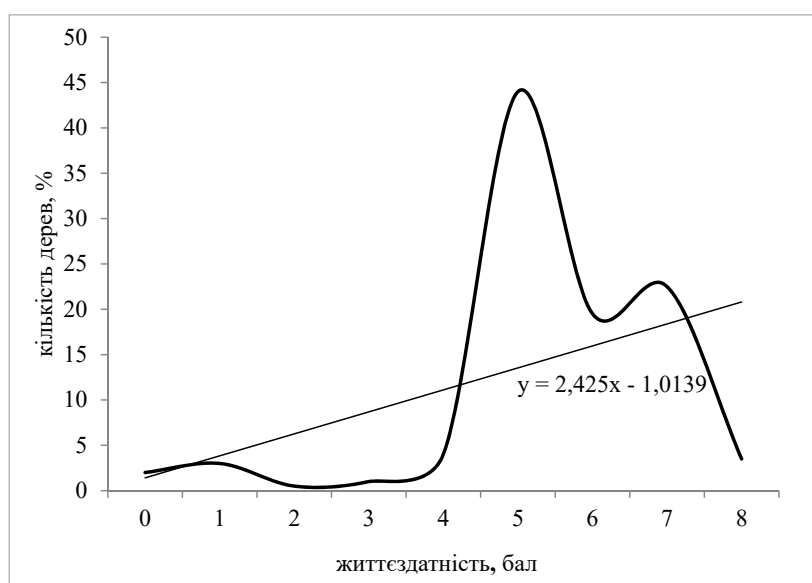


Рис. 1. Життєздатність видів роду *Acer* L. в парковому дендроценозі м. Покровськ

Таблиця 2

Розподіл дерев видів роду *Acer L.* за класами бонітету в парковому дендроценозі м. Покровськ

Вік, роки	Кількість дерев, шт.	Висота, м	Бонітет, клас	Частка від загальної кількості дерев виду (%)	Частка від загальної кількості досліджуваних дерев (%)
<i>Acer platanoides L.</i>					
20	11	7	II	9,6	4,9
30	9	10–11	II	8,0	4,0
	31	8–9	III	27,0	14,0
	1	5	V	0,8	0,4
40	11	11–12	III	9,6	4,9
50	52	14	III	45,0	23,0
<i>Acer pseudoplatanus L.</i>					
20	2	13	Ia	2,7	0,9
	1	8	I	1,4	0,4
	6	7	II	8,0	2,7
30	14	10	II	19,0	6,2
	29	9	III	39,1	13,0
40	13	10	III	17,6	5,8
50	2	13	III	2,7	0,9
	2	9–11	IV	2,7	0,9
60	5	9	V	6,8	2,2
<i>Acer saccharinum L.</i>					
20	5	9	I	14,0	2,2
30	7	13	I	19,4	3,0
	8	11	II	22,2	3,6
	3	9	III	8,3	1,3
40	13	12	III	36,1	5,8

Таблиця 3

Патологічні зміни крон і стовбурів видів роду *Acer L.* в парковому дендроценозі м. Покровськ (%)

Патологічні зміни	<i>Acer platanoides L.</i>	<i>Acer pseudoplatanus L.</i>	<i>Acer saccharinum L.</i>	<i>Acer tataricum L.</i>
Розрідження крони	1,2	2,4	4,9	1,0
Багатостовбурність	-	0,7	1,5	-
Засохлі скелетні гілки	0,7	2,0	5,8	0,3
Суховерхість	2,6	1,0	2,3	0,6
Сухобочини	0,6	2,8	1,4	0,8
Морозобоїни, тріщини	1,1	0,9	1,5	2,1
Плодові тіла грибів	-	0,6	1,7	0,3
Капові нарости	0,2	0,8	0,6	0,2
Дупло в стовбурі	0,4	-	1,2	-
Всього	6,8	11,2	20,9	5,3

проте з віком показник знижується до невисокого, що відповідає II і III класам. В парковому насадженні визначено патологічні зміни крон та стовбурів, найбільшу кількість яких виявлено у 20,9% дерев *A. saccharinum* та 11,2% – у *A. pseudoplatanus*. Найменша кількість порушень встановлена у *A. tataricum*,

частка яких становить 5,3% від загальної кількості дерев виду. Серед фаугів найпоширеніші розрідження крони (9%), засохлі скелетні гілки (8,8%), суховерхість (6,5%). Відносний життєвий стан дерев видів роду *Acer* в парковому дендроценозі визначено як «ослаблений».

Література

1. Боброва О.М., Лихолат Ю.В., Григорюк І.П., Серга А.І., Яворовський П.П. Активність антиоксидантних ензимів у листках різних видів рослин барбарису (*Berberis L.*) за дії важких металів. Наукові доповіді НУБіП. 2010. 5(10). С. 1–10.

2. Бойко Т.О. Фітосанітарний стан зелених насаджень м. Херсон. Науковий вісник НЛТУ України. 2020. 30(4). 67–72.
3. Данильчук Н.М., Юхименко Ю.С., Бойко Л.І. Рід Асер у зелених насадженнях Кривого Рогу. Науковий вісник НЛТУ України. 2022. 32 (4). 27–32.
4. Денисюк Н.В. Середовищевірна ефективність зелених насаджень загального користування міста Рівне: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Рівне, 2021. 327 с.
5. Іванченко О.Є., Бессонова В.П. Індикація життєвого стану деревних рослин парків м. Дніпропетровськ за морфофізіологічними показниками. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2016. 24 (1). 109–118.
6. Прокопук Ю.С. Кліматогенна варіація радіального приросту *Quercus robur* L. у біотопах заплави Дніпра в м. Києві: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Київ, 2019. 147 с.
7. Федоровський В.Д., Терлига Н.С., Юхименко Ю.С., Данильчук О.В., Данильчук Н.М., Лаптева О.В. Видовий склад та життєвий стан деревно-чагарникової рослинності парків та скверів м. Кривий Ріг. Інтродукція рослин. 2013. 3. 73–79.
8. Черномаз Н.М. Дендроценози схилів Києва (екологічні умови, сучасний стан та шляхи оптимізації). дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Київ, 2019. 234 с.
9. Яловенко А.С. Життєвий стан деревних насаджень парку ім. Т.Г. Шевченка м. Запоріжжя. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2011. 19 (1). 143–149.
10. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Sci. 2002. 7. 405–409.
11. Mund M., Kutsch W. L., Wirth C., Kahl T., Knohl A., Skomarkova M. V., Schulze E. D. The influence of climate and fructification on the interannual variability of stem growth and net primary productivity in an oldgrowth, mixed beech forest. *Tree Physiology*. 2010. 30(6). 689–704.
12. Suslova O., Polyakov O., Kharkhota L. Monitoring of the state of park tree stands in urban areas in the south-east of Ukraine. *Biologija*. 2013. 59 (1). 118.
13. Harfouche A., Meilan R., Alman A. Molecular and physiological responses to abiotic stresses in forest trees and their relevance to tree improvement. *Tree Physiology*. 2014. 34(11). 1181–1198.

УДК 581.9(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.33>

ЧАГАРНИКОВІ УГРУПОВАННЯ З УЧАСТЮ ГЛОДІВ

Фіцайло Т.В.

Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного Національної академії наук України
вул. Терещенківська, 2, 01601, м. Київ
tfitsailo@gmail.com

Чагарникові угруповання утворюють собою проміжну стадію заростання трав'янистих угруповань, що передують формуванню лісу. В північних районах, де переважає лісова рослинність, чагарникові угруповання представлені узлісними ценозами, займаючи плакорні позиції. При просуванні на південь спостерігається відокремлення від лісу чагарникових угруповань у вигляді останців та нових утворень посеред травянистих ценозів і приуроченість до схилів балок і ярів. У чагарникових угрупованнях України з переважною сталістю зустрічаються шість видів глоду: *Crataegus fallacina*, *C. laevigata*, *C. leiomonogyna*, *C. pseudokyrstostyla*, *C. praearmata*, *C. lipskyi*. В центральних регіонах Лісостепу ценози формують *C. leiomonogyna* та *C. fallacina*. На півдні ценози формуються з переважанням *C. pseudokyrstostyla* і частково *C. praearmata*. Досить чіткої диференціації не спостерігається, у всіх регіонах також присутні ценози з *C. leiomonogyna*, *Crataegus fallacina*, *C. pseudokyrstostyla*, хоча і з меншою сталістю. Ще досить значна група видів представлена в чагарникових ценозах Криму: *Crataegus microphylla*, *C. monogyna*, *C. orientalis*, *C. pentagyna*, *C. sphaenophylla*, *C. stevenii*, *C. ceratocarpa*, *C. taurica*. Проаналізовані геоботанічні описи, в яких переважають види глодів дали змогу ідентифікувати 15 асоціацій, які відносяться до трьох союзів класу Rhamno-Prunetea. На початку формування глодові комплекси монодомінантні без чітких ценотичних особливостей. У трав'яному покриві переважають злаки та ксеромезофітне різнотрав'я. Наступна стадія розвитку зумовлена появою *Euonymus europaea* (під наметом домінанта), і на периферії – *Rosa canina*, *R. dumalis* (у західних регіонах – *R. rubiginosa*). У зниженні ярів найчастіше з *Euonymus europaea* до складу угруповань входять *Sambucus nigra*, *Swida sanguinea*, *Rhamnus cathartica* і супутні трав'янисті нітрофіли. Подальший етап – це збільшення комплексності видового складу чагарникового ярусу. З найбільшою сталістю зустрічаються *Rubus caesius*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Spiraea hypericifolia*, *Genista tinctoria*, *Cerasus fruticosa*, *Lonicera tatarica* та поросль *Prunus stepposa*. В трав'яному покриві переважають лучно-степові види. **Ключові слова:** чагарникові угруповання, *Crataegus*, Rhamno-Prunetea.

Shrub communities with the participation of hawthorns. Fitsailo T.

Shrub communities form an intermediate stage of overgrowth of herbaceous communities, which precedes the formation of a forest. In the northern regions, where forest vegetation prevails, shrub communities are represented by forest edge coenoses, occupying sheltered positions. When advancing to the south, there is a separation of shrub growth from the forest in the area of remnants and new formations in the middle of grassy coenoses and limited to the slopes of gullies and ravines. In the shrub communities of Ukraine, six species of hawthorn are found with the majority of constancy: *Crataegus fallacina*, *C. laevigata*, *C. leiomonogyna*, *C. pseudokyrstostyla*, *C. praearmata*, *C. lipskyi*. In the central regions of the forest-steppe, *C. leiomonogyna* and *C. fallacina* form coenoses. In the south, coenoses are formed with a predominance of *C. pseudokyrstostyla* and partially *C. praearmata*. A fairly clear differentiation is not observed, in all regions there are also coenoses with *C. leiomonogyna*, *C. fallacina*, *C. pseudokyrstostyla*, although with less stability. Another fairly significant group of species is represented in the shrub coenoses of the Crimea: *Crataegus microphylla*, *C. monogyna*, *C. orientalis*, *C. pentagyna*, *C. sphaenophylla*, *C. stevenii*, *C. ceratocarpa*, *C. taurica*. The analyzed geobotanical descriptions, in which hawthorn species predominate, made it possible to identify 15 associations that belong to three associations of the Rhamno-Prunetea class. At the beginning of formation, hawthorn complexes are monodominant without clear coenotic features. The grass cover is dominated by cereals and xeromesophytic forbs. The next stage of development is due to the appearance of *Euonymus europaea* (under the tent of the dominant), and on the periphery – *Rosa canina*, *R. dumalis* (in the western regions – *R. rubiginosa*). In the lowering of ravines, most often, with *Euonymus europaea*, the groupings include *Sambucus nigra*, *Swida sanguinea*, *Rhamnus cathartica* and associated herbaceous nitrophils. The next stage is an increase in the complexity of the species composition of the shrub layer. *Rubus caesius*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Spiraea hypericifolia*, *Genista tinctoria*, *Cerasus fruticosa*, *Lonicera tatarica* and shoots of *Prunus stepposa* are most persistent. The grass cover is dominated by meadow-steppe species. **Key words:** shrub communities, *Crataegus*, Rhamno-Prunetea.

Постановка проблеми. Чагарникова рослинність за своїм походженням може бути представлена трьома типами: – узлісний тип (екотон між лісом і трав'янистими ценозами), який формується переважно лісовими чагарниками; – відокремлені чагарникові утворення (оточені луговими чи степовими угрупованнями), а також останцями лісових масивів (рис. 1).

Вважають, що угруповання з участю видів роду *Crataegus* є антропогенними – огорожі вздовж полів, садів [1, 2]. Можливо, це так і є для Західної Європи,

де і невелика різноманітність глоду, і інтенсивне використання сільськогосподарських земель призводить до зникнення низки природних екотопів.

Актуальність дослідження. Угруповання мають значне розповсюдження на нітрофікованих ґрунтах у зниженнях між схилами, на схилах з розвинутими ґрунтами. Утворюють собою проміжну стадію заростання трав'янистих угруповань, що передують формуванню лісу.

В Україні внаслідок політико-економічних змін змінилася інтенсивність використання земель,

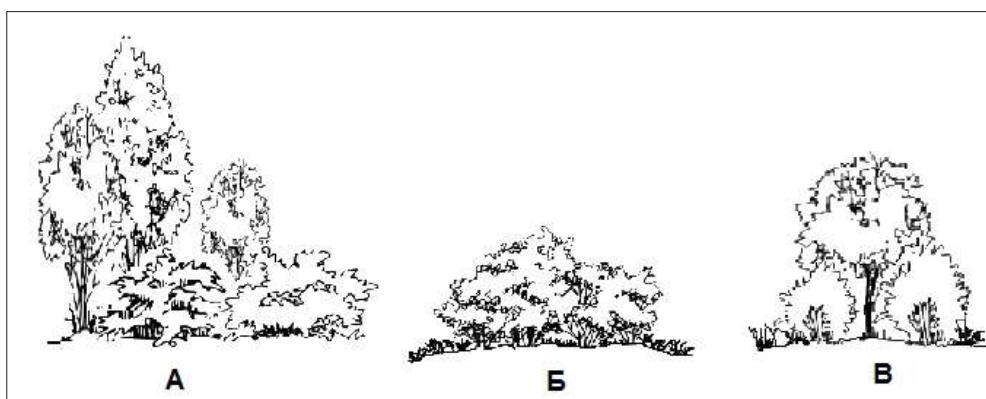


Рис. 1. Типи формування чагарникових угруповань:
А – узлісний, Б – відокремлені, В – останці

зокрема пасовищних. Розпочався процес заростання чагарниками лісових схилів яружно-балкових систем непридатних для сільськогосподарських робіт.

У чагарникових угрупованнях України з переважною сталістю зустрічаються шість видів глоду: *Crataegus fallacina*, *C. laevigata*, *C. leiomonogyna*, *C. pseudokyrstostyla*, *C. praearmata*, *C. lipskyi*. У центральних регіонах Лісостепу ценози формують *C. leiomonogyna* та *C. fallacina*. На півдні ценози формуються з переважанням *C. pseudokyrstostyla* і частково *C. praearmata*. На ділянках з більш багатими карбонатними ґрунтами ценози формують *C. praearmata*, *C. lipskyi* та *C. laevigata*. Звичайно, досить чіткої диференціації не спостерігається, у всіх регіонах також присутні ценози з *C. leiomonogyna*, *Crataegus fallacina*, *C. pseudokyrstostyla*, хоча і з меншою сталістю. Ще досить значна група видів представлена в чагарникових ценозах Криму: *Crataegus microphylla*, *C. monogyna*, *C. orientalis*, *C. pentagyna*, *C. sphaenophylla*, *C. stevenii*, *C. ceratocarpa*, *C. taurica*.

Матеріали і методи роботи. Проаналізовано близько 5000 геоботанічних описів з власної бази даних сформованої в TURBO(VEG) [3]. За основу ми взяли класифікацію рослинності, наведену у «Продромусі рослинності України» [4]. Окрім того, враховано синтаксономічні побудови провідних європейських фітоценологів [5, 6]. Види рослин подано за визначником рослин [7]. Для аналізу участі глодів у формуванні синтаксонів використовувався метод Тюксена-Елленберга, а саме величина G – частка групи видів в асоціації:

$$G (\%) = g \cdot 100 / t,$$

де g – сума участі видів групи, t – сума участі всіх видів в синтаксоні [8].

Далі у тексті величину G називаємо «вага», роль або участь групи видів. Для з'ясування факторів диференціації угруповань з участю глодів ми використали метод зміщеного аналізу співвідношень у програмі PAST.

Виклад основного матеріалу. Синтаксономічний статус глодових угруповань досить складний. Вони тривалий час свого розвитку залишаються монодо-

мінантними без чітких ценотичних особливостей. У трав'яному покриві в цьому випадку переважають злаки та ксеромезофітне різнотрав'я (*Bromus japonicus*, *B. mollis*, *Poa angustifolia*, *Potentilla argentea*, *Artemisia dniproica*). Видова насиченість таких цінозів становить від 12 до 21 виду.

Наступна стадія розвитку зумовлена появою *Euonymus europaea* (під наметом домінанта), і на периферії – *Rosa canina*, *R. dumalis* (у західних регіонах – *R. rubiginosa*). У зниженні ярів найчастіше з *Euonymus europaea* до складу угруповань входять *Sambucus nigra*, *Swida sanguinea*, *Rhamnus cathartica*. І супутні трав'янисті нітрофіли – *Galium aparine*, *Geum urbanum*, *Urtica dioica*. Видова насиченість – 8–17 видів. Участь чагарників (крім глоду) – 20–30%.

Подальший етап – це збільшення комплексності видового складу чагарникового ярусу. З'являються нанофанерофіти, які зникають намет сформований глодом, жостером (*Rhamnus cathartica*) с трав'янистим покривом. З найбільшою сталістю зустрічаються *Rubus caesius*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Spiraea hypericifolia*, *Genista tinctoria*, *Cerasus fruticosa*, *Lonicera tatarica* та поросль *Prunus stepposa*. В трав'янистому покриві переважають лучно-степові види – *Fragaria viridis*, *Agrimonia eupatoria*, *Teucrium chamaedrys*, *Medicago romanica*. Максимальна видова насиченість (до 15 видів) у формуванні чагарникового ярусу спостерігається в угрупованнях, які приурочені до карбонатних ґрунтів. Крім домінуючого виду глоду, інші чагарники становлять близько 50% чагарникового намету. Багатовидовий (15–25 видів) трав'яний покрив сформований мезоксерофітним різнотрав'ям з незначною участю ксеромезофітів.

Проаналізовані геоботанічні описи, в яких переважають види глодів дали змогу ідентифікувати 15 асоціацій, які відносяться до трьох союзів класу Rhamno-Prunetea Rivas Goday et Borja Carbonell ex Tx. 1962 [4]:

союз Berberidion Br.-Bl. 1950

ас. Sambuco-Prunetum Doing 1962,

ас. Corno-Prunetum spinosae (R.Tx. 1952) Wittig 1975,

ас. *Rhamno-Cornetum sanguineae* Passarge (1957) 1963

ас. *Ligustro-Prunetum* R.Tx. 1952,

ас. *Pruno-Coryletum* Jurko 1974

ас. *Corno (maris)-Crataegetum taurici* Fitsailo 2021

ас. *Bromopsidoso (cappadocicae)-Cotoneastretum (taurici)* Fitsailo 2021

союз *Prunion spinosae* Soo (1931) 1940

ас. *Prunetum spinosae* Tx. 1952

ас. *Swido sanguinei-Crataegetum leiomonogynae* Fitsailo 2005,

ас. *Agrimonia eupatoria-Crataegetum leiomonogynae* Fitsailo 2005,

ас. *Roso-Crataegetum fallacini* Fitsailo 2006;

союз *Lamio purpureae-Acerion tatarici* Fitsailo 2007

ас. *Lamio purpurei-Rhamnetum* Fitsailo 2007

ас. *Potentillo sulfureae-Aceretum tatarici* Fitsailo 2007

ас. *Aceri tatarici-Cotinetum coggygriae* Fitsailo 2007

ас. *Ligustro-Aceretum tatarici* Fitsailo 2007

Асоціація ***Sambuco-Prunetum spinosae***.

Угруповання зустрічаються вздовж полів і лук, по днищах ярів, на рудеральних ектопах. Чагарниковий ярус формують *Sambucus nigra*, *Swida sanguinea*, *Crataegus leiomonogyna*, *Rhamnus cathartica*. У трав'яному покриві крім типових для цих угруповань сціофітів і нітрофілів *Geranium divaricatum*, *Geum urbanum*, *Urtica dioica*, *Galium aparine* також присутні, в незначній кількості, лучно-степові геліофіти *Agrimonia eupatoria*, *Lavatera thuringiaca*, *Hypericum perforatum*. Ділянки із ценозами цієї асоціації займають незначні площі, але поширені майже в усіх регіонах України.

Угруповання асоціації ***Corno-Prunetum spinosae*** ектопічно займають галявини біля лісових цінозів класу *Quercus-Fagetum* або ділянки галявин посеред лісу з чагарниковими острівцями. Чагарниковий склад цих угруповань у переважній більшості складається з діагностичних видів: *Viburnum lantana*, *Rosa dumalis*, *Crataegus praermata*, *Swida sanguinea*. У трав'яному ярусі переважають узлісні та лучно-степові види (*Medicago romanica*, *Agrimonia eupatoria*, *Filipendula vulgaris*, *Fragaria viridis*). У трав'яному ярусі відзначається значне панування термофільних узлісних видів класу *Trifolio-Geranietae*. Поширення ценози мають у Тернопільській, Хмельницькій та Вінницькій областях.

Асоціація ***Rhamno-Cornetum sanguinei*** – це угруповання відмежовані від лісових масивів і повністю оточені лучно-степовими ценозами класу *Festuco-Brometea*, тож до флористичного складу асоціації входить значна частка лучно-степових видів. Чагарниковий ярус формують *Ligustrum vulgare*, *Swida sanguinea*, *Euonymus europaea*, *Rubus caesius*. Угруповання виступають на глинистих або лесових ґрунтах, часто з підстилаючим вапном. Це угруповання «паркового» типу з переважанням *Crataegus praermata*, *Berberis vulgaris* в чагарниковому ярусі.

Присутні також *Fraxinus excelsior* та *Rhamnus cathartica*, *Rosa volhynensis*. В трав'янистому ярусі переважають лучно-степові види: *Vupleurum falcatum*, *Stachys recta*, *Asyneuma canescens*, *Campanula bononiensis*, *Thalictrum minus*. Дана асоціація поширена на Поліссі та в Лісостеповій зоні.

Асоціація ***Ligustro-Prunetum***. Мезофітні угруповання, у чагарниковому ярусі яких крім діагностичних видів (*Ligustrum vulgare*, *Euonymus europaea*, *Prunus spinosa*, *Crataegus praermata*, *Swida sanguinea*, *Rubus caesius*) також є *Juniperus communis*, *Viburnum lantana*, *Chamaecytisus ruthenicus*. Ці угруповання відмежовані від лісових масивів і повністю оточені степовими цінозом класу *Festuco-Brometea*, тому до флористичного складу асоціації входить значна частина лучно-степових видів. Поширені спорадично в лісостеповій зоні.

Асоціація ***Pruno-Coryletum*** – мезофітні геміокеанічні угруповання, що формуються на відслоненнях карбонатних порід. Чагарниковий ярус утворюють *Ligustrum vulgare*, *Swida sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Corylus avellana*, *Crataegus leiomonogyna*. Трав'яний ярус сформован степовими видами класу *Festuco-Brometea* і узлісні види класу *Trifolio-Geranietae* із незначною участю рудеральних видів класу *Artemisietea vulgaris*. Угруповання з ліщиною виступаючи як узлісні ценози зустрічаються біля підніжжя горбів, обабіч доріг спорадично в західних регіонах України.

Асоціація ***Corno (maris)-Crataegetum taurici***. Чагарниковий ярус угруповань сформований, *Cornus mas*, *Crataegus taurica*, *Rosa corymbifera*, також *Cotinus coggygria*, *Prunus stepposa*, *Rosa rubiginosa* із незначною домішкою *Ligustrum vulgare*, *Rhamnus cathartica*, *Crataegus microphylla*, *C. stevenii*, *Rosa jundzillii*. У трав'яному покриві переважають *Paeonia tenuifolia*, *Filipendula vulgaris*, трохи меншу участь у формуванні ценозів беруть *Medicago romanica*, *Agrimonia eupatoria*, *Origanum vulgare*. Угруповання переважно поширені в Південно-Східного Криму на ділянках з бурими карбонатними кам'янисто-щебенистими і темно-сірими карбонатними ґрунтами [9].

Угруповання асоціації ***Bromopsidoso (cappadocicae)-Cotoneastretum (taurici)*** поширені на ділянках з гірськими еродованими ґрунтами в Південно-Східного Криму [9]. Чагарниковий ярус формують *Cotoneaster tauricus*, *Rosa canina*, *Crataegus ceratocarpa* із незначною участю *Cotinus coggygria*, *Pyrus elaeagnifolia*, *Rosa rugosa*. Трав'яний покрив формують *Bromopsis cappadocica*, *Teucrium chamaedrys*, *Medicago romanica*, *Asparagus verticillatus*, *Melica transsilvanica*, *Dactylis glomerata*, *Phlomis taurica*.

Асоціація ***Prunetum spinosae***. Угруповання формуються звичайно по більш-менш змитих ґрунтах лесових порід схилів балок У чагарниковому ярусі винятковим пануванням користується *Prunus spinosa*, *P. stepposa*, із домішкою *Rosa canina*, *Swida sanguinea*, *Rosa sp.*, *Crataegus leiomonog-*

уна, *C. fallacina*, *C. curvisejala*, *Rhamnus cathartica*. Зімкнутість чагарникового ярусу коливається від 0,5 до 1,0, в залежності від цього і проективне покриття травостою коливається від 5% до 80%. Значна роль в трав'янистому ярусі належить ксеромезофільним видам класів Festuco-Brometea та Trifolio-Geranietea. В Україні угруповання цього союзу є типовими для лісостепової та степової зон.

Асоціація **Swido sanguinei-Crataegetum leiomonogynae**. Угруповання приурочені до лесових схилів різної експозиції, на змитих чорноземних ґрунтах. Трав'яний покрив розріджений, переважають лучно-степові та узлісні види: *Agrimonia eupatoria*, *Poa compressa*, *Teucrium chamaedrys*, *Origanum vulgare*, *Vicia tetrasperma* та ін. У чагарниковому ярусі переважають *Swida sanguinea*, *Crataegus leiomonogyna*, *Prunus spinosa*, *Ligustrum vulgare*, незначну участь беруть *Acer tataricum*, *Rosa canina*, *Rubus caesius*, *Pyrus communis*. Асоціація зустрічається спорадично лісостеповій зоні.

Угруповання асоціації **Agrimonio eupatoriae-Crataegetum leiomonogynae** має значне поширення в лісостеповій зоні на деградованих ґрунтах яружно-балкових систем. У чагарниковому ярусі, крім діагностичних видів (*Crataegus leiomonogyna*, *Agrimonia eupatoria*, *Origanum vulgare*, *Rosa canina*), зустрічаються *Prunus spinosa*, *Ligustrum vulgare*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Rhamnus cathartica*. Трав'яний ярус формуваний лучно-степовими та узлісними видами.

Асоціація **Roso-Crataegetum fallacini** формується на звичайних безкарбонатних середньопотужних малогумусних чорноземах на елювії граніту у відділенні Кам'яні Могили Українського степового заповідника. В чагарниковому ярусі крім типових для Rhamno-Prunetea *Prunus stepposa*, *Rhamnus cathartica* спостерігається значне панування *Crataegus fallacina* та де-кількох видів *Rosa* (*Rosa canina*, *R. lapidosa*, *R. subpygmaea*). Також тут присутні *Amygdalus nana*, *Rubus caesius*, *Ligustrum vulgare*, *Euonymus europaea*, *Crataegus pentagyna*. Травостій відрізняється досить значною гетерогенністю – когломерат лучно-степових і бур'янистих видів.

Асоціація **Lamio purpureae-Rhamnetum catharticae**. Угруповання формуються в нижніх частинах схилів, між великими шматками гранітних порід. Через значну затіненість, вологість субстрату та потужний антропогенний тиск вміст азотних сполук у ґрунті збільшується, що сприяє зростанню *Lamium purpureum*, *Sambucus nigra*, *Galium aparine*, *Chelidonium majus*, *Geum urbanum*, *Acer negundo*. Поширені ці угруповання в південно-західних областях (до кордону з Молдовою) – по берегах річок Південний Буг, Синюха, Чорний Ташлик, їхнє поширення тісно пов'язане з виходами кристалічних порід.

Асоціація **Poterrilla sulfureae-Aceretum tatarici**. Для цієї асоціації характерна значна участь лучно-степових, степових видів. Угруповання мають

нечітку вертикальну диференційованість чагарникового ярусу (висота коливається від 0,8 до 4,5 м). Крім *Crataegus leiomonogyna*, *Acer tataricum* та *Rosa canina*, інші чагарники трапляються досить зрідка, але типовим представником є *Pyrus communis*. Поширені ці угруповання, як і попередня асоціація по берегах річок Південний Буг, Синюха, Чорний Ташлик.

Асоціація **Acer tatarici-Cotinetum coggygiae**. Угруповання є комплексом геміксерофітних, геліофітних та неморальних мезофітних елементів. Найчастіше трапляються на південних та південно-західних схилах з виходами кристалічних відслонень. Фрагментарно поширені в північній частині степової зони. Чагарниковий ярус розріджений, крім *Cotinus coggygia* та *Acer tataricum*, досить бідно представлений (*Rosa canina*, *Prunus stepposa*, *Rhamnus cathartica*, *Crataegus leiomonogyna* виявлені поодинокі). Трав'яний покрив негустий, доміанти погано виражені, досить щільним ядром є *Galium aparine*, *Chelidonium majus*, *Geum urbanum*.

Асоціація **Ligustro vulgaris-Aceretum tatarici**. Ці угруповання значно успадковують риси лісового ценозу, впритул до якого розміщені. Тут простежено виняткове панування лісових видів із незначною часткою узлісних видів. У чагарниковому ярусі, крім *Ligustrum vulgare*, *Crataegus fallacina*, *Acer campestre*, *Fraxinus excelsior juv.* є також *Rhamnus cathartica*, *Sambucus nigra*, *Viburnum lantana*, *Swida sanguinea*, *Euonymus europaea*, *Rosa corymbifera*. Поширена асоціація на півдні Лісостепу та півночі степової зони.

На основі методу зміщеного аналізу співвідношень визначили, що диференціюючими факторами досліджених угруповань є особливості формування ценозів (рис. 2). Більшість угруповань – це відокремлені від лісу, оточені лучно-степовим травостоєм ценози.

До узлісних відійшли Corno-Prunetum spinosae, Ligustro-Prunetum, Pruno-Coryletum. А «останцями», як це і було відзначено при їх виділенні, угруповання союзу Lamio purpureae-Acerion tatarici – Lamio purpurei-Rhamnetum, Potentillo sulfureae-Aceretum tatarici, Aceri tatarici-Cotinetum coggygiae, Ligustro-Aceretum tatarici.

«Вага» глідів у формуванні чагарникових угруповань загалом незначна, але з поміж досліджених ценозів участь глідів більша в Bromopsidoso (carpadoicae) – Cotoneastretum (tatarici) (8,3%), Roso-Crataegetum fallacini (6,3%), Potentillo sulfureae-Aceretum tatarici (7,4%), Ligustro-Aceretum tatarici (7,7%).

Головні висновки. Види глуду найбільше представлені в чагарникових угрупованнях союзу Berberidion – сім асоціацій, в складі яких відмічено 11 видів – *Crataegus praearmata*, *C. taurica*, *C. cerasotocarpa*, *C. leiomonogyna*, *C. curvisejala*, *C. laevigata*, *C. microphylla*, *C. monogyna*, *C. orientalis*, *C. sphaenophylla*, *C. stevenii*. В союзах Prunio spinosae та Lamio purpureae-Acerion tatarici види глуду трапляються

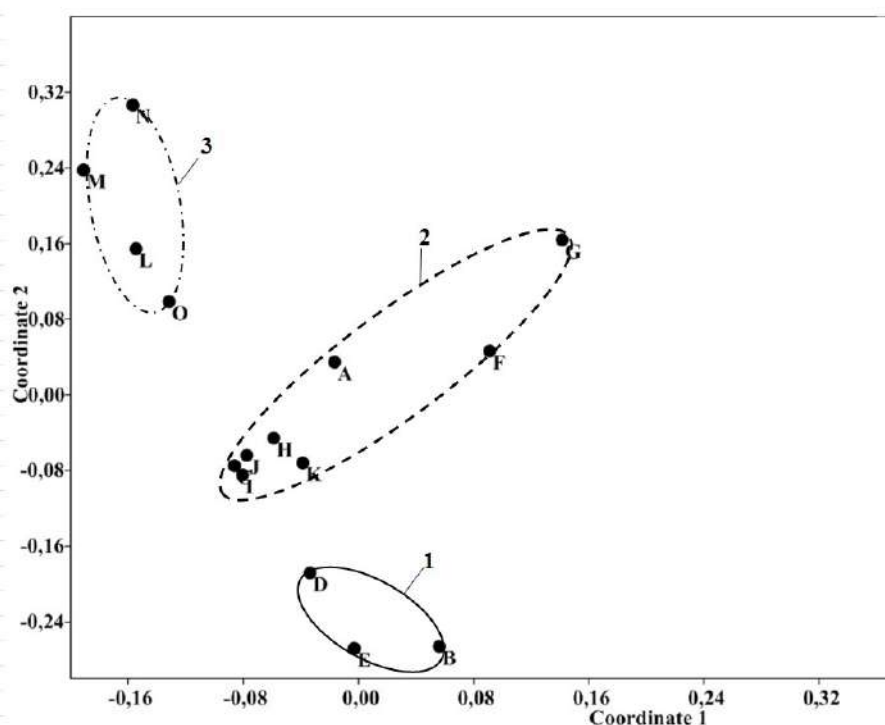


Рис. 2. Ординаційна діаграма методу зміщеного аналізу співвідношень (DCA) для чагарникових угруповань з участю глодів (A – *Sambuco-Prunetum*, B – *Corno-Prunetum spinosae*, C – *Rhamno-Cornetum sanguineae*, D – *Ligustro-Prunetum*, E – *Pruno-Coryletum*, F – *Corno (maris)-Crataegetum taurici*, G – *Bromopsidoso (cappadocicae)-Cotoneastretum (taurici)*, H – *Prunetum spinosae*, I – *Swido sanguinei-Crataegetum leiomonogynaе*, J – *Agrimonio eupatoriae-Crataegetum leiomonogynaе*, K – *Roso-Crataegetum fallacini*, L – *Lamio purpurei-Rhamnetum*, M – *Potentillo sulfureae-Aceretum tatarici*, N – *Aceri tatarici-Cotinetum coggygriae*, O – *Ligustro-Aceretum tatarici*; 1 – узлісні угруповання, 2 – відокремлені від лісу, 3 – останці).

в чотирьох асоціаціях, кількість видів відповідно 5 (*Crataegus fallacina*, *C. leiomonogyna*, *C. curvisepala*, *C. pentagyna*, *C. praearmata*) і 4 (*Crataegus fallacina*, *C. praearmata*, *C. leiomonogyna*, *C. curvisepala*). За типом формування більшість це угру-

повання «паркового» типу – відокремлені від лісу, оточені лучно-степовим травостоем ценози. Участь глодів у формуванні чагарникових угруповань більша в *Bromopsidoso (cappadocicae)-Cotoneastretum (taurici)* (8,3%).

Література

1. Wojterska, M. Mezofilne zbiorowiska zaroslowe Wielkopolski. Prace Komisji biologicznej PTPN, 1990. Tom LXXII. 128 p.
2. Tuxen, R. Hechen und Gebusche. Mitt. geogr. Ges. (Hamburg), 1952. Vol. 50. S. 85–117.
3. Hennekens S.M., Schaminée J. H.J. TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. Journal of Vegetation Science. 2001. No12. P. 589–591.
4. Продромус рослинності України / Дубина Д. В., Дзюба Т. П., Смельянова С. М. [та ін.]. Київ: Наукова думка, 2019. 783 с.
5. De Foucault B., Julve Ph. Syntaxonomie des communaute's arbustives des *Rhamno catharticae-Prunetea spinosae* Rivas-Goday & Borja-Carbonell 1961 en Europe. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich. 2001. Vol. 138. S. 177–243.
6. 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.
7. *Визначник рослин України*. Київ: Урожай, 1965. 878 с.
8. Tüxen R. Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. Mitteilungen der Floristisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft. 1937. Vol. 3. P. 1–170.
9. Фіцайло Т.В. Термофільні чагарникові угруповання Південно-Східного Криму Екологічні науки. Випуск 3 (36), 2021. С. 104–110.

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 504.064.2.001.18

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.34>

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МЕТОДАХ БІОІНДИКАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРИКЛАДІ CHAT GPT ТА MS COPILOT

Кононов О.О.

Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя
konondx@gmail.com

Робота присвячена вирішенню проблем технологічного розвитку та пошуку сучасних перспективних рішень у галузі охорони навколишнього природного середовища. Сучасні інформаційні технології розвиваються кожен рік, тому впровадження їх у системи біоіндикації та моніторингу довілля є шляхом, який дасть спеціалістам-екологам, науковцям та майбутнім екологам нові можливості у сфері їх діяльності. Також важливо зазначити, що зараз активно використовуються сучасні досягнення людства у сфері моніторингу довкілля. Так, можна відзначити супутниковий моніторинг, моніторинг з використанням безпілотних літальних апаратів, а також активне використання комп'ютерних технологій, тому розглядання можливості впровадження штучного інтелекту у системи біоіндикації та моніторингу є актуальною на сьогодні темою. Штучний інтелект є одним з останніх досягнень у розвитку сучасного суспільства, тому його впровадження у сферу екології може допомогти з тим проблемами довкілля, з якими зараз стикається суспільство, знайти нові шляхи вирішення, а також використовувати досягнення інших галузей наук для розробки нових систем охорони навколишнього середовища та покращення старих. Chat GPT, розроблений компанією OpenAI, яка є одною з провідних компаній-розробників у сфері штучного інтелекту [3] є яскравим прикладом штучного інтелекту, який доступний для будь-якого користувача. Ним активно користуються в галузі IT, в мистецтві, а також маркетингу. Сьогодні за його допомогою створюється код для програм, сайтів. Ідеї, які він генерує для творчих задач можуть використовуватись для створення зображень, відеоматеріалів, а можливі варіанти, які він пропонує для спеціалістів з товарообігу та маркетингу впроваджуються під час створення проектів чи стартапів. MS Copilot [4] є більш сучасним застосунком, розробленим компанією Microsoft та побудованим на базі OpenAI GPT-4, але менш популярним застосунком, але його функціонал також можна використовувати у вирішенні проблем біоіндикації довкілля. Також існують й інші застосунки, побудовані на базі штучного інтелекту, але їх функціонал не здатний розглядати проблеми, пов'язані з охороною довкілля та екологією на сьогодні. *Ключові слова:* біоіндикація, моніторинг довкілля, штучний інтелект.

The use of artificial intelligence in methods of bioindication and monitoring of anthropogenic load on the example of Chat GPT and MS Copilot. Kononov O.

The work is dedicated to solving the problems of technological development and finding modern promising solutions in the field of environmental protection. Modern information technologies are developing every year, so their introduction into bioindication and environmental monitoring systems is a way that will give ecologists, scientists and future ecologists new opportunities in their field of activity. It is also important to note that modern human achievements in the field of environmental monitoring are now being actively used. Thus, we can note satellite monitoring, monitoring using unmanned aerial vehicles, as well as the active use of computer technologies, therefore considering the possibility of introducing artificial intelligence into bioindication and monitoring systems is a relevant topic today. Artificial intelligence is one of the latest achievements in the development of modern society, so its implementation in the field of ecology can help with the environmental problems that society is currently facing, find new ways to solve them, and also use the achievements of other fields of science to develop new environmental protection systems and improving old ones. Chat Chat GPT, developed by OpenAI, which is one of the leading developers in the field of artificial intelligence [3] is a vivid example of artificial intelligence that is accessible to any user. It is actively used in the field of IT, art, and marketing. Today, it is used to create code for programs and websites. The ideas it generates for creative tasks can be used to create images, video materials, and the possible options it offers for sales and marketing specialists are implemented during the creation of projects or startups. MS Copilot[4] is a more modern application developed by Microsoft and built on the basis of OpenAI GPT-4, but a less popular application, but its functionality can also be used in solving environmental bioindication problems. There are also other applications built on the basis of artificial intelligence, but their functionality is not able to consider the problems related to environmental protection and ecology today. *Key words:* bioindication, environmental monitoring, artificial intelligence.

Постановка проблеми. Відомо, що розвиток будь-якої наукової діяльності пов'язаний з розвитком технології. Таким чином, сфера екології та охорони навколишнього природного середовища активно користується сучасними досягненнями людства.

Серед них супутниковий моніторинг довкілля, електричні прилади для вимірювання забруднень, а також потужні комп'ютери для виконання розрахунків збитків, заданих людською діяльністю природньому середовищу, а також технологій для прогнозування

подальшого стану довкілля. Але будь-яка діяльність людини залежить від «людського» фактору, що інколи дає неточні або ж неправильні дані. Для біоіндикації великою проблемою є значна похибка при отриманні результатів дослідження, а також неможливість урахування дії тих забрудників, які не вимірюються біоіндикатором. Тому, на нашу думку, використання штучного інтелекту під час використання методів біоіндикації надасть змогу вирішити ці проблеми без залучення коштовних інструментальних методів дослідження стану довкілля.

Актуальність дослідження. Дослідження тісно пов'язане з розвитком штучного інтелекту, як одного з сучасних винаходів людства, тому впровадження штучного інтелекту в екологічну сферу є актуальним питанням сьогодні, бо його розвиток може надавати нові ідеї для вирішення існуючих проблем біоіндикації, а також розвитку цього напрямку, як складової моніторингу довкілля. Також варто зазначити, що через військові дії на деяких ділянках проводити біоіндикацію неможливо, або становить велику загрозу для життя людини, тому використання ШІ надає змогу спостерігати за станом довкілля без ризику для життя.

Зв'язок авторських доробок з важливими науковими й практичними задачами. Результати праці можуть використовуватися при оцінці навколишнього природного середовища за допомогою методів біоіндикації, де штучний інтелект зможе взяти на себе розрахункові та аналітичні функції, що дозволить екологу зосередитися на інших аспектах визначення забруднення, збільшення обсягу об'єктів біоіндикації або ж перевірки додаткових чинників забруднення довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ChatGPT – це чат-бот, запущений компанією OpenAI у листопаді 2022 року, який являє собою комбінацію великої статистичної моделі мови та штучного інтелекту. Він побудований на базі сімейства великих мовних моделей GPT-4 від OpenAI і вдосконалюється за допомогою методів керуваного навчання та навчання з підкріпленням. Прототип ChatGPT дебютував 30 листопада 2022 року і незабаром привернув увагу всього світу своїми ґрунтовними відповідями та чіткими відповідями з багатьох галузей знань. Важливим недоліком було визнано його неоднорідну фактологічну точність. ChatGPT працює на основі використання алгоритмів машинного навчання для аналізу тексту, що вводиться, і генерування відповідей [1]. Одним із ключових чинників, що визначають успіх ChatGPT, є якість запитів, які використовуються для ініціювання та ведення бесіди. Продумані та якісно сформульовані запити для ChatGPT допомагають стежити за тим, щоб розмова не відхилилася від теми й охоплювала самі ті аспекти конкретного питання, які цікавлять користувача. І навпаки, нечітко сформульовані запити можуть призвести до того, що розмова стане незв'язною, що призведе

до менш захопливого та інформативного спілкування. ChatGPT не схожий на звичайного чат-бота, з яким ви взаємодієте, коли, наприклад, маєте справу з ботом онлайн-сервісу для клієнтів.

Штучний інтелект у сфері екології зараз використовується, як інструмент який може допомогти визначити джерела забруднення, відстежувати переміщення забруднюючих речовин і прогнозувати наслідки зміни клімату. Використовуючи штучний інтелект, науковці та політики можуть краще зрозуміти причини та наслідки зміни клімату та розробити стратегії пом'якшення її впливу [1].

ШІ можна використовувати для моніторингу якості повітря в режимі реального часу, дозволяючи урядам і підприємствам вживати активних заходів для зменшення забруднення. ШІ також можна використовувати для відстеження та прогнозування руху забруднюючих речовин, допомагаючи визначити джерела забруднення та дозволяючи цілеспрямовані заходи. ШІ також можна використовувати для моніторингу наслідків зміни клімату, таких як зміни температури, рівня моря та кількості опадів [2].

Окрім використання для відстеження забруднення та зміни клімату, штучний інтелект також можна використовувати для підвищення енергоефективності та зменшення викидів. ШІ можна використовувати для аналізу моделей енергоспоживання та визначення можливостей енергозбереження. ШІ також можна використовувати для розробки стратегій скорочення викидів, таких як підвищення енергоефективності, перехід на відновлювані джерела енергії та розробка нових технологій [1].

Використання штучного інтелекту для відстеження забруднення та зміни клімату є багатообіцяючою розробкою, яка може допомогти зменшити наслідки зміни клімату. Використовуючи штучний інтелект, уряди та компанії можуть краще зрозуміти причини та наслідки зміни клімату та розробити стратегії пом'якшення її впливу [2].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Основна мета роботи – визначити, наскільки ефективно зараз ШІ може використовуватися для біоіндикації навколишнього середовища, які переваги та недоліки він має. Також під час виконання роботи перевірялося, яка з систем на основі ШІ ефективніше виконує поставлені для неї задачі, чи може він бути конкурентом для еколога сьогодні чи ще необхідно більше часу для розвитку можливостей ШІ. Дослідження спрямоване на вирішення таких завдань: оцінка ефективності Chat GPT та MS Copilot у сфері обробки даних з біоіндикації, їх подальший аналіз та прогноз щодо екологічної ситуації їх перевірка та порівняння отриманих результатів зі звітами щодо стану довкілля, де використовувалися рослини-біоіндикатори.

Новизна. Новизна полягає у використанні технологій, побудованих на штучному інтелекті у сфері

моніторингу та біоіндикації. Через постійне оновлення цих технологій можна казати про те, що робота буде актуальна й при появі нових застосунків, або ж стати основою для створення застосунку, який буде використовувати штучний інтелект лише в екологічній сфері.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Роботу виконано з використанням сучасних методів обробки інформації, використовуючи теоретичні методи для збору інформації, а також версифікаційними методами для перевірки отриманих результатів. Був проведений якісний аналіз отриманих даних для подальшого опрацювання та висновків з проведеної роботи.

Викладення основного матеріалу. Для перевірки можливостей ШІ у сфері екології та охорони навколишнього середовища було обрано два боти, засновані на технології ШІ, а саме ChatGPT та MS Copilot. Їм було необхідно виконати завдання щодо пошуку інформації, а також обробці даних та прогнозування. Для оцінки точності знайденої інформації потім проводиться порівняння результатів, отриманих від самого чату та попередньо визначених для перевірки відповідностей результатів штучного інтелекту з перевіреними інформаційними та аналітичними джерелами. Чату пропонується знайти інформацію з відповідних екологічних тем (наукові роботи, статті, доповіді з біоіндикації та моніторингу довкілля) та проаналізувати їх. Потім чату надається команда надати ключові ідеї проаналізованої статті, а також проблеми, що зазначені у наданій статті. Стаття перевіряється на подібність з результатами, отриманими у чат-боті. Друга частина полягає у зборі інформації щодо ділянки, яка буде перевірятися. Надавалися запити щодо температури на ділянці, видах, які там можуть існувати, стану забрудненості повітря, ґрунтів, вод. Третя частина полягає у перевірці аналітичних можливостей шляхом виконання розрахункових робіт для флуктуючої асиметрії листя робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.) та перевіркою результатів бота з попередньо отриманими даними. Останнім є завдання щодо прогнозування розвитку певної екологічної ситуації та перевіркою результатів з прогнозами фахівців. Під час дослідження треба враховувати особливості надання запитів до чат-боту, використовувати уточнюючі запитання, а також кожен запити робити в окремій гілці, щоб зменшити вірогідність узагальнення завдань до однієї тематики та отримання більш точних результатів. Усі результати фіксуються у вигляді документу для можливості їх перевірки у будь-який час, а також графічно фіксуються за допомогою скріншотів для можливості перевірити, що ці результати отримані саме від ШІ. Також надаються посилання на статті, прогнози фахівців для можливості подальшої їхньої перевірки.

Головні висновки

1. За результатами дослідження можна казати, що боти, засновані на ШІ мають свої недоліки та переваги перед ручною обробкою та аналізом інформації, якщо їх використовувати у сфері моніторингу та біоіндикації.

2. Перевагами є швидкість обробки запитів та великої кількості інформації. Надається інформація про вид-біоіндикатор, його переваги та недоліки, як виду для біоіндикації, а також показників, які можна досліджувати за його допомогою. Аналітичні можливості дають змогу обробляти велику кількість числових даних, одразу їх розраховувати за допомогою вбудованих формул, враховуючи похибку. Нові версії ботів можуть надати графічні результати обробки даних у вигляді діаграм, графіків, тощо. Боти зазначають джерела, звідки беруть інформацію та надають посилання на них.

3. До недоліків можна віднести необхідність чітко формулювати запит для отримання результатів. Також загальну інформацію необхідно перевіряти через особливості будови ботів, які можуть надати різні джерела на один запит. Також деякі запити треба уточнювати, бо алгоритми пошуку не можуть обробити загальний запит.

4. Окремо необхідно зазначити про те, що для діяльності еколога доцільно використовувати ChatGPT 4, підписка на якого є платною. Використання версії 3.5 не є доцільною через те, що бази даних для нього обмежуються 2021 роком. Для постійних змін у навколишньому середовищі таке обмеження не є допустимим.

5. Як підсумок можна казати про те, що у певних напрямках діяльності еколога, а саме моніторингу довкілля можна використовувати ChatGPT, MS Copilot або ж його аналоги, але необхідно перевіряти їх актуальну базу даних та можливості. Вони можуть виступати у якості помічника, який може знайти необхідну інформацію чи виконати розрахунок або прогноз, а також для графічного відображення отриманих даних. У інших напрямках екології використання такого типу ШІ зараз не є доцільним через певні проблеми та недоліки, прикладом яких можна навести проблеми у роботі з законодавчою базою.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можна впроваджувати під час діяльності спеціалістів з моніторингу довкілля для отримання додаткових даних. Також це впливатиме на кількість інформації, яку можна буде оброблювати. Важливо зазначити, що на основі дослідження ШІ у сфері екології можна створювати застосунки, які будуть використовувати штучний інтелект у таких напрямках, як гідрологія, моніторинг довкілля, де такі застосунки будуть виконувати завдання з аналізу та прогнозування. Ще одним напрямком використання результатів є використання технологій ШІ в освітній сфері майбутніх спеціалістів-екологів, студентів та викладачів.

Література

1. Атрощенко А. Як фахівці різних галузей використовуватимуть ШІ у роботі?. Speka – онлайн медіа про технології та підприємство | SPEKA.media | SPEKA.media. URL: <https://speka.media/maibutnje-roboti-v-ukrayini-yak-faxivci-i-faxivcini-riznix-galuzei-vikoristovuvatimut-si-u-roboti-pyzej9> (дата звернення: 10.11.2023).
2. Використання штучного інтелекту в моніторингу та охороні навколишнього середовища. TS2 SPACE. URL: <https://ts2.space/uk/vikoristannya-shtuchnogo-intelektu-v-mo/#gsc.tab=0> (дата звернення: 10.11.2023).
3. ChatGPT. URL: <https://chat.openai.com> (date of access: 10.11.2023).
4. Microsoft Copilot help & learning. Microsoft Support. URL: <https://support.microsoft.com/uk-ua/copilot> (date of access: 10.11.2023).

УДК 504.064.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.35>

РОЗРОБКА НАУКОВИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВЗАЄМОДІЯМИ В ЕКОПРОЄКТАХ

Хрутьба Ю.С.¹, Пацева І.Г.², Хрутьба О.В.¹¹Національний транспортний університет
вул. Омел'яновича-Павленка, 1, 01010, м. Київ²Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
rig@ztu.edu.ua

Трансформація України в новий європейський простір та підвищення вимог до рівня та якості проектних підходів до вирішення екологічних проблем вимагають використання ефективної комунікації на всіх етапах реалізації проектів. Підтримка ЄС надається у формі бюджетної допомоги, грантів, транскордонного співробітництва та кредитів, а також програм освіти та підтримки громад. Наразі в Україні реалізується понад 250 різних проектів ЄС. Аналіз зацікавлених сторін є частиною моделі аналізу реалізації проектів. Новизна цього дослідження полягає в особливостях взаємодії стейкхолдерів в екологічних проектах. У цьому дослідженні розглядаються особливості рефлексії стейкхолдерів щодо реалізації екологічних проектів. Показано тісний взаємозв'язок між стейкхолдерами в екологічних проектах. Визначено, що найбільш прийнятним критерієм ефективності агента з узгодження інтересів стейкхолдерів є вибір лінійної комбінаційної форми критеріїв ефективності агента. Метою даного документу є визначення стейкхолдерів екологічних проектів та аналіз особливостей їх комунікації. В результаті узгодження інтересів стейкхолдерів вдається виявити характеристики основних елементів проектних вигод, що допомагає розробити морфологічну матрицю елементів системи вигод від участі в природоохоронній діяльності. Необхідною умовою успішної реалізації екологічних проектів є ефективне управління комунікаціями та підтримка системи зв'язку (взаємодії) між стейкхолдерами та учасниками проекту, узгодження цінностей і передача управлінської та звітної інформації для забезпечення досягнення цілей проекту. Управління комунікаціями на всіх етапах реалізації проекту є фактором, що підвищує ефективність проектних робіт, знижує проектні ризики та підвищує економічну ефективність проектів на етапах підготовки та реалізації екологічних проектів. *Ключові слова:* екологічне управління, екологічні проекти, екологічна безпека, комунікації та взаємодія.

Development of scientific methods for researching a comprehensive assessment of the use of information technology to manage interactions in eco-projects. Khrutba Yu., Patseva I., Khrutba O.

Ukraine's transformation into a new European space and increased requirements for the level and quality of project approaches to solving environmental problems require the use of effective communication at all stages of project implementation. EU support is provided in the form of budgetary assistance, grants, cross-border cooperation and loans, as well as education and community support programs. Currently, more than 250 different EU projects are being implemented in Ukraine. Stakeholder analysis is part of the project implementation analysis model. The novelty of this study lies in the peculiarities of stakeholder interaction in environmental projects. This study examines the peculiarities of stakeholders' reflection on the implementation of environmental projects. The close relationship between stakeholders in environmental projects is shown. It is determined that the most acceptable criterion for the effectiveness of an agent to reconcile the interests of stakeholders is the choice of a linear combination form of the agent's effectiveness criteria. The purpose of this paper is to identify the stakeholders of environmental projects and analyze the peculiarities of their communication. As a result of reconciling the interests of stakeholders, it is possible to identify the characteristics of the main elements of project benefits, which helps to develop a morphological matrix of elements of the system of benefits from participation in environmental activities. A prerequisite for the successful implementation of environmental projects is effective communication management and support of the communication (interaction) system between stakeholders and project participants, alignment of values and transfer of management and reporting information to ensure the achievement of project goals. Communication management at all stages of project implementation is a factor that increases the efficiency of project work, reduces project risks and increases the economic efficiency of projects at the stages of preparation and implementation of environmental projects. *Key words:* environmental management, environmental projects, environmental safety, communication and interaction.

Постановка проблеми. Достовірна інформація є основою ефективної комунікації і сприяє покращенню показників управління проектною діяльністю у сфері природокористування. Ефективна система комунікацій не формується «сама собою», як тільки проектна група одержала спільне завдання. Дуже часто навіть активні, цілеспрямовані спроби створення сприятливого комунікаційного середовища не дають бажаного результату [2]. Ефективна модель управління інноваційними проектами та програмами формується на основі місії програми або проекту, забезпечення яких вимагає застосування ефективних комунікацій та використання інформаційних технологій для управління взаємодіями в проектах [1].

рення сприятливого комунікаційного середовища не дають бажаного результату [2]. Ефективна модель управління інноваційними проектами та програмами формується на основі місії програми або проекту, забезпечення яких вимагає застосування ефективних комунікацій та використання інформаційних технологій для управління взаємодіями в проектах [1].

Актуальність дослідження. Сьогодення характеризується активізацією розвитку відкритого інформаційного суспільства з принципово новими формами комунікації, що засновані на соціальному та індивідуальному партнерстві, конкуренції, яка будується на правовій і соціальній рівності громадян, на раціональному урегулюванні суспільних відносин. В дослідженнях Г. Почепцова [5], визначено різну природу сучасних комунікацій. Розрізняють ієрархічні комунікації та демократичні. Вивчення соціальних комунікацій характеризується дослідженнями впливу інформаційно-комунікаційних процесів, в тому числі через мережі Інтернет, на взаємодію окремих структур, спільнот, осіб та ефективність такої взаємодії. Особливості цих типів комунікаційної взаємодії наведено в табл. 1.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботі Білан Н.І. «інтернет-комунікації» визначаються як технології подання інформації та реалізації традиційних форм, моделей і різновидів комунікації через залучення до комунікативного простору нових екстралінгвальних (соціальних, політичних, історичних, етнічних, культурних, комунікативних і медійних тощо) чинників і реалій (комп'ютерів і комп'ютерних мереж) [6]. Варто зауважити, що перші дослідження особливостей процесів інтернет-комунікації характеризуються здебільшого соціологічним спрямуванням: вони акцентують увагу на значних соціальних трансформаціях, яких зазнало суспільство й спілкування людей завдяки появі Інтернету [2]. Таке трактування наявне в роботах Бондар Ю. В., Городенко Л., Дмитренко М., Демченко В. Д. та деяких ін. [3]. На думку Зайцева С. В., Степанової Л. О., Степанова В. Ю., В. Нестерова, інтернет є інструментом оновлення існуючих способів комунікації та зв'язку особистості та суспільства, які раніше були, в основному, територіальними. Нова модель є проявом «мережевого індивідуалізму», де особистість може знайти тих, хто для неї цікавий, схожий за поглядами тощо [7].

Проте, інформаційні технології самі по собі не забезпечують ефективні комунікацію та взаємодію. Вони можуть забезпечити прогрес у спілкуванні під час глибоких змін в сучасних організаціях та управлінні. Змін, які раніше були просто неможливими. Дослідниця Н. Асмус вбачає в інтернет-комунікації спілкування, що дозволяє створити особливу модель реальності, якій властивий ефект присутності в ній

індивіда і яка надає можливість проводити різні дії з уявними й реальними об'єктами [4].

Американський дослідник Е. Роджерс вважає, що всім новим комунікаційним системам притаманний визначений рівень інтерактивності; у нових медіа має бути такий рівень індивідуалізації, який дозволяє донести спеціальну інформацію в повідомленні до кожного індивіда для значної за кількістю учасників аудиторії; новітні комунікаційні технології характеризуються асинхронністю (тобто можливістю надсилати або отримувати повідомлення у зручний для конкретної людини час) [3].

Новизна. Управління інформаційним зв'язком або комунікаціями в проектах включає дії, необхідні для забезпечення своєчасного отримання, збору, поширення, зберігання і кінцевого розміщення проектною інформації. Комунікація забезпечує важливі зв'язки між людьми для обміну ідеями та різного роду інформацією, що в кінцевому підсумку необхідно для успішного завершення проекту. Поширення інформації передбачає забезпечення своєчасного доступу учасників проекту до необхідної їм інформації і включає виконання плану управління комунікаціями та реагування на неочікувані запити інформації [3].

Ефективні комунікації в проектах забезпечуються наявною системою компетенцій проектного менеджера. Стандарт **National Competence Baseline** розділяє їх на три групи: технічні, поведінкові та контекстуальні [3]. У стандарті передбачається реалізація двох стратегій взаємодії проектною командою: централізація і розосередження. Причому перевага віддається стратегії централізації. Щодо розосередження, то визначено, що це може створювати «ще більший виклик до управління проектами». Підкреслюється, що причинами проблем в проектах можуть стати культурні та освітні відмінності, різні інтереси і / або способи роботи, місцезнаходження людей на великих відстанях один від одного. Поняття віртуальної команди, розподіленої (віддаленої) роботи, а також інформаційних технологій розподіленої взаємодії в стандарті також не розкриваються в Стандарті "A guidebook of Project & Program Management For Enterprise Innovation (P2M)" [4].

Викладення основного матеріалу. Поведінкова компетентність в управлінні розподіленими проектами передбачає соціально орієнтовану і ефективну командну роботу. З точки зору формування цінності

Таблиця 1

Типи комунікаційної взаємодії в соціальній структурі

	Ієрархічна комунікація	Демократична комунікація
Пріоритетний зв'язок	Пряма	Зворотна
Одержувач	Підлеглий	Вільна людина
Комунікативна дія	Наказ	Переконання
Вид комунікації	Монолог	Діалог

Джерело [5]

створення простору спільноти є одним з найбільш важливих елементів, що включає наради і зустрічі, інформаційно-комунікаційну мережу і робочі місця. Для створення інформаційно-комунікаційної мережі професійного спілкування в розподіленому проекті обов'язково треба враховувати специфічні аспекти сучасних комунікацій. Найважливіше завдання простору розподілених проектів полягає в об'єднанні

професіоналів різних соціокультурних груп зі створенням атмосфери співпраці.

Дослідження Консорціуму Telework щодо розподіленої роботи в проектах розпочались у 2000 році [4]. На початку 2003 року в рамках структурованого опитування членів Консорціуму було визначено шість питань, що є першочерговими у розподіленому розвитку (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінка процесів та проблем в розподілених проектах

Проблема	Потенційні можливості	Поточні обмеження
Стратегічний рівень. Труднощі із залученням наявних ресурсів.	Розуміння загальних питань розподілених проектів, щоб зацікавлені сторони могли передбачати та управляти ризиками.	Досвід найкращих практик часто не застосовується.
	Системи управління знаннями, особливо системи управління експертизою.	Витрата часу на впровадження та обслуговування.
Управління проектами та процесами в екології. Труднощі синхронізації роботи між розподіленими джерелами інформації.	Інтегровані системи якості допомагають визначити точки синхронізації між робочими групами.	У складних проектах часто залучаються організації різного рівня зрілості, що ускладнює впровадження стандартного процесу в рамках проекту. Навіть організації з однаковим рівнем зрілості можуть реалізовувати процеси несумісними способами. Різні організації можуть підписатися на різні рамки якості разом.
	Спільні робочі «хмари» для зберігання файлів у централізованих доступних місцях у парі з можливостями робочого циклу можуть підвищити ефективність роботи розподілених команд.	Широкий вибір варіантів, кожен з яких має різні користувальницькі інтерфейси, що може вимагати навчання з ознайомлення, може бути дорогим та трудомістким для налаштування та обслуговування.
	Постачальники інженерних інструментів починають випускати розподілені версії.	Необхідність інтегрування звітності про управління проектом в реальному часі.
Комунікації та взаємодії. Відсутність ефективних механізмів комунікацій.	Асинхронні інструменти взаємодії (електронна пошта, електронні дошки оголошень, голосова пошта, пошукові агенти та попередження про зміни тощо).	Втрата різноманіття спілкування збільшує ризик нерозуміння інформації, невідповідності її змісту.
	Інструменти співпраці в режимі реального часу, включаючи віртуальну присутність.	Відсутність пропускну здатності, надійний захист та недорогі прилади.
	Стандартизоване, спрощене відображення інформації для зменшення перевантаження інформацією.	Угоди, що вимагаються між організаціями-партнерами та між ними, мають відповідні інформаційні вимоги.
Культурна. Суперечливі способи поведінки, процеси та технології.	Цільовий тренінг для менеджерів та виконавців розподілених проектів.	Важко кількісно представити трансформування інвестицій в м'які навички.
	Досягнення процесу, методів та інструментів.	Адаптація складна, оскільки менеджери можуть не заперечувати зміни, але вони проти зміни. Це дуже консервативне, несприятливе для ризику середовище.
Технічні. Несумісні формати даних та обмін.	Веб-служби XML для обміну даними.	Відсутність загальної стандартної схеми програм інтенсивного розвитку.
	Стандарти співпраці в режимі реального часу зближуються.	Основні стандарти не розроблені.
Безпека. Забезпечення конфіденційності та конфіденційності електронної передачі інформації.	Нові стандарти безпечного обміну повідомленнями, включаючи рольові технології безпеки та шифрування.	Численні конкуруючі стандарти розвиваються одночасно. Поточні пропозиції можуть мати високу вартість адміністрування, незручними у використанні та несумісними. Жодне рішення не є безпечним, що призводить до труднощів із встановленням належних обмежень для розподілу інтелектуальної власності через організаційні бар'єри.

Джерело: розроблено автором на основі [6]

Потреба в ефективних комунікаціях та взаємодіях стосується всього життєвого циклу проекту (наприклад, НДДКР, дослідження концепції, демонстрація, інжиніринг, виробництво, підтримка та утилізація) та серед усіх або вибраних елементів команди. Нагальною потребою сучасної економіки є зменшення часу при прийнятті обґрунтованого рішення, покращити «швидкість прийняття рішень командою». Крім того, незважаючи на географічну відокремленість, учасники мають бути помітними один для одного, що є передумовою успіху проекту.

Сучасні інструменти обміну миттєвими повідомленнями, веб-конференції, дошки та Zoom, Meet, Google та інші відеоконференції, створюють суттєво інші можливості спілкування, ніж телефон, електронна пошта чи безпосередньо віч-на-віч. Ці інструменти прискорюють спілкування, дозволяють частіше обговорювати інформацію. Вони збільшують кількість комунікації, підвищують рівень довіри, полегшують прийняття рішення та сприяють згуртованості команди.

Проблеми безпеки та обмежена пропускна здатність мережі все ще може обмежувати використання

окремих інструментів при реалізації розподілених природоохоронних проектів. Отже, є всі підстави стверджувати, що електронна комунікація стала невід'ємним елементом комунікативної активності сучасної людини. Зростання популярності електронних мереж обумовило необхідність перегляду феноменології спілкування з урахуванням нових технічних можливостей [5]. Порівняльний аналіз інформаційної комунікації представлено в табл. 3.

Структуровані інструменти комунікацій для забезпечення співпраці в розподілених проектах за рахунок інформаційних технологій розширює функціонал робочого циклу, допомагає забезпечити реалізувати процеси управління проектом, такі як бюджетування, планування, моніторинг проекту та ін. Однак, для ефективної реалізації процесів комунікації та взаємодії не вистачає більш критичних м'яких навичок, таких як рівень ділової цінності, уточнення бачення продукту проекту, визначення вимог до виконавців та членів проектних команд, створення команд, вирішення проблемних питань та пом'якшення ризиків. Дослідження комунікацій віртуальних команд

Таблиця 3

Аналіз інформаційних груп взаємодії в комунікаціях

№ з/п	Група	Приклад	Переваги комунікації	Недоліки комунікації
1	2	3	4	5
1	Соціальні мережі	Facebook, Instagram	Широкий комунікаційний простір. Швидкість передачі даних. Діалог в режимі реального часу.	Велика кількість інформації, що може створювати інформаційний шум. Чати на велику кількість учасників малоефективні для діалогу.
2	Хмарні технології	McOffice, Google-диск	Робота команди в режимі реального часу. Можливість створення завдань (документів, таблиць, презентацій) для спільної роботи в межах групи в режимі реального часу. Можливості спільного доступу до файлів, легке їх налаштування та перевірка виконаної роботи з точним зазначенням виконання та саме того, що зробив.	Важко побачити історію змін документа. Відсутність підтримки макросів у всіх типах документів. Це є недоліком з точки зору можливостей, але більшість користувачів не користуються макросами. Неможливість редагування вбудованих стилів. Ви можете налаштувати тільки один стиль. Менша кількість формул в електронних таблицях.
3	Додатки для спілкування	Viber, Telegram	Діалог в режимі реального часу. Зручна комунікація і швидкий зв'язок. Створення чатів за темами. Відеодзвінки.	Чати на велику кількість учасників малоефективні для діалогу, відсутність можливості групових дзвінків в деяких месенджерах, низький рівень безпеки, реклама та спам.
4	Відео-канали	Youtube	Дає можливість залучити до перегляду одночасно багато осіб. При цьому учасники дивляться і коментують. Ресурс дозволяє створювати брендovanі сторінки та оформляти їх відповідно. Відео є найоптимальнішим способом створення та поширення контенту.	Прив'язаність прямих ефірів до конкретного часу, який не для всіх зацікавлених осіб може виявитися зручним.

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
5	Платформи дистанційного навчання	Moodle, Chatium	Зручний та доступний з будь-якої точки світу архів матеріалів. Простота роботи. Забезпечення безперервного комунікаційного процесу. Спрощення розповсюдження електронних матеріалів. Сумісність з усіма форматами електронних матеріалів. Широкий вибір інструментів взаємодії.	Відсутність прямого контакту. Важке адміністрування. Недостатня технічна підтримка, через що необхідний кваліфікований спеціаліст. Застарілість архітектури та інтерфейсу.
6	Власний сайт проекту	http://snpra.in.ua/pro-proekt/ Проект «Підтримка природно-заповідних територій в Україні»	Найдинамічніший засіб комунікацій. Дозволяє отримувати оперативну та актуальну інформацію. Є мультимедійним засобом комунікацій. Можуть формуватися окремі інформаційні блоки для різних груп, дозволяє отримувати зворотну реакцію, консультації, обробляти запити тощо.	Потребує технічного супроводу та підтримки.
7	Відеодзвінок	Zoom, Skype	Можливо залучити до участі велику кількість людей. При цьому всі учасники мають можливість бачити один одного. Завдяки цьому виходить атмосфера колективної дії. Є можливість ставити питання віч-на-віч, надсилати файли, переписуватися у чаті, показувати презентації, відтворювати аудіо і відео у режимі демонстрації екрану, доступне проведення опитувань.	Проблеми з безпекою даних. Неможливо говорити одночасно. Обмеження по кількості учасників, часу тощо.
	Електронна пошта	Електронна пошта проекту	Можливість відправляти повідомлення кільком одержувачам. Асинхронний. Дозволяє зберігати інформацію. Забезпечує комфорт користувача. Не перериває повсякденну роботу.	Відправлення повідомлення не є ознакою того, що його було прочитано. Проблеми з безпекою та захищеності даних. Спам та повідомлення типу «ланцюжки».

Джерело: розроблено автором

визначають відсутність підтримки як ризик, рекомендуючи особисті зустрічі якомога частіше, а в критичні моменти збільшення електронної та телефонної комунікації. Зараз організації починають використовувати інструменти співпраці в режимі реального часу, щоб подолати розрив у м'яких навичках для розподілених команд.

Таким чином, аналіз використання інформаційних технологій для управління взаємодіями в екопроектах показує, що інтернет-комунікації є особливою комунікаційною сферою, яка виокремлюється на основі комунікаційного інтернет-каналу для взаємодії комунікантів.

Особливе місце процеси управління інформаційним зв'язком і комунікаціями займають в розподільчих проектах, які пов'язані з покращенням стану навколишнього природного середовища. Їх особливий характер визначається необхідністю подолання наслідків техногенного або антропогенного впливу на довкілля, що найчастіше є результатом діяльності суб'єктів господарювання та реалізацією інших

бізнес-проектів чи програм. Практика управління проектами та програмами в сфері природокористування свідчить, що, за умови суттєвої різниці у цінностях, зацікавлені сторони, як правило, не здатні самостійно реалізовувати взаємодію, змінюючи конфліктні відношення на синергічні. Особливо гостро це проявляється між зацікавленими сторонами, для яких відкритість та дотримання концепції партнерства не є природними компонентами їх корпоративної культури. Тому для суттєвого зниження загрози провалу проектів, взаємодію у віхових ситуаціях необхідно розглядати як перспективний, специфічний, частково керований об'єкт управління в проектах [6].

Перелік видів екологічної інформації, визначений Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 22.12.2011 № 561 [7]. Основними видами інформації в природоохоронних проектах є:

- експертна інформація;
- інформація про стан навколишнього середовища та вплив на неї;

– методи та шляхи вирішення екологічних проблем;

– нормативно-правове регулювання природоохоронної діяльності;

– стан виконання міжнародних, національних та місцевих програм з охорони навколишнього природного середовища;

– шляхи та методи участі громадян у захисті довкілля;

– інформаційний шум, який має високу емоційну складову та може створюватись засобами масової інформації та впливати на рішення.

Інформаційний шум може бути як корисним для проекту так і деструктивним, тому важливим є використання його на користь проекту.

Висновки та рекомендації. Таким чином, аналіз використання інформаційних технологій для управління взаємодіями в розподілених проектах засвідчує доцільність впровадження нових сучасних методів здійснення комунікацій методами інтернет-комунікації, допомагає забезпечити реалізацію процесів управління проектом, таких як бюджетування, планування, моніторинг проекту та ін., дозволяє підвищити швидкість прийняття управлінських рішень в проекті за умови розподіленої реалізації проекту. Формування системи електронних комунікацій за допомогою інформаційних технологій між стейкхолдерами та бенефіціарами природоохоронного розподіленого проекту є необхідною умовою його успішної реалізації.

Література

1. Agrawal A and Choudhary V. Reverse Logistics: Performance Measures and their effect in product lifecycle International Journal of Core Engineering & Management (IJCEM). 2014. 1(2). p. 14–22.
2. Oom do Valle P, Menezes J, Reis E and Rebelo E. Reverse logistics for recycling: The customer service determinants International Journal of Business Science and Applied Management, 2009. 4(1). p. 1–17.
3. Santos R. B. M, Braga Junior S. S, da Silva D and Satolo E. G. Analysis of the economic and environmental benefits through the reverse logistics for retail. American Journal of Environmental Protection. 2014. 3(3). p. 138–143.
4. Murphy, P. and Poist, R., Green logistics strategies: an analysis of usage patterns. Transport. J., 2000. 40(2). p. 5–17.
5. Moyer, L., Gupta, S.M., J. Electron. Environmental concerns and recycling/disassembly efforts in the electronics industry. Manuf., 1997. 7(1), p. 1–22.
6. Мішенін Є.В., Кобляньська І.І. Логістичне управління промисловим виробництвом у контексті розвитку «зеленої» економіки в Україні. Економіст, 2012. № 1. С. 8–12.
7. Тарановська Ю.М., Янчук Т.В. Сутність та значення реверсивної логістики в сучасних ринкових умовах. Східна Європа: економіка, бізнес та управління, 2018. № 6(17). с. 17–20.
8. Khrutba, V., Ziuziun, V., Barabash, O., Nevedrov, D., 2020. Formuvannia systemy kryteriiv otsinky vplyvu na dovkillia v proektah budivnytstva ta rekonstruktsii ob'ektiv krytychnoi infrastruktury. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu. Serie: Technical Sciences. Kyiv: NTU, 2020. № 1 (46), pp. 405–415.
9. Harris, P., Riley, E., Sainsbury, P., Kent, J., Baum, F., Lane, A., 2015. Assessing environmental impacts of major transport infrastructure projects: where does human health fit? A report for the Henry Halloran Trust at Sydney University. Blue Sky Report, 2015. pp. 91.
10. Hui Li, Quanxue Deng, Jingxiao Zhang, Ayokunle Olubunmi Olanipekun, Sainan Lyu, 2019. Environmental Impact Assessment of Transportation Infrastructure in the Life Cycle: Case Study of a Fast Track Transportation Project in China. Energies 2019, 12, pp. 1015.
11. Jay S., Jones C., Slinn, P., Wood, C., 2007. Environmental impact assessment: Retrospect and prospect. Environmental Impact Assessment Review. Vol. 27, Issue 4, May 2007, pp. 287–300.
12. Хрутьба Ю. С., Морозов В. В., Хрутьба А. С. Особливості взаємодії зацікавлених сторін у природоохоронних проектах. Управління розвитком складних систем : зб. наук. праць. Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ : КНУБА, 2019. № 37. С. 32–39.

ПИТАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

УДК [504.03:631.47](477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.36>

ОРГАНІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО В УКРАЇНІ ЯК ПРІОРИТЕТНА СКЛАДОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Петровська М.А., Петровський С.В.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів
petrovskamyr@gmail.com, sv.petrovskiy@gmail.com

Представники різних країн світу все гучніше говорять про Цілі сталого розвитку, ухвалені на саміті ООН у 2015 р. Практично усі 17 Цілей пов'язані з сільським господарством, адже воно так чи інакше впливає на усі сфери життя. Україні також необхідно створювати такі умови для сільськогосподарських систем, які не лише забезпечуватимуть населення чистими і корисними продуктами, а й прибутком виробника та розвиватимуть дбайливе ставлення до довкілля. Національна економічна стратегія на період до 2030 року, затверджена 3 березня 2021 р. КМУ, передбачає збільшення частки земель під органічним виробництвом до 3% від загальної площі сільськогосподарських земель.

Для сприяння переходу на органічне сільське господарство, поширення локального виробництва і споживання органічної продукції доцільно підвищити рівень обізнаності щодо органічного виробництва. У статті наголошено на перевагах органічного виробництва, подано дефініції поняття «органічне виробництво» на світових теренах наукової думки, зазначено галузі органічного виробництва, принципи і напрями державної політики у цій сфері.

Органічне виробництво є сертифікованою діяльністю, яку провадять із дотриманням вимог законодавства. Сьогодні його регулюють Закон, 5 Постанов і 10 Наказів. Важливим кроком є запуск у 2023 р. Реєстрів органів сертифікації та операторів у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції.

Простежено динаміку загальної площі органічних сільськогосподарських угідь і органічних операторів в Україні впродовж останніх 20 років. Зазначено, що до 2019 р. площа сільськогосподарських угідь, зайнятих під органічним виробництвом та перехідного періоду зростала, досягнувши найвищого показника – 467 980 га, а в 2022 р. зменшилась на 38% у порівнянні з попереднім роком (422 299 га, 1% від земель сільськогосподарського призначення України). За цим показником станом на 2020 р. Україна займала 21 місце в світі (перше – Австралія (35,7 млн га)) і 13 місце в Європі (перше – Франція (2,6 млн га)). За показником органічних операторів також вирізняється 2019 р., коли їхня кількість становила 617, зазнавши зменшення до 462 у 2022 р.

З'ясовано настрої операторів органічної продукції щодо провадження діяльності в умовах війни, серед яких 68% опитаних заявили про готовність продовжити виробництво у повному обсязі. *Ключові слова:* сталий розвиток, органічне виробництво, законодавство, сертифікація, органічний оператор.

Organic production in Ukraine as a priority component of sustainable development. Petrovska M., Petrovskiy S.

Representatives of countries around the world are talking more and more loudly about the Sustainable Development Goals adopted at the UN Summit in 2015. Almost all 17 Goals are related to agriculture, as it has a direct impact on all spheres of life. Ukraine also needs to create conditions for agricultural systems that not only provide the population with clean and healthy products but also generate profits for producers and promote respect for the environment. The National Economic Strategy for the period up to 2030, approved by the Cabinet of Ministers on 3 March 2021, envisages an increase in the share of land under organic production to 3% of the total agricultural land area.

In order to facilitate the transition to organic agriculture, and promote local production and consumption of organic products, it is advisable to raise awareness of organic production. The article emphasizes the advantages of organic production, provides definitions of the concept of “organic production” in the world of scientific thought, and identifies the sectors of organic production, principles, and directions of state policy in this area.

Organic production is a certified activity that is carried out in compliance with the requirements of the law. Today, it is regulated by the Law, 5 Resolutions and 10 Orders. An important step is the launch in 2023 of the Registers of certification bodies and operators in the field of organic production, circulation and labeling of organic products.

The dynamics of the total area of organic agricultural land and organic operators in Ukraine over the past 20 years is traced. It is noted that by 2019, the area of agricultural land under organic production and transition was growing, reaching its highest level of 467,980 hectares, and in 2022 it decreased by 38% compared to the previous year (422,299 hectares, 1% of agricultural land in Ukraine). By this indicator, as of 2020, Ukraine was ranked 21st in the world (first – Australia (35.7 million hectares)) and 13th in Europe (first – France (2.6 million hectares)). In terms of organic operators, 2019 also stands out, when their number was 617, decreasing to 462 in 2022.

The moods of organic operators regarding the conduct of activities in the conditions of war are revealed, among which 68% of respondents declared their readiness to continue production in full. *Key words:* sustainable development, organic production, legislation, certification, organic operator.

Постановка проблеми. Інтенсифікація господарювання, яка відбувалася в усьому світі в останні роки, призвела не лише до виснаження природних ресурсів, але й спричинила додатковий тиск на довкілля. Як плату за економічне зростання, навколишнє середовище отримало додаткові об'єми викидів в атмосферу, забруднення водних об'єктів і ґрунтів. На Конференції в Ріо-де-Жанейро у 1992 р. в рамках прийняття «Порядку денного на XXI століття» вжили термін «сталій розвиток», який трактували як «розвиток, що задовольняє потреби теперішнього часу, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби» [1]. Отож суть сталого розвитку полягає у стимулюванні тих економічних секторів і технологій, що не є джерелами екологічних чи соціальних загроз. Оскільки однією з базових галузей реального сектора економіки України сьогодні є сільське господарство, тому органічне виробництво як метод його ведення має стати пріоритетним.

Актуальність дослідження. Представники різних країн світу все гучніше говорять про Цілі сталого розвитку, які були ухвалені на саміті ООН у 2015 р. та мають бути реалізовані до 2030 р. Як приклад, європейський зелений курс передбачає, що частка земель під органічним виробництвом має сягнути 25%; по 30% суходолу та морських територій повинні отримати природоохоронний статус; використання пестицидів треба скоротити на 30%, а добрив – на 20%. США також не відстають: у січні 2021 р. президент Джоозеф Байден доручив міністерству сільського господарства США (USDA) розробити Кліматичну стратегію для сільського і лісового господарства. Україні також необхідно створювати такі умови для сільськогосподарських систем, які не лише забезпечуватимуть населення чистими і корисними продуктами, а й прибутком виробника та розвиватимуть дбайливе ставлення до довкілля. Національна економічна стратегія на період до 2030 року, затверджена 3 березня 2021 р. КМУ, передбачає збільшення частки земель під органічним виробництвом до 3% від загальної площі сільськогосподарських земель (станом на 2021 р. вона складає 1%), експорту органічної продукції – до 1 млрд доларів (у 2020 р. – 204 млн доларів) [2]. На жаль, повномасштабне вторгнення РФ вносить свої корективи.

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. Розвиток органічного виробництва в Україні бере початок з 1994 р., коли зареєстрували Міжнародну

благодійну організацію «Інформаційний центр «Зелене досьє», яка сприяє поширенню принципів сталого розвитку в суспільстві, інтеграції їх до національної політики та урядових програм через розповсюдження об'єктивної інформації екологічного та соціального спрямування до ЗМІ, місцевих громад, влади та бізнесу, залучаючи їх таким чином до практичних дій. Починаючи з 2004 р. державний секретаріат Швейцарії з економічних питань надає постійну підтримку Україні у сфері органічного виробництва та розвитку органічного ринку, з метою сприяння розвитку органічного руху в Україні у 2005 р. зареєстровано Федерацію органічного руху України, а в 2007 р. – український орган сертифікації «Органік стандарт», включивши в офіційний перелік органів сертифікації, визнаних у Європейському Союзі, Швейцарії, Канаді, багатьох країнах пострадянського простору, який 25 травня 2023 р. акредитували відповідно до українського законодавства. У 2013 р. зареєстровано Спільку виробників сертифікованих органічних продуктів «Органічна Україна», спрямовану на консолідацію українських сертифікованих виробників органічної продукції для розвитку органічного ринку в Україні, У 2015 р. почав працювати спеціалізований інформаційний портал OrganicInfo.ua – окремий проект інформаційного центру «Зелене досьє», метою якого є просування органічного виробництва, органічних харчових продуктів та здорового способу життя. У цьому ж році розвиток органічного ринку вперше включено в Єдину комплексну стратегію розвитку сільського господарства та сільських територій на 2015–2020 роки та названо одним із пріоритетних напрямів розвитку агропромислового сектору України. На жаль, стратегія так і не була схвалена урядом, а залишилась документом рекомендаційного характеру. 5 листопада 2020 р. ухвалено зміни до Закону «Про державну підтримку сільського господарства України», де прямо передбачено можливість державної підтримки виробників органічної сільськогосподарської продукції. У 2022 р. стартувала Грантова програма «Підтримка органічного сектору в Україні», ініційована об'єднанням «Органічна Ініціатива» як реакція на повномасштабне вторгнення РФ з метою підтримати виробників органічних продуктів, зберегти та посилити спроможності органічного сектору України у середньо- та довгостроковій перспективі [3]. Не зважаючи на те, що сільськогосподарський сектор України постраждав від початку повномасштабного вторгнення РФ, він продовжує працювати.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. За статусом впровадження законодавства в галузі органічного сільського господарства, Україна належить до країн, де воно впроваджене не повністю [4]. Проте в цьому напрямі відбулися позитивні зміни, серед яких 10 липня 2018 р. прийнято закон України «Про основні принципи та вимоги

до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції» № 2496, який введено в дію як основний «органічний» ЗУ у 2019 р. Важливим кроком розвитку українського органічного сектору економіки є запуск у 2023 р. Реєстрів органів сертифікації та операторів у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції. До Реєстру органів сертифікації внесли ТОВ «Органік стандарт», що успішно пройшло акредитацію і може здійснювати сертифікацію органічних продуктів відповідно до законодавства України. До цього часу виробництво органічної продукції в Україні здійснювали відповідно до стандартів, еквівалентних стандартам ЄС та інших країн. Відтепер оператори з реєстру будуть маркувати свою продукцію українським державним логотипом.

Сільськогосподарська спільнота відіграє важливу роль у переході до більш сталої продовольчої системи, зокрема посилюючи зусилля фермерів, що спрямовані на боротьбу зі змінами клімату, захистом довкілля і збереженням біорізноманіття. Для сприяння переходу на органічне сільське господарство, поширення локального виробництва і споживання органічної продукції доцільно підвищити рівень обізнаності щодо органічного виробництва.

Новизна. У статті наголошено на перевагах органічного виробництва, подано дефініції поняття «органічне виробництво» на світових теренах наукової думки, перелічено галузі органічного виробництва, принципи і напрями державної політики у цій сфері. Зазначено, що органічне виробництво є сертифікованою діяльністю, яку провадять із дотриманням вимог законодавства. Простежено динаміку загальної площі органічних сільськогосподарських угідь і органічних операторів в Україні впродовж останніх 20 років. З'ясовано настрої операторів органічної продукції щодо провадження діяльності в умовах війни.

Методологічне або загальнонаукове значення.

У процесі дослідження використано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження. Під час аналізу нормативно-правового забезпечення органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції застосовано групування як метод наукового дослідження. Історичний метод допоміг охарактеризувати основні етапи розвитку органічного виробництва. Графічні методи дослідження застосовано для отримання глибшого розуміння об'єкта і суб'єкта дослідження, виокремлення їхніх структурних елементів та встановлення взаємозв'язків між ними. Логічні узагальнення використано при формулюванні висновків.

Викладення основного матеріалу. У вересні 2015 року в рамках 70-ї сесії Генеральної Асамблеї ООН у Нью-Йорку відбувся Саміт ООН зі сталого розвитку [5], на якому прийняли Порядок денний розвитку на 2016–2030 роки і затвердили 17 Цілей сталого розвитку та 169 завдань, які одноставно

прийняли 193 країни, що охоплюють три аспекти сталого розвитку: економічне зростання, соціальну інтеграцію та охорону навколишнього середовища. Практично всі 17 цілей пов'язані з сільським господарством, адже воно так чи інакше впливає на всі сфери життя. Водночас органічне виробництво згадується в контексті виконання трьох цілей:

– Ціль 2. Подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства.

– Ціль 12. Забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва.

– Ціль 15. Захист та відновлення екосистем суші та сприяння їх раціональному використанню, раціональне лісокористування, боротьба з опустелюванням, припинення і повернення назад процесу деградації земель та зупинка процесу втрати біорізноманіття.

Сьогодні сільське господарство виступає базовою галуззю реального сектора економіки України і саме органічне виробництво як метод його ведення має стати пріоритетним, завдяки економічній, соціальній та екологічній збалансованості. Серед екологічних переваг органічного виробництва варто наголосити на збереженні в належному стані водних ресурсів. Мінеральні добрива, які використовують в інтенсивному рослинництві, часто змивають з полів дощові чи талі води, спричинюючи погіршення якості води і вимирання водних організмів. Введення обмежень щодо використання добрив в органічному сільському господарстві дозволить запобігати цим проблемам, а також зберегти здоров'я людей, які споживають воду напряму з підземних і поверхневих водних об'єктів за відсутності централізованого водопостачання. Методи органічного виробництва є ощадливими до біорізноманіття, виключають ризики ущільнення і вразливості ґрунтів до водної та вітрової ерозії. Стимулюючи розвиток ґрунтової фауни, у довготривалій перспективі цей спосіб господарювання дозволить накопичити вуглець і вологу в ґрунті, відновити еродовані і збіднені землі. Беручи до уваги те, що в Україні енергія виробляється в основному з викопного палива, відмова від використання мінеральних добрив стане запобіжником потрапляння значної кількості парникових газів і забруднюючих речовин в атмосферу. Збереження основних виробничих ресурсів цієї галузі (родючість ґрунтів, водний режим та якість вод) у належному стані стане основою для подальшого росту макроекономічних показників та добробуту українців. Важливо розуміти, що перелічені екологічні переваги органічного сільськогосподарського виробництва є не наслідком, а першопричиною.

Для забезпечення необхідного прогресу у реалізації завдань, пов'язаних з органічним виробництвом, потрібно забезпечити ефективне впровадження нормативно-правової бази у цій сфері. Сьогодні органічне виробництво регулюють Закон, 5 Постанов

КМУ і 10 Наказів [6]. На світових теренах наукової думки «органічне виробництво» – це цілісна система господарювання, яка поєднує в собі найкращі практики з огляду збереження довкілля і зміцнення здоров'я (табл. 1).

Державна політика у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції ґрунтується на принципах (рис. 1).

До галузей органічного виробництва належать: органічне рослинництво (у тому числі насінництво та розсадництво); органічне тваринництво (у тому числі птахівництво, бджільництво); органічне грибівництво (у тому числі вирощування органічних дріжджів); органічна аквакультура; виробництво органічних морських водоростей; виробництво органічних харчових продуктів (у тому числі органічне виноробство); виробництво органічних кормів; заготівля органічних об'єктів рослинного світу [11].

Органічне виробництво не підтримує використання штучних добрив або синтетичних хімікатів, таких як пестициди та гербіциди; генетично модифікованих організмів, стимуляторів росту чи гормонів. Органічне м'ясо, птиця, яйця та молочні продукти повинні надходити від тварин, яким не дають антибіотики чи гормони росту, дозволяючи рости та розвиватися природним шляхом. Продукція, вироблена шляхом органічного землеробства, має бути у своїй найбільш натуральній формі. При цьому варто використовувати переважно відновлювані ресурси та власні ресурси, у тому числі продукти переробки відходів і побічної продукції рослинного і тваринного походження, за умови, що вони відповідають вимогам до органічного виробництва; технології, що не завдають шкоди здоров'ю людей, рослинам, добробуту тварин, запобігають забрудненню навколишнього природного середовища або мінімізують його (рис. 2).

Таблиця 1

Дефініції поняття «органічне виробництво»

Автор, рік	Визначення
Комісія Кодекс Аліментаріус ФАО/ВООЗ, 1999.	Органічне сільське господарство – цілісна система управління виробництвом, яка враховує та покращує стан агроєкосистеми, включаючи біологічну розмаїтість, біологічні цикли й біологічну природу ґрунту; вимагає використання передових методів управління, враховуючи регіональні умови, систем управління, адаптованих до даних умов [7].
Постанова Ради (ЄС) № 834/2007	Органічне виробництво – це цілісна система господарювання та виробництва харчових продуктів, яка поєднує в собі найкращі практики з огляду на збереження довкілля, рівень біологічного розмаїття, збереження природних ресурсів, застосування високих стандартів належного утримання (добробуту) тварин та метод виробництва, який відповідає певним вимогам до продуктів, виготовлених з використанням речовин та процесів природного походження. Таким чином, метод органічного виробництва відіграє подвійну соціальну роль: з одного боку, забезпечує специфічний ринок, який відповідає потребам споживача у органічній продукції, а з іншого – забезпечує загальне благо, сприяючи захисту довкілля, належному утриманню тварин, а також розвитку сільської місцевості [8].
Міжнародної федерації органічного сільськогосподарського руху (IFOAM), 2008	Органічне сільське господарство – виробнича система, що підтримує здоров'я ґрунтів, екосистем і людей. Воно залежить від екологічних процесів, біологічної різноманітності та природних циклів, характерних для місцевих умов, при цьому уникають використання шкідливих ресурсів, які викликають несприятливі наслідки. Органічне сільське господарство поєднує в собі традиції, нововведення та науку з метою покращення стану навколишнього середовища та сприяння розвитку справедливих взаємовідносин і належного рівня життя для всього вищезазначеного [9].
Міністерство сільського господарства США, 2017	Органічне виробництво визначається як набір практик, які відповідають правилам Національної органічної програми (NOP) Служби сільськогосподарського маркетингу Міністерства сільського господарства США (AMS), а в ширшій практиці охоплює цілісний системний підхід до землеробства, який об'єднує біологічні, культурні та механічні практики сприяти кругообігу поживних речовин, екологічному балансу та збереженню біорізноманіття, а також забезпечувати безліч переваг для навколишнього середовища [10].
Закон України «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції», 2018	Органічне виробництво – сертифікована діяльність, пов'язана з виробництвом сільськогосподарської продукції (у тому числі всі стадії технологічного процесу, а саме первинне виробництво (включаючи збирання), підготовка, обробка, змішування та пов'язані з цим процедури, наповнення, пакування, переробка, відновлення та інші зміни стану продукції), що провадиться із дотриманням вимог законодавства у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції [11].

Джерело: сформовано за [7–11].



Рис. 1. Принципи державної політики у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції

Джерело: сформовано за [11]



Рис. 2. Напрями державної політики у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції

Джерело: сформовано за [11]

Оскільки органічне виробництво є сертифікованою діяльністю, то не менш важливу роль відіграє акредитація та впровадження ефективної системи державного нагляду. Акредитацію органів сертифікації здійснює Національне агентство з акредитації України відповідно до закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» від 17 травня 2001 року № 2407-III [12]. У 2023 р. підтверджено спеціальні знання 31 інспектора у сфері органічного виробництва та/або обігу органічної продукції, яких внесено до Реєстру органів сертифікації. Першим органом сертифікації, акредитованим відповідно до українського законодавства 25 травня 2023 р. стало ТОВ «Органік Стандарт» [3]. Загалом в Україні працює 23 органи сертифікації, 20 з яких включені до офіційного переліку органів сертифікації в органічній сфері для України відповідно до Регламенту ЄС № 1235/2008, 9 мають право сертифікувати відпо-

відно до стандартів США (NOP), 2 – відповідно до стандартів COR (Канада) та 13 – відповідно до стандартів Bio Suisse (Швейцарія) [13].

Сільськогосподарська продукція, у тому числі харчові продукти та корми, отримані в результаті органічного виробництва, носить назву органічної [11]. Центральне географічне положення, значна площа сільськогосподарських земель, родючі ґрунти (зокрема, чорноземи, які займають близько 60% її території (у світі близько 25%) і становлять 6,7% світових), сприятливі кліматичні умови та лісові ресурси, низькі ціни на оренду землі, зростаючий попит населення на органічні продукти харчування сприяли тому, що Україну вважають одним із важливих постачальників органічної продукції [14].

Станом на 31.12.2022 р. загальна площа сільськогосподарських угідь, зайнятих під органічним виробництвом та перехідного періоду, склала 263 619 га,

зокрема, площа сільськогосподарських угідь з органічним статусом – 246 126 га. З рис. 3 видно, що до 2019 р. їхня площа зростала, досягнувши найвищого показника – 467 980 га, а в 2022 р. зменшилась на 38% у порівнянні з попереднім роком (422 299 га, 1% від земель сільськогосподарського призначення України). За цим показником станом на 2020 р. Україна займала 21 місце в світі (перше – Австралія (35,7 млн га)) і 13 місце в Європі (перше – Франція (2,6 млн га)) [15].

Якщо у 2021 р. Херсонська область за площею сільськогосподарських земель, зайнятих під органічним виробництвом (близько 62 000 га), була лідером, то в 2022 р. таких земель тут усього 29 413 га [16].

Загалом в Україні станом на 2021 р. налічувалось 528 операторів ринку органічної продукції, з них 418 – виробники сільгосппродукції. За тим показником також вирізняється 2019 р., коли кількість органічних операторів в Україні становила 617 (рис. 4), У 2022 р. їхня кількість зменшилась до 462.

У 2021 р. найбільша кількість операторів працювала в Київській (73), Вінницькій (52), Херсонській (40), Одеській (37) і Полтавській (31) областях. Станом на 2022 р. цей показник суттєво не змінився, за винятком Херсонської області (14) через бойові дії.

Головні висновки. Органічне виробництво є досить складним і багатовимірним поняттям, головними цілями якого є: відтворення родючості ґрунтів і збереження довкілля; розвиток сільських територій; забезпечення споживчого ринку здоровою органічною продукцією; зміцнення експортного потенціалу держави і покращення її іміджу як виробника високоякісної органічної продукції; забезпечення продовольчої безпеки в Україні. Саме органічне виробництво як метод ведення сільського господарства, має стати пріоритетним, завдяки економічній, соціальній та екологічній збалансованості.

Незважаючи на труднощі, органічне сільське господарство виявляє більшу стійкість у кризо-

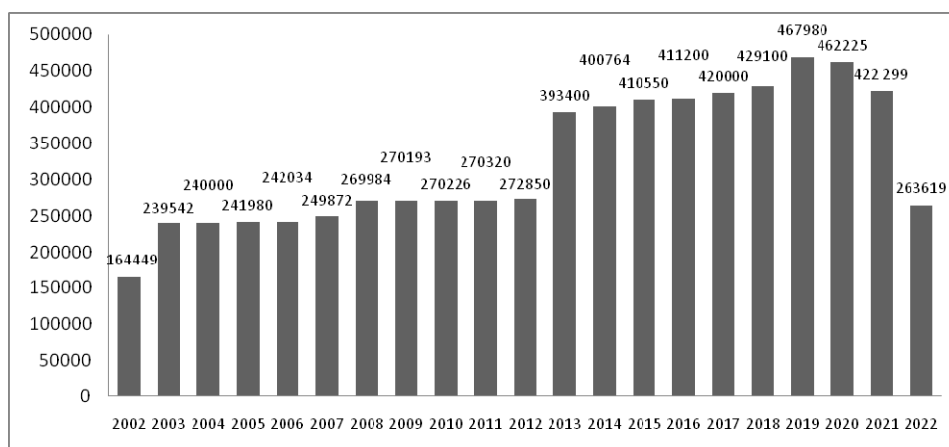


Рис. 3. Динаміка загальної площі органічних сільськогосподарських угідь (у тім числі перехідного періоду) в Україні, га

Джерело: сформовано за [9, 16]

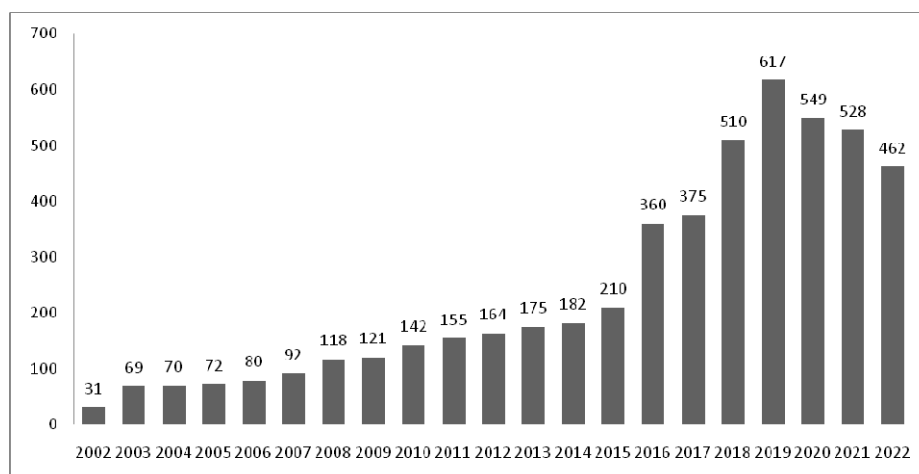


Рис. 4. Динаміка кількості органічних операторів в Україні, одиниць

Джерело: сформовано за [9, 16]

вих ситуаціях, ніж традиційне, демонструючи меншу вразливість, ніж інтенсивне виробництво. Позитивним є те, що органічні оператори менше залежать від великих логістичних центрів, оскільки володіють різноманітними каналами збуту, включаючи прямі продажі споживачам. У свою чергу, віддаленість логістичних центрів від виробничих потужностей і проблеми з паливом показали недосконалість довгих ланцюгів поставок у традиційному землеробстві [17]. Після початку повномасштабного вторгнення цілковито роботу зупинили 13% органічних операторів, у 35% відбулись зміни, але зараз працюють і 52% – виробництво не зупиняли. Продовжити

виробництво у повному обсязі вирішили 68% опитаних [18].

Перспективи використання результатів дослідження. Інтеграція в міжнародну торгівлю має сильний потенціал для стимулювання зростання в Україні, зокрема в сільському господарстві. Результати дослідження допоможуть об'єднати зусилля галузевих підприємств та установ, наукових та освітніх закладів, інших зацікавлених у виробництві, переробці безпечної та якісної продукції, збереженні та використанні природних ресурсів; запровадженні, удосконаленні інноваційних органічних технологій в аграрній галузі; сприятимуть динамічному та ефективному розвитку органічного руху в Україні.

Література

1. Butlin, John. Our common future. By World commission on environment and development. Journal of International Development. 1 (2). S. 284–287.
2. Литвин А. Чому варто переходити на органічне виробництво Економічна правда. 03.11.2021. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/11/3/679362/> (дата звернення: 20.11.2023).
3. Етапи розвитку органічного виробництва. OrganicInfo – інформаційний портал. URL: <https://organicinfo.ua/stages/> (дата звернення: 20.11.2023).
4. Дослідження IFOAM 2022. URL: https://organicinfo.ua/wp-content/uploads/2022/04/Organic-legislation-worldwide-WOA-2022_UA.pdf (дата звернення: 20.11.2023).
5. Цілі сталого розвитку в Україні. 05.06.2018. URL: <http://surl.li/njhog> (дата звернення: 20.11.2023).
6. Огляд – органічне законодавство України. OrganicInfo – інформаційний портал. URL: https://organicinfo.ua/UA_By-laws_list_UA_EN.pdf (дата звернення: 20.11.2023).
7. Берлач Н. А. Правове визначення органічного сільського господарства в Україні. *Держава і право*. 2009. Випуск 46. С. 225–230.
8. Постанова Ради (ЄС) № 834/2007 від 28 червня 2007 року. URL: https://www.cg.gov.ua/web_docs/2141/2017/04/docs/EU%20Reg_834_2007%20Organic%20Production_UA.pdf (дата звернення: 20.11.2023).
9. Федерація органічного руху України – інформаційний портал. URL: <https://organic.com.ua/organichne-silske-gospodarstvo/> (дата звернення: 20.11.2023).
10. Стандарт NOP. Визначення термінів URL: <https://www.ecfr.gov/current/title-7/subtitle-B/chapter-I/subchapter-M/part-205/subpart-A/section-205.2> (дата звернення: 20.11.2023).
11. 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 20.11.2023).
12. Про акредитацію органів з оцінки відповідності: закон України від 17 травня 2001 року № 2407-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2407-14#Text> (дата звернення 20.11.2023).
13. Дослідження органічного ринку України 2019–2020. OrganicInfo – інформаційний портал. URL: https://organicinfo.ua/Market_study_2019-2020_web.pdf (дата звернення 20.11.2023).
14. Городняк І. В., Петровський С. В. Аналіз ринку органічної продукції в Україні. *Економічний простір*: 2023. № 184. С. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/184-5>
15. Тарас Висоцький. Дані оперативного моніторингу за 2021 рік. OrganicInfo – інформаційний портал. URL: https://organicinfo.ua/wp-content/uploads/2022/09/Taras-Vysotskyi_UA-Ministry_23.09.2022-UA.pdf (дата звернення 20.11.2023).
16. Інфографіка. OrganicInfo – інформаційний портал. URL: <https://organicinfo.ua/infographics/organic-map-of-ukraine-2022/> (дата звернення 20.11.2023).
17. Громадська спілка «Органічна ініціатива» – інформаційний портал. URL: <https://organicinitiative.org.ua/news/organic-agriculture-more-resilience> (дата звернення 20.11.2023).
18. Громадська спілка «Органічна ініціатива» – інформаційний портал. URL: <https://organicinitiative.org.ua/news/rezultaty-oprytuvannia-br-orhanichnoho-biznesu-ukrainy-br-sichen-liutyu-2023/> (дата звернення 20.11.2023).

СУЧАСНІ ПРОФЕСІЙНІ КВАЛІФІКАЦІЇ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ

Радкевич В.О.¹, Кравець С.Г.¹, Салій І.В.², Радкевич О.П.³

¹Інститут професійної освіти Національної академії педагогічних наук України
пров. Віто-Литовський, 98А, 03045, м. Київ

²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

³Інститут педагогіки Національної академії педагогічних наук України
вул. Січових Стрільців, 52Д, 04050, м. Київ
mrs.radkevich@gmail.com, sveta.kindz@ukr.net,
deaohoronapraci@gmail.com, mr.radkevych@gmail.com

Обґрунтовано актуальність розвитку «зелених» професій в Україні в контексті глобальних енергетичних викликів. Визначено, що Україна має потенціал забезпечити до 50% енергетичних потреб з відновлювальних джерел. Досліджено нормативно-правову базу та методологічні засади у сфері професійної підготовки відповідно до Національної системи кваліфікацій. Схарактеризовано, що відсутність кваліфікованих кадрів гальмує перехід до зеленої економіки. Зазначено, що в рамках національного експерименту було розроблено нові професійні стандарти та кваліфікаційні характеристики. Підкреслено необхідність консолідації зусиль для розвитку людського капіталу та енергетичного відновлення України. Результати експерименту імплементовані в систему професійної освіти України. Зокрема, розроблено нові професії «Майстер з монтажу та обслуговування систем відновлюваної енергетики», «Майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів». Враховано зростаючий попит на альтернативні системи опалення та теплові насоси. Ініційовано створення професійного стандарту, що слугує основою для розроблення освітніх програм. Забезпечено можливість дуального навчання та підвищення кваліфікації, що відповідає потребам ринку праці. Зазначена значущість професійної підготовки для ринку праці, зокрема в галузі експлуатації теплових насосів. Визначено, що навчальні модулі, які відповідають професійному стандарту, сприяють соціалізації та адаптації різних груп населення, включаючи ветеранів війни та переміщених осіб. Висвітлено роль урядових структур, промислових підприємств, наукових установ та інших заінтересованих сторін у розвитку «зелених» професійних кваліфікацій. Підкреслено необхідність комплексного підходу до впровадження нових кваліфікацій для сталого розвитку та економічного відновлення України. Зазначено, що результати дослідження можуть бути корисними для формування державної політики в сфері професійної освіти та ринку праці. *Ключові слова:* зелена економіка, відновлювальні джерела енергії, професійна підготовка, Національна система кваліфікацій, професійні стандарти.

Modern professional qualifications for sustainable development of the green economy. Radkevych V., Kravets S., Saliy I., Radkevych O.

The urgency of developing “green” professions in Ukraine within the context of global energy challenges is substantiated. It is identified that Ukraine has the potential to meet up to 50% of its energy needs from renewable sources. The legal and methodological foundations in the field of vocational training according to the National Qualifications System are explored. It is characterized that the lack of skilled personnel hinders the transition to a green economy. It is noted that within the framework of a national experiment, new professional standards and qualification characteristics have been developed. The necessity of consolidating efforts for the development of human capital and Ukraine’s energy renewal is emphasized. The results of the experiment have been implemented into Ukraine’s vocational education system. Specifically, new professions such as “Master of Installation and Maintenance of Renewable Energy Systems” and “Master of Installation, Maintenance, Repair, and Adjustment of Heat Pumps” have been developed. The growing demand for alternative heating systems and heat pumps is taken into account. The initiation of a professional standard serving as the basis for the development of educational programs is facilitated. The possibility of dual education and skill enhancement that meets labor market needs is ensured. The significance of vocational training for the labor market, particularly in the field of heat pump operation, is established. It is determined that educational modules that meet professional standards contribute to the socialization and adaptation of various population groups, including war veterans and displaced persons. The role of government structures, industrial enterprises, research institutions, and other stakeholders in the development of “green” professional qualifications is highlighted. The need for a comprehensive approach to the introduction of new qualifications for sustainable development and Ukraine’s economic recovery is emphasized. It is noted that the research results may be useful for shaping state policy in the field of vocational education and the labor market. *Key words:* green economy, renewable energy sources, vocational training, National Qualifications System, professional standards.

Постановка проблеми. Результати комплексного аудиту розвитку національної економіки у період незалежності засвідчують, що Україні упродовж цих років не вдалося реалізувати потенціал у природних ресурсах, географічному положенні та яко-

сті людського капіталу для соціально-економічного зростання держави сьогодні і в майбутньому [1]. Останні події, пов’язані із епідемією та війною в Україні, тільки сповільнюють темпи зростання внутрішнього валового продукту як в абсолют-

ному вимірі, так за показником на душу населення. Спрямовуючи політичні, матеріальні та фінансові ресурси на посилення обороноздатності країни, як пріоритетної потреби, державна політика має чітке спрямування на надолуження втраченого, на відбудову та відновлення, на інноваційне випереджальне економічне зростання та євроінтеграцію. У цих процесах важливо озброїтися усвідомленням того, що «освіта, професійна кваліфікація, розвинені таланти, здоров'я, що розуміються як поняття людського капіталу, мають конкретну економічну вартість» [2].

Реалізація ключового орієнтуру Національної економічної стратегії на період до 2030 року щодо декарбонізації економіки: підвищення енергоефективності, розвитку відновлюваних джерел енергії, розвитку циркулярної економіки та синхронізації із ініціативою «Європейський зелений курс» актуалізує питання розвитку людського капіталу шляхом спрямування державної політики на побудову системи взаємопов'язаних пріоритетів економіки, екології, культури, освіти, національної та європейської систем кваліфікацій для забезпечення зайнятості різних категорій населення. На основі використання потенціалу перевірених продуктивних систем розвитку економіки постає необхідність створення, обґрунтування і впровадження інноваційних форм, методів та виробничих технологій для підвищення продуктивності праці, енергоефективності, доданої вартості в промисловості, в будівництві, у різних господарських галузях та сферах життєдіяльності людини. Збагачення національної системи кваліфікацій новими професійними кваліфікаціями забезпечить зростання внутрішніх можливостей України з продукування знань та їх використання у відновленні країни в повоєнний період та досягненні європейського рівня добробуту.

Актуальність дослідження. Розроблення національної концепції стійкого розвитку зеленої економіки ґрунтується на дотриманні принципів Європейського зеленого курсу (European Green Deal) [3], Європейської рамки компетентностей для стійкого розвитку (GreenComp. The European sustainability competence framework) [4], ESG стандартів – «навколишнє середовище, суспільство, управління» (environmental, social, governance) [5]. Положення цих нормативних актів та документів зорієнтовані на досягнення кліматичної нейтральності Європи до 2050 року шляхом участі усіх заінтересованих сторін, у тому числі й національної системи освіти, у формуванні основних засад Зеленої стратегії України.

20–21 вересня на Міжнародному форумі сталого розвитку 2023 у Києві та Гаазі (Нідерланди) провідні експерти зі сталого розвитку, представники української влади, бізнес-сектору України та Європейського союзу, громадських організацій, програм ООН, а також дипломати та журналісти обговорювали теми переходу України до зеленої

економіки та фінансування відбудови країни після війни. Результатом спільної роботи стало формування основних засад Зеленої стратегії України на наступні 20 років, яка ґрунтуватиметься на принципах сталості з урахуванням вимог європейської та євроатлантичної інтеграції, міжнародного партнерства, а також нинішніх викликів.

Пріоритетними завданнями реалізації Зеленої стратегії України є: створення умов для сталого відновлення та відбудови країни після війни, підвищення соціальних показників добробуту населення, забезпечення рівного доступу до праці та розвитку регіональних ринків, покращення якості системи освіти та розвитку людського капіталу шляхом формування сучасних професійних кваліфікацій для навчання протягом життя.

Варто зазначити, що план зеленого переходу України, особливо у частині оновлення та створення сучасних кваліфікацій згідно з критеріями «зеленого курсу», неможливо реалізувати без консолідації зусиль міжнародних партнерів, представників органів державної влади та регіональних управлінь, бізнесу, громадських організацій та системи професійної освіти на засадах соціального/державно-приватного партнерства. Керуючись принципом відповідальності у державно-приватному партнерстві, «як зобов'язання, що їх добровільно беруть на себе компанії, підприємства для вирішення суспільно значущих проблем на галузевому, регіональному й національному рівнях», реалізовується освітня ініціатива формування стійкого розвитку зеленої економіки відповідно до візії Європейської рамки компетентностей для стійкого розвитку та навчання протягом життя.

Йдеться, насамперед, про рівень відповідальності та активності системи професійної освіти у реалізації міжнародних та національних програм сталого розвитку зеленої економіки шляхом:

- формування змісту сучасних професійних (повних/часткових, мікрокваліфікацій) кваліфікацій та створення умов для їх здобуття, підвищення й підтвердження молоддю та дорослим населенням;
- оновлення програм первинної професійної підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації нинішніх і потенційних здобувачів освіти, працівників підприємств сучасним змістом «зелених компетентностей» (екологічні цінності, екологічне та аналітичне мислення, особисте сприяння природі, адаптування обізнаність щодо стійкого розвитку тощо).

Результати дослідження експертами секторів та робочих місць, що потребують «зелених» навичок, засвідчують зростання попиту на традиційні «зелені» навички (основи безпеки праці та здоров'я) та сучасні навички стратегій впровадження бізнесу, орієнтованого на сталий розвиток, однак «кількість працівників, котрі здобувають «зелені» навички, та розвиток «зелених» професій усе ще надто незначні,

щоб здійснювати вагомий трансформаційний вплив на економіку» [7, с. 405]. Недостатня професійна підготовка кваліфікованих робітників із «зелених» професій може призвести до серйозних проблем, адже випускники виявляються не готовими до викликів реального виробничого контексту. Така ситуація також негативно позначається на їхній здатності конкурувати на ринку праці, оскільки роботодавці віддають перевагу кандидатам з практичними навичками енергоефективної діяльності. Рішенням цього питання є інтеграція більшої кількості практичних елементів у навчальні програми. Це охоплює лабораторні заняття, роботу над проєктами, стажування в енергетичних організаціях. Зазначимо, що такий підхід дає змогу кваліфікованим робітникам активно використовувати теоретичні знання в практичній діяльності, формувати практичні навички та осмислювати можливості їхнього внеску в розвиток відновлюваної енергетики [8, с. 31].

З огляду на основні завдання концепції стійкого розвитку зеленої економіки щодо переходу від таких джерел енергії як вугілля чи природний газ до розвитку низьковуглецевої, у тому числі й відновлювальної енергетики, а також враховуючи сучасні підходи до реалізації Плану Відновлення України [9], зокрема щодо побудови кращого, ніж було (Build back better) з використанням передових екологічних технологій і забезпечення потенційних синергій для Європейського Союзу у контексті економічних можливостей та сприятливого зеленого експорту ресурсів національної енергетичної інфраструктури – актуалізується питання створення сучасних професійних кваліфікацій для підготовки фахівців, здатних у короткі терміни опанувати власне такі компетентності (включаючи і «зелені»), які забезпечать виконання вищезначених завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Останнім часом все більше відзначається актуальність теми професійних кваліфікацій для сталого розвитку зеленої економіки, що характеризується екологічною стійкістю, ефективністю використання ресурсів та соціальною справедливістю. Для цього потрібно не просто кількісно оцінювати вплив діяльності на довкілля, а й якісно рефлексувати над взаємозв'язками між різними сферами життєдіяльності людини [10]. Підходи до визначення компетентностей у сфері зеленої економіки є непростим завданням, яке потребує спеціальної методології, в основі якої – інтеграція принципів екологічної стійкості у педагогічний процес. Результати аналізу зарубіжних досліджень свідчать про необхідність розроблення нових педагогічних стратегій та навчально-методичних матеріалів для забезпечення взаємозв'язків між освітою, природним середовищем та економічною діяльністю. Спеціалізовані навчальні матеріали в цій сфері потребують включення не тільки теоретичних знань, але й практичних навичок, які б дали змогу фахівцям ефективно взаємодіяти з природними ресурсами

та використовувати відновлювальні джерела енергії. Концепція екологічної стійкості потребує ґрунтовного вивчення економічних, соціальних та екологічних аспектів професійної діяльності, зокрема науковці (Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L.) рекомендують враховувати ці аспекти у процесі розроблення нових педагогічних стратегій, зокрема в контексті професійної освіти. Реалізація таких підходів в освітньому процесі може значно підвищити рівень екологічної обізнаності й компетентності фахівців і населення [11].

Зрослі потреби у фахівцях із «зеленими» професійними кваліфікаціями є відповіддю на глобальні виклики, такі як зміни клімату та втрата біорізноманіття. Дослідження актуалізують центральну роль таких фахівців у відновленні та збереженні навколишнього середовища, а також у впровадженні екологічно сталого розвитку в різних секторах економіки [12; 13]; які є незамінними у плануванні та виконанні енергозберігаючих проєктів [14; 15]. Екологічні знання та навички стають основою для формування професійних кваліфікацій, які дають змогу ефективно використовувати енергетичні ресурси, що має важливе значення для сучасних промислових процесів, зокрема й управління відходами, їх класифікацією, переробкою та безпечним знешкодженням [15].

За сучасних організаційно-технічних змін у процесах виробництва, зумовлених широким розвитком цифрових технологій, використанням матеріалів, виготовлених на основі біо- і нанотехнологій зростає роль енергоефективних видів професійної діяльності, що забезпечують екологічно чисте й енергозберігаюче виробництво, а також значне підвищення продуктивності праці. У цих процесах важлива роль відводиться висококваліфікованій робочій силі, здатній ефективно використовувати нові форми організації праці, нарощувати свій професійний потенціал. Адже відомо, що підприємства, які інвестують підготовку і підвищення кваліфікації своїх робітників, швидше досягають зростання рентабельності та продуктивності праці. Зауважимо, що підвищення рівня продуктивності праці і пов'язане з ним зростання заробітної плати є важливими чинниками мотивації кваліфікованих робітників до набуття нових професійних навичок з метою запобігання відставанню їхніх компетенцій від динамічних технологічних змін, що відбуваються в сучасному виробництві. Це означає, що професійні навички і виробничі технології мають змінюватися одночасно. Особливо це стосується навичок, пов'язаних з «екологічно чистими» видами робіт й енергоефективними технологіями. Наприклад, для використання будівельних енергоефективних технологій необхідними є навички, пов'язані з монтажем, експлуатацією та обслуговуванням енергозберігаючого обладнання. Важлива також роль чисельних навичок з використання відновлювальних джерел енергії, здійснення заходів,

спрямованих на збереження природних ресурсів, скорочення обсягів шкідливих парникових газів [16].

Ураховуючи це, актуальності набирають зелені робочі місця, які стають важливим аспектом у структурі сучасного ринку праці та сприяють не лише економічному зростанню, але й позитивно впливають на стан навколишнього середовища [17; 18]. Це включає в себе, зокрема, промоцію відновлюваних джерел енергії, застосування методів рециклінгу та розроблення екологічно безпечних технологій [19], у тому числі й у галузі експлуатації теплових насосів. Теплові насоси є ключовим технологічним рішенням переходу до зеленої енергетики, що дає змогу значно знизити споживання фосільних видів палива і викидів CO₂ як у домогосподарствах, так і в промисловості та у сфері комунальних послуг [20; 21].

Такі технологічні новації потребують досліджень щодо їх інтеграції у зміст професійної освіти, розвитку гнучких підходів до управління ресурсами, що враховують екологічні, економічні та соціальні чинники, комплексного підходу до професійної підготовки фахівців, які можуть бути лідерами в сфері сталого розвитку зеленої економіки.

Відтак, професійні кваліфікації у галузі експлуатації теплових насосів мають стати основою розроблення навчальних програм, які сприятимуть застосуванню новітніх технологій в промисловості та виробництві, використанню розумних систем управління, інтеграції зелених технологій та оптимізації ресурсних потоків, збільшенню ефективності виробництва та зменшенню екологічного впливу [22; 23; 24].

Відповідно, зміст професійної підготовки таких фахівців потребує урахування концепції компетентнісного підходу та положень принципів: модульності, соціально-економічної відповідності, професійної спрямованості, наступності, динамічності, гнучкості, індивідуалізації, усвідомленої перспективи, інноваційної діяльності та євроінтеграції.

Новизна дослідження полягає в комплексному підході до аналізу «зелених» професійних кваліфікацій та визначенні методичних основ розроблення нормативних й навчально-методичних документів для підготовки кваліфікованих робітників.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає в обґрунтуванні професійних кваліфікацій для підготовки фахівців, які здатні продуктивно впроваджувати нові види джерел відновлювальної енергетики та сучасного теплопродуктивного обладнання; застосуванні вимог нормативних документів, методологічних й організаційних засад розвитку національної системи кваліфікацій та положень методичних основ щодо проєктування сучасного змісту професійної підготовки кваліфікованих робітників для сталого розвитку зеленої економіки.

Виклад основного матеріалу. Ураховуючи динамічний розвиток енергетичних технологій в світі,

а також нагальні потреби та ресурсний потенціал відновлювальних джерел енергії з'ясовано, що Україна може забезпечити до 50% від загального споживання енергетичних ресурсів. Стимулювання економіки країни та споживачів теплової енергії на заміщення природного газу, як джерела отримання тепла, іншими альтернативними енергозберігаючими системами (сонячна енергетика, теплові (опалювальні) системи) не може мати перспективного розвитку за відсутності якісно підготовлених кваліфікованих робітників. У Національному класифікаторі України ДК 003 «Класифікатор професій» до недавнього часу були відсутні сучасні «зелені» професії, а окремі професії, функціонально наближені до монтажу та обслуговування енергозберігаючих систем, характеризуються здебільшого традиційними знаннями, уміннями/навичками та передбачають виконання трудових функцій, що не співвідносяться із сучасними «зеленими» навичками раціонального впровадження та використання енергетичних технологій, які прогресують у світі.

Нормативні, методологічні та організаційні засади визначення, встановлення та використання професійних кваліфікацій інтегрує Національна система кваліфікацій, а кваліфікаційні рівні Національної рамки кваліфікацій співвідносяться із Європейською рамкою кваліфікацій. Взаємозв'язок між освітньою та трудовою сферами уможливило створення умов для розвитку професійних кваліфікацій. «Професійна кваліфікація – визнана кваліфікаційним центром, суб'єктом освітньої діяльності, іншим уповноваженим суб'єктом та засвідчена відповідним документом стандартизована сукупність здобутих особою результатів навчання та компетентностей, що дають змогу виконувати певний вид роботи або провадити професійну діяльність» [25].

Відтак, розроблення сучасних професійних стандартів, оновлення діючих кваліфікаційних характеристик та створення нових державних освітніх стандартів, освітніх програм підготовки кваліфікованих робітників для розвитку національної зеленої економіки України є завданням, що передбачає консолідацію зусиль усіх, хто заінтересований у розвитку людського капіталу та енергетичного відновлення України у повоєнний час.

З урахуванням досвіду співпраці з міжнародними партнерами щодо здійснення професійного навчання кваліфікованих робітників для відновлювальних джерел енергії та популяризації їх використання, у закладах професійної (професійно-технічної) освіти започатковано розроблення професійних кваліфікацій для підготовки фахівців у сфері обслуговування відновлювальних систем сонячної і теплової енергетики.

У рамках експерименту всеукраїнського рівня за темою «Професійна підготовка кваліфікованих робітників для сфери обслуговування відновлювальних систем сонячної і теплової енергетики»,

що реалізувався на базі Державного навчального закладу «Київський професійний коледж з посиленою військовою та фізичною підготовкою» [26] та Державного навчального закладу «Тернопільський професійний коледж з посиленою військовою та фізичною підготовкою» [27] упродовж 2018–2021 рр. [28] отримано такі результати:

– внесено до Національного класифікатора України ДК 003 «Класифікатор професій» нову професію 8169 Майстер з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики, де визначено завдання та обов'язки, знання та кваліфікаційні вимоги до майстра з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики III, II, I категорії [29];

– розроблено та внесено до Реєстру професійних стандартів професійний стандарт 8169 «Майстер з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики», де визначено завдання та обов'язки, знання та кваліфікаційні вимоги до майстра з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики III, II, I категорії; визначено 6 трудових функцій, 20 професійних компетентностей майстра з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики [30];

– розроблено проєкт стандарту професійної (професійно-технічної) освіти за професією «Майстер з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики» за модульно-компетентнісним підходом, що вміщує загальні вимоги щодо його реалізації, визначає загальні, професійні та ключові компетентності за кожною професійною кваліфікацією. Стандартом визначено перелік та зміст 11 навчальних модулів, описано зміст знань та умінь для 41 професійної компетентності за кожною з трьох кваліфікацій, що відповідають кваліфікаційним вимогам до майстра з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики III, II, I категорії;

– розроблено та впроваджено навчально-методичний комплекс для забезпечення професійної підготовки кваліфікованих робітників за професією «Майстер з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики», що містить шість освітніх програм навчальних модулів для здійснення сертифікованої підготовки робітників, перепідготовки дорослого населення за частковими професійними кваліфікаціями (окремими модулями) «Фотоелектричні установки», «Монтаж та налагодження геліо-систем», «Помпи тепла (Теплові насоси)», «Основи енергоаудиту», «Моніторинг та аналіз роботи систем ВДЕ», «Обслуговування та поточний ремонт систем ВДЕ»;

– введено в експлуатацію навчально-практичний комплекс: навчально-практичний центр відновлювальної енергетики, майстерню-лабораторію систем відновлювальної енергетики, майстерню-лабораторію монтажу та обслуговування інсталяцій відновлювальної енергетики, навчально-виробничу сонячну електростанцію – що забезпечило належні

умови для мультиплікації актуального освітнього та практичного досвіду серед закладів освіти м. Києва та регіонів та сприяє формуванню енергоефективної компетентності здобувачів освіти та представників широких кіл населення.

Результати експерименту успішно імплементуються у системі професійної освіти. Так, за професією «Майстер з монтажу та обслуговування систем відновлюваної енергетики» здійснюється первинна професійна підготовка, перепідготовка та підвищення кваліфікації майбутніх кваліфікованих робітників у ДПТНЗ «Дніпровський центр професійно-технічної освіти», Київському професійному коледжі з посиленою військовою та фізичною підготовкою, ДНЗ «Тернопільський професійний коледж з посиленою військовою та фізичною підготовкою».

У контексті забезпечення сталого економічного розвитку держави зростає попит різних сфер економічної діяльності, домогосподарств та побуту на альтернативні системи опалення. Зокрема, посилення попиту на теплові насоси зумовлює тенденцію збільшення їх постачання від виробників країн ЄС в Україну, водночас, існує нестача кількості кваліфікованих робітників для виконання робіт у галузі експлуатації теплових насосів. Це потребує створення нових професійних кваліфікацій для застосування теплових насосів.

З цією метою Товариство з обмеженою відповідальністю «Інженерно-технічний центр «ІВІК» ініціювало створення нової професії 7239 «Майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів» та розроблення відповідного професійного стандарту, що містить три повних (майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів III, II, I категорії) та дві часткових (асистент майстра з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів, поводження з холодоагентами) кваліфікацій, які співвідносяться з відповідними рівнями НРК.

Професійний стандарт «Майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів» слугує основою для розроблення Державного освітнього стандарту з цієї професії та освітніх програм, навчально-методичного забезпечення, що базуються на компетентнісному підході та є релевантними потребам ринку праці. Здобувачі освіти зможуть отримувати документи державного зразка (диплом, свідоцтво) із присвоєнням освітньої кваліфікації «кваліфікований робітник» та відповідних професійних кваліфікацій.

Заклади професійної освіти та суб'єкти господарювання в перспективі можуть організувати професійно-технічне навчання та підвищення кваліфікації за професією «Майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів» за умов наявності ліцензованих навчальних програм курсової підготовки, а організувати дуальне навчання на засадах партнерства із виробничими, інжи-

ніринговими та ін. компаніями, які мають досвід роботи з кліматичною та холодильною технікою та умови для забезпечення професійно-практичної підготовки майбутніх кваліфікованих робітників.

Впровадження професійного стандарту дає змогу своєчасно реагувати на потреби ринку праці у кваліфікованих робітниках в галузі експлуатації теплових насосів та розробляти короткострокові навчальні програми курсової підготовки кваліфікованих робітників з професії «Майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів». Наприклад, навчальна програма курсової підготовки майстрів з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів включає такі компоненти: профіль; структура навчальної програми; зміст навчальної програми; процедура, методи та інструменти оцінювання; використані джерела та додатки (тестові завдання, приклади комплексних практичних робіт). Структура навчальної програми охоплює 9 навчальних модулів, зокрема:

– професійна кваліфікація «Майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів III категорії» передбачає опанування такими навчальними модулями: «Вступ у професію», «Організація та забезпечення робіт», «Монтаж системи теплового насосу», «Запуск системи теплового насосу в роботу»; «Поводження з холодоагентами», «Документування»;

– професійна кваліфікація «Майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів II категорії» окрім попередніх модулів включає: «Обслуговування системи теплового насосу» (2 год.), «Налагодження системи теплового насосу»;

– професійна кваліфікація «Майстер з монтажу, обслуговування, ремонту та налагодження теплових насосів I категорії» передбачає опанування такими навчальними модулями нижчих категорій, а також «Ремонт системи теплового насосу».

За результатами опанування навчальними модулями, зміст яких співвідноситься із вимогами про-

фесійного стандарту, слухачі отримують сертифікат про присвоєння повної/часткової професійної кваліфікації. Навчальна програма курсової підготовки дає змогу незайнятому населенню, у тому числі ветеранам війни, зовнішньо та внутрішньо переміщеним особам підвищити свою конкурентоспроможність на ринку праці, соціалізуватися та адаптуватися до мирного життя, знайти стабільне джерело доходу завдяки працевлаштуванню у галузі експлуатації теплових насосів. Фахівці, у тому числі ветерани війни, які пройшли таку підготовку, зазвичай отримують вищу заробітну плату в порівнянні з тими, хто немає таких професійних кваліфікацій.

Висновок. Отже, впровадження сучасних професійних кваліфікацій для сталого розвитку зеленої економіки є важливим для розвитку ринку праці, створення нових робочих місць, вдосконалення системи неперервної професійної освіти, формування висококваліфікованих фахівців у галузі відновлювальних джерел енергії.

Ефективному розвитку зелених професійних кваліфікацій сприяє залучення до цих процесів усіх заінтересованих сторін: урядових структур, промислових підприємств, приватних компаній, наукових установ, закладів освіти та учасників освітнього процесу, громадських та міжнародних з метою економічного відновлення країни та відповідності європейським тенденціям щодо збільшення використання відновлювальних джерел енергії у різних сферах економічної діяльності, домогосподарствах та побуті.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати цього дослідження можна використовувати для розвитку державної політики у сфері професійної освіти, національної системи кваліфікацій та ринку праці. Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні ефективності розвитку «зелених» професійних кваліфікацій та їх довгострокового впливу на економіку та соціальну стабільність країни у повоєнний час.

Література

1. Кабінет Міністрів України. Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року. Відомості Верховної Ради України. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-nacionalnoyi-eko-a179> (дата звернення: 20.10.2023).
2. Ничкало, Н. Г. Людський капітал у мирний час і в добу російської агресії проти України. *Професійна освіта*, 2022, 4, 2–4.
3. European Commission. European Green Deal. Retrieved from: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення: 20.10.2023).
4. Bianchi, G.; Pisiotis, U. & Cabreta, M. GreenComp – The European sustainability competence framework. In Punie, Y. and Vascigalupo (eds.). JRC Science for Policy Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
5. Кіржецька М.С., Ю. І. Кіржецький Ю. І. Актуальні аспекти сталого розвитку бізнесу за ESG стандартами в Україні. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія «Проблеми економіки та управління» <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2022/oct/28842/vse-34-42.pdf> (дата звернення: 20.10.2023).
6. Valentyna Radkevych. Development principles of public-private partnerships in vocational education and training in the postwar period. *Professional Pedagogics*. Issue: 2(25) 2022 / The Institute of Vocational Education of NAES of Ukraine; EB: V.O. Radkevych (EIC) et al – Kyiv, pp. 104 – 114. URL: <https://doi.org/10.32835/2707-3092.2022.25.104-114> (дата звернення: 20.10.2023).
7. Семігіна Т., Маркевич Н. «Зелені» компетентності та «зелені» навички: огляд міжнародного досвіду. *Grail of science*. 2022. № 16. С. 400–406. URL: <https://bit.ly/3mV60Lm> (дата звернення: 20.10.2023).

8. Радкевич, В., Радкевич, О., & Пригодій, М. Практико-орієнтована підготовка педагогів професійної освіти з відновлювальної енергетики для повосенної відбудови України. Проблеми інженерно-педагогічної освіти. 2023, 76. <https://doi.org/10.32820/2074-8922-2022-76-29-40>
9. План Відновлення України. Національні програми. URL: <https://recovery.gov.ua/> (дата звернення: 20.10.2023).
10. Schaltegger, S. Linking Environmental Management Accounting: A Reflective Review and Theoretical Outlook. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 2018, 9(5), 605–630.
11. Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 2011, 6(2), 203–218.
12. Gibbs, D., & O'Neill, K. Future green economies and regional development: a research agenda. *Regional Studies*, 2017, 51(1), 161–173.
13. Cohen, B., & Munoz, P. Sharing cities and sustainable consumption and production: towards an integrated framework. *Journal of cleaner production*, 2016, 134, 87–97.
14. Bowen, A., & Kuralbayeva, K. Looking for green jobs: the impact of green growth on employment. Grantham Research Institute Working Policy Report. London: London School of Economics and Political Science, 2015, 1–28.
15. Вербицький, Я. І. Особливості впровадження «зелених» бізнес-технологій в підприємстві.
16. Радкевич, В.О. Формування енергоефективної культури діяльності виробничого персоналу (на прикладі галузей, суміжних з будівельною): посібник: Київ, 2015. 124 с.
17. Strietska-Illina, O., Hofmann, C., Haro, M. D., & Jeon, S. Skills for green jobs: A global view. Geneva: International Labour Organisation.
18. Schmidheiny, S., & Zorraquin, F. J. Financing change: the financial community, eco-efficiency, and sustainable development. MIT press.
19. Чала, В. С. Концептуальна модель зеленої економіки у фреймі глобальних суспільних благ та сталого розвитку. Підприємництво та інновації, 2022, (25), 13–20.
20. Strietska-Illina, O., Hofmann, C., Haro, M. D., & Jeon, S. Skills for green jobs: A global view. Geneva: International Labour Organisation.
21. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., & Shukla, P. R. Global Warming of 1.5 C: IPCC special report on impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels in context of strengthening response to climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press.
22. Dincer, I., & Zamfirescu, C. Sustainable energy systems and applications. Springer Science & Business Media.
23. Geels, F. W. Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. *Research policy*, 2010, 39(4), 495–510.
24. Gibbs, D., & O'Neill, K. Future green economies and regional development: a research agenda. *Regional Studies*, 2017, 51(1), 161–173.
25. Верховна Рада України. Законодавство України. Про затвердження Національної рамки кваліфікацій. Постанова Кабінету Міністрів України. (№ 1341) від 23.11.2011 № 1341.
26. Київський професійний коледж з посиленою військовою та фізичною підготовкою. Офіційний веб-сайт. URL: <https://pkvfp.kiev.ua/> (дата звернення: 20.10.2023)
27. Тернопільський професійний коледж з посиленою військовою та фізичною підготовкою. Офіційна сторінка на Facebook. URL: <https://www.facebook.com/Ternopil.military.college/> (дата звернення: 20.10.2023).
28. «Професійна підготовка кваліфікованих робітників для сфери обслуговування відновлювальних систем сонячної і теплової енергетики». Звітні матеріали експерименту всеукраїнського рівня, 2021
29. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України наказ від 15 лютого 2019 року № 259 «Про затвердження Зміни № 8 до національного класифікатора ДК 003:2010
30. Реєстр кваліфікацій. Професійний стандарт «Майстер з монтажу та обслуговування систем відновлювальної енергетики». URL: <https://register.nqa.gov.ua/profstandart/majster-z-montazu-ta-obslugovuvanna-sistem-vidnovlualnoi-energetiki> (дата звернення: 20.10.2023)

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 502.175: [614.7:632.95](477.46)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.38>

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ ТА ДИНАМІКИ ВИКОРИСТАННЯ СТІЙКИХ ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНИКІВ У ЧЕРКАСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Жицька Л.І.¹, Хоменко О.М.¹, Аліфанова Г.В.², Бондаренко Ю.Г.³

¹Черкаський державний технологічний університет
бульв. Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси

²Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області
вул. Смілянська, 120, 18021, м. Черкаси

³Державна установа «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб
Міністерства охорони здоров'я України»
вул. Волкова, 3, 18005, м. Черкаси

zhytska_lyudmila@ukr.net, o.khomenko@chdtu.edu.ua, ukrgalina@ukr.net, ck-oblses@ukr.net

У статті піднято актуальні питання щодо безпеки обігу та використання стійких органічних забруднень (СОЗ) в Черкаській області. Застосування цих токсикантів для боротьби із різноманітними паразитами сільськогосподарських культур й підвищення врожайності, в лісовому господарстві, у парках та скверах, як засобу знищення шкідників, а також в побуті, як отрути для різних гризунів, за відсутності дієвої системи моніторингу сприяє накопиченню в об'єктах середовища й становить загрозу довкіллю.

Автори публікації зазначають, що шкідливі чинники впливу СОЗ у ґрунті не обмежуються їх прямою токсичною дією. В ньому утворюються стабільні метаболіти, які небезпечні для навколишнього середовища і ґрунтових біологічних організмів, відбувається зниження родючості земель. Порушення умов використання пестицидів є причиною загибелі бджіл, які запилюють плононосні квіти. А сукупність сприятливих факторів потрапляння цих сполук в організм людини і їх мутагенна дія, надалі, може бути однією з причин виникнення різних захворювань хімічної етіології.

Встановлено чітку тенденцію щодо збільшення асортименту пестицидів на ринку області, показано динаміку їх використання господарствами Черкащини, висвітлено результати досліджень залишків стійких органічних забрудників у ґрунті, сільськогосподарській продукції, питній воді та повітрі. Як альтернатива, рекомендується застосування біологічних методів захисту. Висвітлюється динаміка їх використання. Автори наголошують, що порушення регламентів застосування пестицидів в сучасних умовах є загрозою екологічній безпеці. Така ситуація потребує встановлення суворих правил і чіткої організації системи контролю за їх дотриманням. Автори висвітлюють напрямки практичного застосування результатів дослідження.

Ключові слова: екологічна безпека, стійкі органічні забрудники, динаміка використання пестицидів, забруднення довкілля, контроль залишків, біологічні методи захисту.

Ecological risk assessment for the environment and the dynamics of the use of persistent organic pollutants in the Cherkassy region. Zhitska L., Khomenko O., Alifanova G., Bondarenko Yu.

The article raises topical issues regarding the safety of circulation and use of persistent organic pollutants (POPs) in the Cherkassy region. The application of these toxicants to combat various parasites of agricultural crops and increase productivity, in forestry, in parks and squares, as a means of destroying pests, as well as in everyday life, as poisons for various rodents, in the absence of an effective monitoring system, contributes to the accumulation in objects environment and poses a threat to the environment.

The authors of the publication note that the harmful effects of POPs in the soil are not limited to their direct toxic effect. Stable metabolites are formed in it, which are dangerous for the environment and soil biological organisms; there is a decrease in soil fertility. Violation of the conditions for the use of pesticides is the cause of the death of bees that pollinate fruit-bearing flowers. And the combination of favorable factors for the entry of these compounds into the human body and their mutagenic effect may, in the future, be one of the reasons for the occurrence of various diseases of chemical etiology.

A clear trend has been established to increase the range of pesticides on the market of the region, the dynamics of their use by the farms of the Cherkassy region is shown, the results of research on the residues of persistent organic pollutants in soil, agricultural products, drinking water and air are highlighted. As an alternative, the use of biological protection methods is recommended. The dynamics of their use is highlighted. The authors emphasize that the violation of regulations for the use of pesticides in modern conditions is a threat to environmental safety. Such a situation requires the establishment of strict rules and a clear organization of the system of monitoring their compliance. The authors highlight directions of practical application of research results. *Key words:* environmental safety, persistent organic pollutants, dynamics of pesticide use, environmental pollution, residue control, biological methods of protection.

Постановка проблеми. Сучасний стан територіально-просторової, енергетичної та продовольчої безпеки, тривожна екологічна ситуація ставлять перед Україною складні завдання та виклики, пов'язані із збереженням необхідного рівня екологічної безпеки. В цьому контексті, проблеми можливих ризиків і негативного впливу стійких органічних забрудників (СОЗ) на довкілля та здоров'я населення потребують особливої уваги та контролю.

За своєю природою СОЗ, до яких відносяться пестициди, інсектициди, гербіциди та інші речовини, є фізіологічно активними сполуками, мають здатність до циркуляції у природних об'єктах, що призводить до їх потрапляння в атмосферу, ґрунт, воду і рослини. Здатність СОЗ не тільки зберігатися в навколишньому середовищі, але й біоакмулюватися у його складових, збільшуючи свою концентрацію та токсичність. Питання обігу й синергізм дії СОЗ привертає увагу науковців щодо діагностики впливу та оцінки можливих ризиків використання.

Актуальність дослідження. Протягом багатьох років наше суспільство було позбавлене інформації стосовно проблеми інтоксикації людей і природи пестицидами. Отриманий досвід використання засобів хімічного захисту рослин свідчить про те, що ми ніколи не будемо мати повної картини стосовно оцінки усіх наслідків впливу пестицидів на живі організми, адже зі збільшенням об'єму знань, досягнутого прогресу в техніці і методиках дослідження та спостережень, відкриваються все нові й нові, доволі неочікувані і, в основному, негативні наслідки їхньої дії, на які їх виробники ніяк не сподівались.

Сучасний рівень хімізації сільгоспвиробництва в умовах значної кількості й розширення асортименту пестицидів потребує встановлення суворих регламентів, що стосуються охорони навколишнього середовища від забруднення, і чіткої організації системи контролю за їх дотриманням. Динаміка обсягів пестицидів в Україні та зростання попиту щодо їх використання аграріями, а також населенням Черкаської області обумовлює актуальність цього питання.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Перспективи реалізації угоди про асоціацію України з Європейським Союзом вимагають створення дієвої системи екологічної безпеки щодо поводження із СОЗ та отрутохімікатами. Ефективне екологічне управління у відповідності до європейських і світових вимог обумовлює формування сталої системи контролю за обігом та накопиченням залишків пестицидів у довкіллі. Матеріали, що наведені у статті та проведені дослідження, сприятимуть визначенню пріоритетних завдань й розробки підходів щодо покращення екологічного контролю за обігом та використанням препаратів захисту рослин, і в першу чергу, в приватних господарствах області. Підняті проблемні питання токсичної дії СОЗ сприятимуть

розробці заходів щодо зменшення хімічного навантаження на сільгоспугіддя і навколишнє природне середовище, за рахунок стабільного і достатнього постачання біологічних засобів захисту, на основі наукових підходів та прогнозування.

Адже створення системного моніторингу токсикантів та використання технологій екологічного прогнозування щодо їх поширення сприятимуть досягненню умов екологічної безпеки і виконання міжнародних зобов'язань України у природоохоронній сфері [9].

Новизна викладеного матеріалу полягає в тому, що проаналізовано динаміку обігу пестицидів упродовж 1950–2022 років та сучасний стан використання стійких органічних забруднень господарствами районів Черкаської області, наведені дані щодо показників залишкових кількостей пестицидів в об'єктах довкілля та об'єми застосування біологічних методів захисту аграріями області. Результати дослідження можуть бути використані для пошуку шляхів стосовно скорочення кількості хімічних засобів захисту, раціонального ведення сільгоспвиробництва та охорони оточуючого середовища.

Аналіз останніх джерел і публікацій. Законом України «Про пестициди і агрохімікати», окрім встановлення правових відносини, щодо державної реєстрації, виробництва, закупівлі, транспортування, зберігання, торгівлі тощо, обумовлюються питання безпечності пестицидів для здоров'я людини та довкілля, визначаються права, обов'язки об'єктів й суб'єктів діяльності у цій сфері, а також повноваження органів виконавчої влади і посадових осіб щодо регулювання питань їх обігу, практичного використання та контролю [7].

Як стверджують деякі автори, якщо на початку 90-х років, загальний обсяг пестицидів, що застосовувався на полях нашої країни, становив близько 200 тис. т., то за даними Мінагрополітики та продовольства України, теперішня щорічна потреба сільгоспвиробників у засобах захисту рослин у середньому становить 22–25 тис. т препаратів [2, 15].

Разом з цим, Україна, яка підписала Стокгольмську конвенцію щодо стійких органічних забруднювачів, заборонила використання переважної їх більшості із «небезпечної дюжини», зазначених у списку Конвенції [15, 17–19]. На сьогодні у переліку дозволених до використання в Україні налічується понад 1000 пестицидів та агрохімікатів, які застосовують у різноманітних сферах людської діяльності. СОЗ накопичуються у сільськогосподарській продукції [8, 23]. Причому швидкість і глибина проникнення пестицидів залежать від безлічі факторів, пов'язаних як з ґрунтово-кліматичними особливостями (гранулометричним складом, вмістом колоїдів і сорбційною здатністю ґрунтів, кількістю опадів), а також із властивостями та дозами самих препаратів у воді [8, 13]. Причому автори зазначають, що під час потрапляння у водоймища, пестициди здатні включатися

у складні цикли, і, як наслідок, гідробіонти (риби, водні рослини тощо), а також мул можуть накопичувати значні їх кількості. До того ж урази загибелі флори і фауни відбуватиметься десорбція пестициду і його метаболітів у воду (вторинне забруднення водойми). Концентруючись у повітрі і дрейфуючи разом з фумігантами (газами), пилом, чи у вигляді дуже тонкого туману, разом із повітряними масами у вітряні дні з високими температурними показниками переміщуються на великі відстані, або ж піднімаються до значних висот в атмосфері [11]. Потрапляючи в природні екосистеми, такі, як лісові, де кожного року протрують 20–50 тисяч гектарів, ці хімічні препарати вбивають не тільки усі групи комах і безхребетних, а в тому числі фауну ґрунту, птахів, ссавців та є загрозою людському життю й здоров'ю [2]. Тобто, справляють не вибіркову дію на обрані види шкідників, як, зокрема, вірусні препарати, а чинять вплив на живі організми, які контактують з цими пестицидами, трофічними ланцюгами потрапляють у організм тварин та людей.

Серед негативних наслідків використання пестицидів, що найчастіше потрапляють в поле зору засобів масової інформації – загибель бджіл, яка відбувається за неконтрольного їх використання чи потрапляння за межі площ застосування. За твердженням фахівців Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) ці комахи запилюють більш як 75% різноманітних продовольчих культур. В ООН вважають, що скорочення колоній представників ентомофауни, які запилюють плодоносні квіти, не сприяє вирішенню питання продуктів харчування у світі, і несе в собі загрозу продовольчій безпеці [21].

Цілий ряд незалежних досліджень щодо питання впливу і поширення пестицидів у навколишньому середовищі вказують на потенційну загрозу СОЗ людському організму. Адже, навіть проведені запобіжні санітарно-гігієнічні заходи, в умовах використання пестицидів, не зменшують фіксації випадків їх надходження в повітря робочих та житлових приміщень, ґрунтові води, тощо. Також відмічають наявність їх залишкових кількостей у продуктах харчування [12, 22].

Сукупність сприятливих факторів потрапляння цих сполук в організм людини і їх мутагенна дія, надалі, може бути однією з причин виникнення різних захворювань хімічної етіології. Вважається, що нервова система дитини, в процесі онтогенезу, є найбільш вразливою до впливу хімічних речовин. Накопичені епідеміологічні дані засвідчують, що вплив забруднювачів, якими є пестициди, на організм у пре – і постнатальний періоди, в подальшому, може призвести до розвитку наступних неврологічних захворювань у дітей: аутизму, порушень поведінкових реакцій, виникнення гіперактивності, нездатності до навчання, порушення психіки й різних емоційних проблем. Спостереження епідеміоло-

гів вказують на зв'язок СОЗ із порушенням розвитку нервової системи у дітей, яке складно ідентифікувати [16].

Проведені дослідження в штаті Канзас (США), виявили, що у разі використання фермерами у полі пестицидів групи 2,4-Д, у них в 6 разів збільшуються ризики виникнення ракових пухлин, а у тих хто безпосередньо готував робочі розчини – захворюваність зростала у 8 разів [20]. Існує достатня доказова база свідчень, що немає жодного пестициду, який би у дослідженнях на багатьох тест-системах не показав мутагенної, тератогенної або пухлинотвірної активності. Труднощі з прогнозуванням послідуєчої дії пестицидів посилюються багаторазовістю складності життєвих циклів у живих організмів, наявністю різноманітних взаємозв'язків між компонентами біогеоценозу, що створює умови екологічної небезпеки.

Перелік пестицидів та агрохімікатів, які можуть використовуватись на території України, визначається на підставі Державного реєстру пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Цей реєстр є відкритим, оновлюваним і доступним на сайті Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [4, 14]. Левова частка цих препаратів припадає на країну – виробника Китай, а саме 262 види одиниць продукції, частка України в цьому списку складає 62 види [3]. Аналіз показав, що пестициди є необхідною складовою агропромислового комплексу світу, оскільки вони не тільки захищають сільгосппродукцію від шкідників та хвороб, але значно збільшують врожайність та сприяють стабільності розвитку аграрного сектору [5, 6, 18].

Розвиток хімічної промисловості дозволяє щорічне вилучення сотні пестицидних препаратів, раніше затверджених державними регуляторними службами як «безпечні» для здоров'я та навколишнього середовища, але з часом зафіксовані як «особливо небезпечні», і розміщувати на ринку нові. Тому сьогодні потрібно здійснювати постійну екологічну оцінку обігу пестицидів, а їх використання в окремих галузях народного господарства, у колективних та індивідуальних садах і городах, в закладах охорони здоров'я та побуті, а також продаж їх населенню повинно здійснюватись тільки у відповідності з державними санітарними правилами ДСП 8.8.1.2.001-98 «Транспортування, зберігання та застосування пестицидів у народному господарстві».

Мета та задачі дослідження. Метою роботи було, використовуючи статистичні, бібліографічні, спостережні, лабораторно-інструментальні й хроматографічні методи досліджень, провести екологічну оцінку можливих ризиків використання стійких органічних забруднень господарствами Черкаської області та перспектив їх накопичення у об'єктах навколишнього середовища. У завдання роботи входило: проаналізувати наукові публікації щодо

проблем використання стійких органічних забрудників та їх безпеки, визначити можливі ризики для довкілля та здоров'я населення, охарактеризувати динаміку обігу СО₂ у Черкаській області, дослідити наявність залишкових кількостей пестицидів у повітрі, ґрунті, водоймах та питній воді, продуктах харчування, розробити рекомендації щодо умов безпеки використання хімічних засобів захисту та їх альтернативних видів в умовах Черкащини, визначити перспективи подальших досліджень.

Результати досліджень. Сучасна система ведення землеробства у Черкаській області, як в цілому і в Україні, що базується на принципі отримання максимально чистого прибутку від рослинництва, з його мінімальними матеріально-грошовими витратами, спонукає аграріїв до використання хімічних засобів захисту рослин. Здатність СО₂ не тільки зберігатися у навколишньому середовищі, але й біоакумулюватися, збільшуючи свою концентрацію та токсичність у об'єктах довкілля, становить певні ризики для функціонування екосистем та здоров'я населення регіону, що стимулює до постійного їх контролю.

Контроль обігу пестицидів і отрутохімікатів у Черкаській області здійснює Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області, зокрема, управління фітосанітарної безпеки, відділ контролю за обігом засобів захисту рослин міста Черкаси. Спеціалісти управління фітосанітарної безпеки ГУ Держпродспоживслужби в Черкаській області та його районних підрозділів аналізують оперативну інформацію щодо проведення робіт із захисту рослин в осінньо-зимовий, ранньовесняний періоди і в період інтенсивних робіт аграріїв на полях. Поширення знань щодо застосування існуючих видів пестицидів за тематикою: «Сучасні технології вирощування, захисту сільськогосподарських культур та діяльність осіб пов'язаних з транспортуванням, застосуванням та торгівлею пестицидами і агрохімікатами» й здійснення фітосанітарного контролю упродовж вегетаційного періоду сільськогосподарських культур у господарствах області також стосується специфіки їхньої роботи.

Сільськогосподарські землі Черкаської області становлять більшу частину у структурі земельного фонду та відповідно складають 69% від загальної площі області. Серед сільськогосподарських земель провідне місце належить ріллі, що становить 87,7% [1]. Зрозуміло, що в періоди росту і розвитку сільськогосподарські культури зазнають нападу шкідників, уражаються хворобами, спостерігається поширення бур'янів, тому вчасне застосування заходів зі зниження чисельності шкідливих організмів дає змогу пройти найбільш складний в агрономічному розумінні період досить вдало. Дані стосовно обігу хімічних засобів рослин у господарствах області засвідчують, що в умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, для збільшення вро-

жаю та його збереження аграрії Черкащини впроваджували їх застосування упродовж багатьох років (таблиця 1).

Як свідчать дані таблиці, починаючи з 50-х років на полях Черкащини широко застосовуються стійкі органічні забруднювачі для захисту рослин від шкідників, хвороб рослин та бур'янів. Пізніше це продовжується після отримання країною незалежності, до того ж у більших масштабах. Динаміку масових показників використання пестицидів наведено на рисунку 1.

Аналізуючи дані рисунка, можна зазначити, що починаючи з 2009 року показники використання СО₂ аграріями та населення Черкаської області зростають. Зокрема, у 2018 році захист посівів с/г культур від шкідливих об'єктів проводиться на площі 2585,2 тис. га, в тому числі від бур'янів оброблено 1179,2 тис. га, від шкідників – 575,1 тис. га та захищено від хвороб 567,9 тис. га. Проводиться боротьба із клопом шкідливою черепашкою на площі 32,8 тис. га, тощо.

Система ведення землеробства у Черкаській області, в сучасних умовах, базується на принципі отримання максимально чистого прибутку від рослинництва з його мінімальними матеріально-грошовими витратами. Такий підхід і спонукає населення та сільгоспвиробників застосовувати хімічні засоби захисту. Динаміку їх використання районними господарствами вже у 2022 році наведено у таблиці 2.

Аналізуючи динаміку використання СО₂ для боротьби з бур'янами й захисту насіння та рослини від збудників зовнішніх і внутрішніх інфекцій, різноманітних шкідників і хвороб, як обов'язкових технологічних прийомів господарювання, нами встановлено, що таке широке і, навіть, безконтрольне застосування пестицидів, інсектицидів, фунгіцидів та інших препаратів, сприяє виникненню стійких до пестицидів форм в популяціях шкідників, які випереджають створення нових препаратів.

У багатьох розвинутих країнах питання зменшення використання пестицидів на 50% набуває все більшої актуальності. Це відбувається на тлі виникнення низки негативних явищ, пов'язаних з широким застосуванням синтетичних засобів захисту. Аналіз динаміки використання зазначених речовин господарствами області показав зростання їх застосування у 2022 році порівняно з 2009 роком, зокрема, пестицидів – на 22,7%, фунгіцидів – на 32,25%, гербіцидів – на 39,87%. Знизилось використання протруйників на 51,0% та інсектицидів на 52,1%.

Діаграми об'ємів використання синтетичних засобів захисту рослин від шкідників, хвороб та бур'янів у 2021 та 2022 роках в господарствах Черкаської області, представлені на рисунках 2 та 3.

Деякі хімічні препарати – недостатньо ефективні проти ґрунтових патогенів, що уражують кореневу систему рослин. Разом з цим, відбувається накопичення пестицидних залишків, здатних до міграції

Дані з проведення заходів захисту рослин від шкідників, хвороб та бур'янів у господарствах Черкаській області протягом 1950–2022 р. р.

Роки	Пестициди, тис. га	Інсектициди, тис. га	Фунгіциди, тис. га	Гербициди, тис. га	Протруй- ники, тон	Десикати, тис. га	Родентициди, тис. га
1950	–*	1284,00	27,00	5,00	–*	–*	95,00
1951–1955	–*	1335,00	28,00	15,00	–*	–*	118,00
1956–1960	–*	1405,00	42,00	30,00	–*	–*	143,00
1961–1965	–*	1501,00	48,00	63,00	–*	–*	83,00
1966–1970	–*	1435,70	46,00	98,90	–*	–*	83,00
1971–1975	–*	1093,9	87,30	176,40	–*	–*	179,00
1978	–*	1131,70	89,00	301,00	–*	–*	146,00
1986	–*	902,20	399,10	648,80	–*	–*	203,00
1990	–*	554,70	325,90	473,00	–*	–*	240,00
1992	–*	300,40	272,60	482,50	–*	–*	194,70
2000	–*	85,60	63,90	244,70	–*	–*	169,70
2009	2068,70	572,70	379,90	915,10	125,30	35,70	129,60
2010	2291,10	592,70	467,40	1051,80	124,30	46,30	98,72
2014	3053,20	662,60	602,44	1349,90	122,60	56,70	79,60
2017	2481,80	484,16	507,69	1161,54	67,63	44,05	7,52
2018	2585,20	565,43	567,87	1179,21	75,56	56,49	9,77
2019	2370,90	575,26	498,09	1044,43	62,78	34,13	1,60
2020	2232,50	428,55	473,23	1083,37	67,54	28,88	6,64
2021	2436,90	546,64	576,89	1090,12	63,32	60,81	0,78
2022	1931,80	452,15	446,35	958,77	53,73	30,41	3,08

* – немає архівних даних

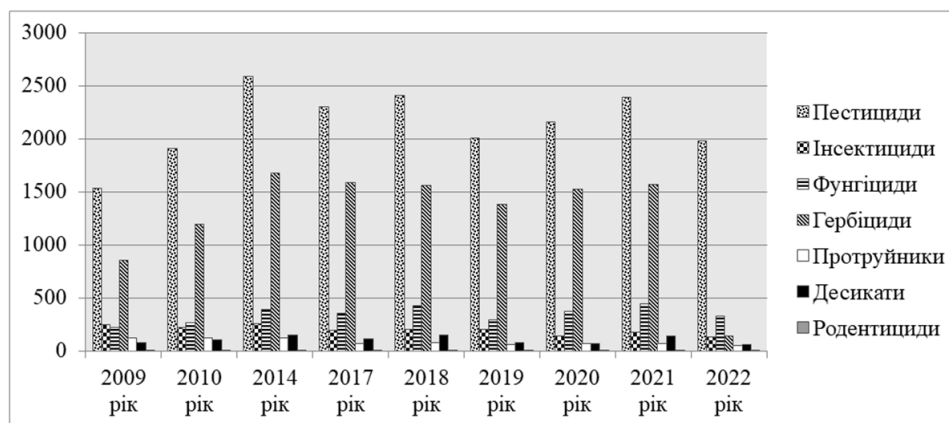


Рис. 1. Динаміка використання пестицидів у господарствах Черкаської області, т

в різних об'єктах довкілля. Наслідком цього є також забруднення сільськогосподарської продукції, продуктів харчування, підземних вод та ґрунтів різноманітними хімічними агентами.

Державна установа «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» згідно з ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001, щодо показників концентрацій забруднювальних речовин і методів контролю,

та відповідно до нормативної документації (ДСТУ, ТУУ, зокрема, визначення хлорорганічних пестицидів у питній воді за ДСТУ ISO 6468-2002, а також ДСТУ EN 12393-1,2,3:2003; ISO EN 15662:201 й інші) на конкретний продукт, проводить періодичний контроль щодо вмісту залишків пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах та об'єктах навколишнього середовища [10]. Регламент (ЄС) № 396/2005 Європейського Парламенту і Ради від

Об'єми використання стійких органічних забрудників господарствами районів Черкаської області упродовж 2022 року, т

Райони Черкаської області	Пестициди	Інсектициди	Фунгіциди	Гербіциди	Протруйники	Десикати	Родентициди
Звенигородський	582,44	40,91	111,51	390,39	18,57	20,95	0,11
Золотоніський	489,34	17,24	45,81	398,25	8,84	19,20	
Уманський	435,69	30,29	85,99	290,38	14,81	14,20	0,02
Черкаський	468,64	38,38	79,64	332,64	11,51	6,32	0,15
Всього	1976,1	126,82	322,95	1411,66	958,77	53,73	0,28

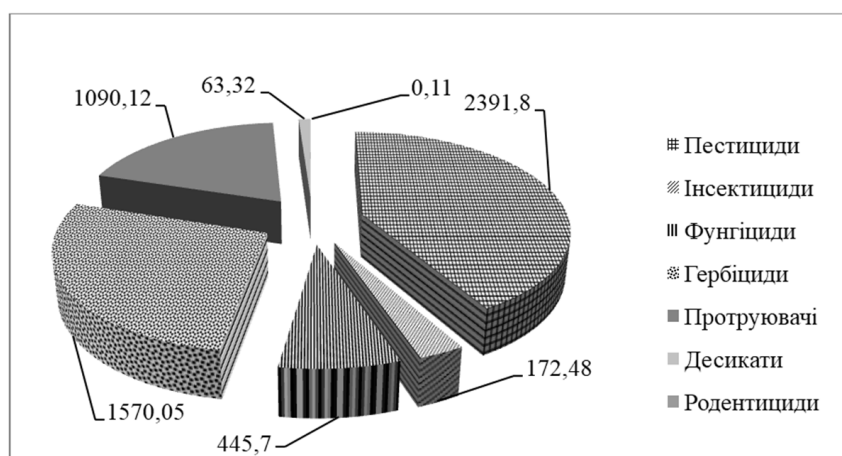


Рис. 2. Об'єми використання синтетичних засобів захисту рослин від шкідників, хвороб та бур'янів у 2021 році в господарствах Черкаської області, т

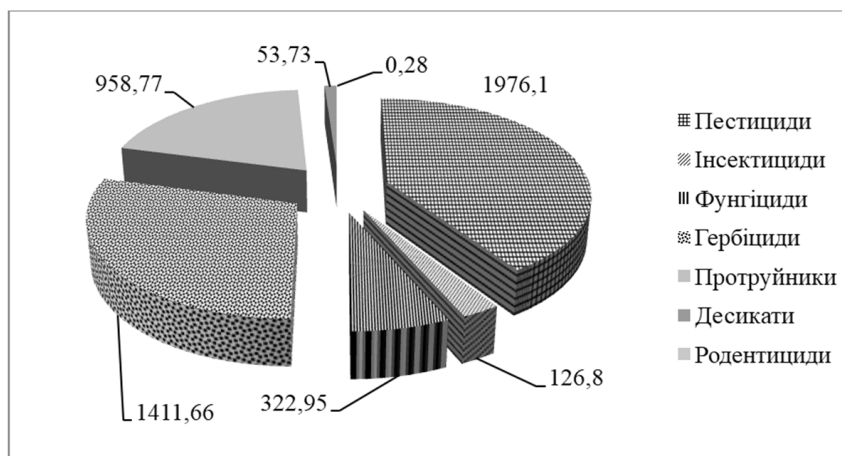


Рис. 3. Об'єми використання синтетичних засобів захисту рослин від шкідників, хвороб та бур'янів у 2022 році в господарствах Черкаської області, т

23 лютого 2005 року щодо максимальних залишків пестицидів в харчових продуктах, а також кормах рослинного і тваринного походження, який вносить зміни до Директиви Ради № 91/414/ЕЕС «Підходи до аналізу вмісту пестицидів» вказує, що головну роль у контролі пестицидів відіграють хроматографічні методи.

Загальну кількість досліджених проб щодо вмісту СОЗ у об'єктах дослідження упродовж останніх років наведено на рисунку 4.

На сьогодні найбільш забрудненими залишаються продукти рослинного походження (овочі). Зокрема, виявлено перевищення МДР пестицидів

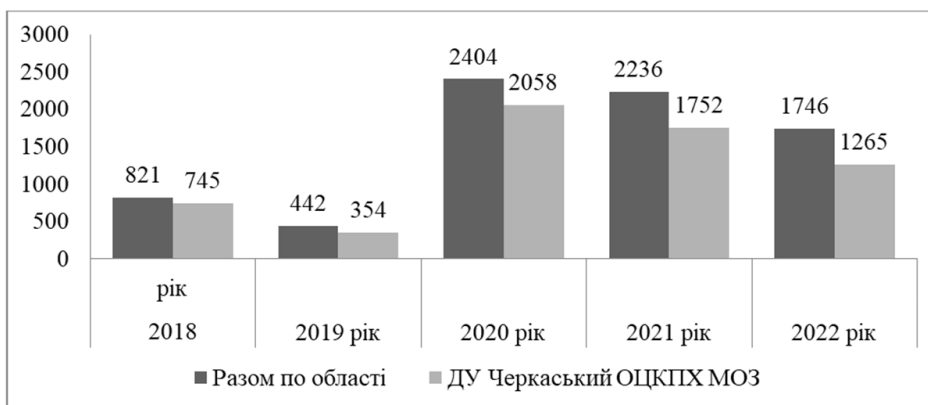


Рис. 4. Динаміка кількості досліджених проб на вміст пестицидів виконаних лабораторіями ДУ «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України»

у картоплі (імідаклоприд), буряку столовому (диметоат), воді стічній (флудіоксаніл, металаксил, клотіанідін – в 2–3 рази), у ґрунті (диметоат, хізалофол – етил, α – цигалотрин, прометрин, тебуконазол) тощо. Питома вага продукції забрудненої залишковими кількостями пестицидів представлена на рисунку 5.

Впродовж останніх років питома вага забруднених харчових продуктів залишковими кількостями пестицидів коливалась в межах від 5,4 до 2,2%, а з перевищенням гігієнічних нормативів зменшилась до 0,11% проти 0,8% у 2017 році. Перевищення гігієнічних нормативів відмічалось переважно в кабачках та буряку столовому.

Відповідно до Положення про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення, до складу його виконавців включені Мінагрополітики (нині Мінекономіки), Міндовкілля, Держгеокадастр, Держводагентство та Національна академія аграрних наук України. Незважаючи на зафіксовані випадки порушення норм регламенту щодо використання пестицидів та отрутохімікатів, моніторинг на цих територіях не здійснюється. Через це не має

даних, які б дозволили попередити негативні явища від використання таких речовин.

Згідно із ст. 34 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» ДУ «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» здійснює контроль залишків пестицидів та агрохімікатів у об'єктах довкілля, рисунок 6.

Відбір проб та їх технічний аналіз проходить з додержанням вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища всіма державними органами, незалежно від форм власності і підпорядкування, в основу якого покладено гарантування людині права на безпечне життя і довкілля.

Фіксація залишків CO₂ у досліджених пробах спонукає до пошуку високоефективних і екологічно безпечних систем захисту рослин, альтернативних хімічним методам. Серед інтегрованих методів важливе місце займає біологічний захист, що базується на застосуванні природних ентомофагів, біологічних препаратів та біологічно-активних речовин. Проте на сьогодні, використання біологічних мето-

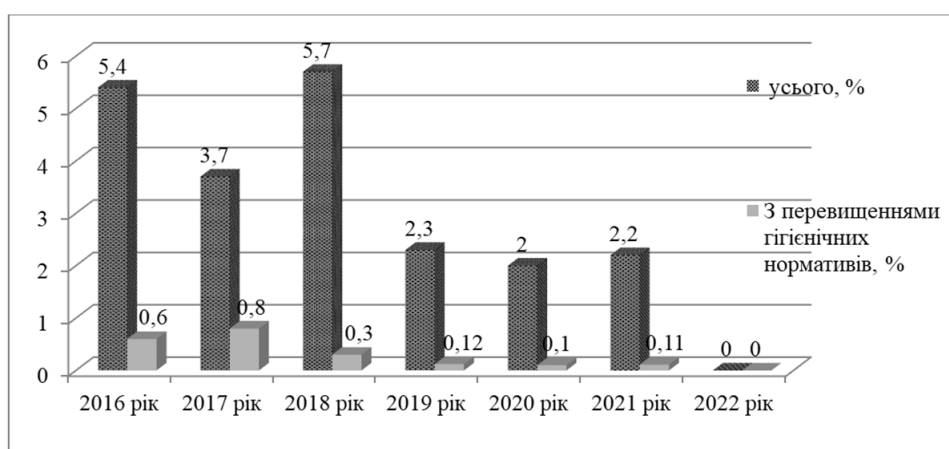


Рис. 5. Питома вага продукції рослинного та тваринного походження, забрудненої залишковими кількостями пестицидів з перевищенням гігієнічних нормативів, (%)

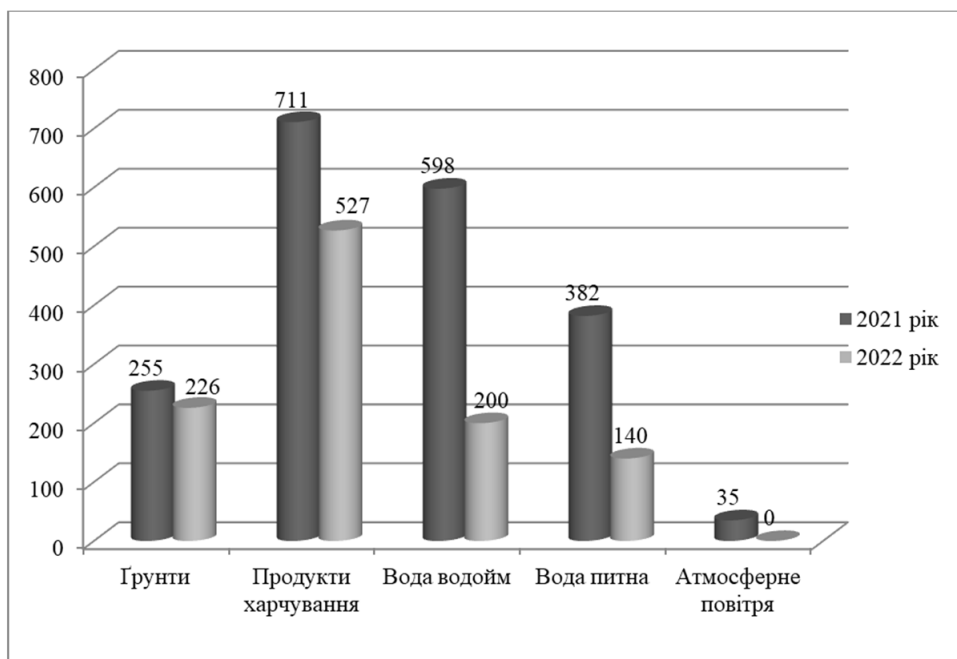


Рис. 6. Кількість досліджень вмісту пестицидів виконаних ДУ «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» упродовж 2021–2022 р.

дів застосовується на незначних площах угідь і становить близько 1,1% від загальної площі сільгоспземель в області, рисунок 7.

В недалекому минулому основою основ сільськогосподарського виробництва була сівозмінна, а на сьогодні вона відсутня в більшості господарств, що фактично приводить до виснаження земель. Разом з цим під час планування сівозмін великі площі засіваються культурами, що потребують багаторазової обробки пестицидами і розташовані вони поблизу населених пунктів, що категорично заборонено ДСанПін 8.8.1.2.001-98, розділ 8 пункт 8.7 «Охорона атмосферного повітря».

Втрати гумусового шару, розвиток ерозійних процесів у ґрунті, збільшення площ кислих і засоленних ґрунтів, зменшення поживних речовин за рахунок втрати корисної мікрофлори, забруднення пестицидами та важкими металами – це наша недалека перспектива.

Існуючі кліматичні умови, родючі чорноземні ґрунти дозволяють отримувати високі врожаї із застосуванням біологічних методів на полях вирощування сільськогосподарських культур. Отже, Черкаська область може стати перспективним і потужним виробником екологічно чистої продукції. Такі впровадження в агросфері регіону також спри-

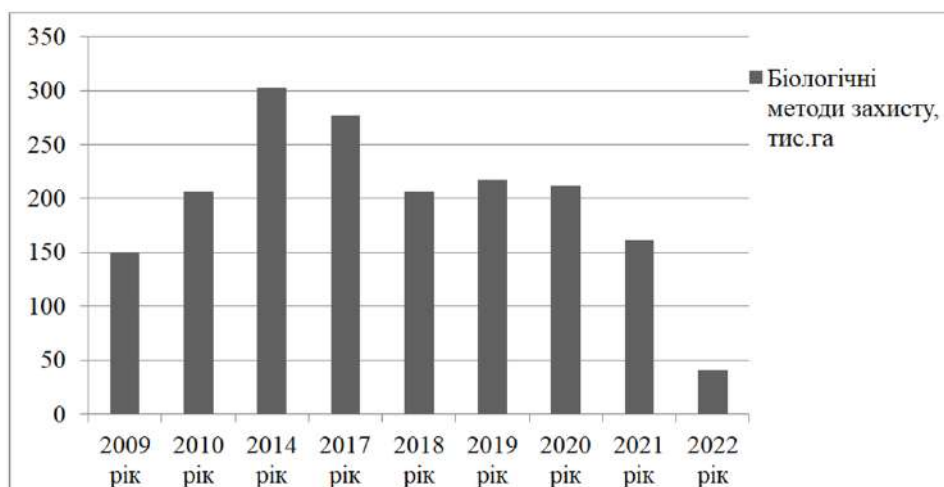


Рис. 7. Динаміка використання біологічних методів захисту рослин господарствами Черкаської області

ятимуть забезпеченню виконання пунктів Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів».

Висновки. Провівши ретельний аналіз та відповідні дослідження нами встановлено, що сільгоспвиробники не дотримуються основних положень Закону України «Про пестициди і агрохімікати» щодо їх застосування. В області відсутній дієвий контроль обігу стійких органічних забрудників та постійний моніторинг їх впливу на об'єкти довкілля. Питання щодо випадків прямої або перехресної адаптації шкідливих видів біоти, появи пестицидрезистентних форм у генетично гетерогенній популяції шкідника або фітопатогенна, що спонукає до використання все нових і нових видів пестицидів, не має наукового обґрунтування, а носить рекомендаційний характер.

Виявлені випадки біоцидної дії пестицидів на корисну біоту, за рахунок недостатньої селективності препаратів, їх передозувань, винесення за межі оброблюваної ділянки й міграції, чи порушення регламенту застосування, вказують на серйозність питання з накопичення залишків пестицидів у ґрунті, воді та в продукції у Черкаській області. Особливо небезпечною є їх здатність до міграції в різних ланках і системах, харчовими ланцюжками, а для ліпофільних компонентів також і біоконцентрація.

Автори статті зазначають, що шкідливий вплив СОЗ у ґрунті не обмежується їх прямою токсичною дією. В ньому утворюються стабільні метаболіти, які становлять пряму загрозу для навколишнього середовища і ґрунтової біоти. Зокрема, у ґрунтах поряд із залишками стійких сім-триазинових гербіцидів фіксуються персистентні продукти їх розпаду, які мають більш сильну мутагенну дію, ніж самі триазини. Тому контроль об'єктів довкілля, особливо ґрунтів та продуктів харчування повинен вирішуватись на державному рівні.

Застосування екологічно безпечних біологічних засобів захисту рослин господарствами області, упродовж тривалого часу, перебуває на дуже низькому рівні та має тенденцію до подальшого скорочення. Тому, з метою активізації переходу до екобезпечних препаратів, збереження родючості земель, відповідно до поставленої мети пропонується

широке застосування екологічно безпечних методів захисту якими є біологічні.

Також пропонується знайти важелі впливу на сільгосп підприємства щодо дієвого обліку обігу пестицидів за рахунок розробки уніфікованих звітів господарств та застосування системи постійного моніторингу земель щодо фактичної наявності шкідників, й обґрунтованого застосування засобів обробітку ґрунту від бур'янів і хвороб рослин за рахунок обстеження посівів спеціалістами. Такі підходи забезпечать виконання прийнятих нормативно-правових актів, постанов Кабінету Міністрів та Законів України, сприятимуть розвитку органічного землеробства та використанню засобів захисту рослин на нових технологічних і організаційних основах.

Матеріали статті та проведені дослідження сприяють визначенню пріоритетних завдань, розробки підходів щодо покращення екологічної безпеки і контролю за використанням препаратів захисту рослин, в першу чергу в приватних господарствах області.

Покращенню умов екологічної безпеки в області сприятиме також, проведення інформативно-роз'яснювальної роботи серед населення, починаючи з вивчення та усвідомлення даної проблеми у школі. Автори статті сподіваються, що підняті проблемні питання щодо токсичної дії СОЗ сприятимуть розробці заходів щодо зменшення хімічного навантаження на сільгоспугіддя і навколишнє природне середовище, за рахунок стабільного і достатнього постачання засобів біологічної дії на шляху до вирощування екологічно чистої продукції для дитячого харчування і, разом з цим, більш широкого розвитку аграрного сектору економіки області зміцненню його стабільності.

Надалі передбачається досліджувати питання обігу СОЗ та можливого порушення здійснення природних процесів у навколишньому середовищі. Зокрема, спостережень за станом підземних та поверхневих джерел водопостачання, ґрунтів і продуктів харчування, а також і вивчення ризиків для здоров'я людини з урахуванням фактичного надходження залишків пестицидів в організм з урахуванням вікової чутливості.

Література

1. Агроекологічна оцінка ґрунтів Черкаської області / Л. О. Качановська, С. Д. Павлюк. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2017. № (69). Електронний ресурс. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2017_5_6
2. Від пестицидів і в лісі не сховаєшся: Екологія, право, людина. Електронний ресурс. URL: <http://epl.org.ua/human-posts/vid-pestytsydiv-i-v-lisi-ne-shovayeshsya/> 19.06.2017.
3. Влізло В.В. Салига Ю.Т. Проблеми біологічної безпеки застосування пестицидів в Україні. Вісник аграрної науки. 2012. С. 24–27.
4. Гігієнічна класифікація пестицидів за ступенем небезпечності: ДСанПін 8.8.1.2.002-98 затв. МОЗ України 28.09.98 № 2. Київ. 1998. 20 с.
5. Іващенко О.О. Бур'яни в агроценозах: Монографія. Київ: Світ. 2002. 236 с.
6. Іващенко О. О. Ременюк С.О. Реалії і перспективи систем захисту посівів від бур'янів. Карантин і захист рослин. № 3–4(254). Київ: Інститут захисту рослин НААНУ. 2019. С. 26–29.

7. Закон України «Про пестициди і агрохімікати» від 4 квітня 1995 року (згідно з Постановою Верховної Ради України від 2 березня 1995 року № 87/95-ВР) Із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 30 червня 2023 року № 3221-ІХ.
8. Коваль В.В., Наталочка В.О., Ткаченко С.К., Міненко О.В. Динаміка залишкових кількостей пестицидів у водах сільськогосподарського призначення в умовах Полтавщини. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2011. № 1: Сільське господарство. Рослинництво. С.22–26.
9. Машков О.А., Абідов С.Т., Іващенко Т.Г., Оводенко Т.С., Печений В.Л. Особливості екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень. Екологічні науки. 2023. № 1(46). С. 168–174.
10. Методичні вказівки з визначення мікрокількостей пестицидів у харчових продуктах, кормах та навколишньому середовищі. К.: МОНПСУ. Управління безпеки хімічних речовин. 2005–2013. 3б. Офіційні видання.
11. Обережно, пестициди. Електронний ресурс. URL: <https://oleksiivska-gromada.gov.ua/news/1617876356/> 08.04.2021
12. Омельчук С. Т., Коршун О. М., Ліпавська А. О., Зінченко Т. І., Мілохов Д. С., Аврамчук О. А., Благая А. В. Аналітичний контроль у воді та повітрі залишкових кількостей пестицидів системи захисту хлібних злаків. Медична та клінічна хімія. 2022. Т. 24. № 4. С. 86–94.
13. Осокіна Н. П. Процеси міграції пестицидів і поведження з пестицидами у геологічному середовищі. Мінеральні ресурси України: Екологія. 2022. № 2. С.42–46.
14. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні: Каталог/ під ред. В.О. Ящук, В.М. Ващенко, А.П. Корецький, Р.М. Кривошея, В.В. Чайковська. Київ: Юнівест Медіа. 2016. 1023 с.
15. Проданчук М. Г., Лепьошкін І. В., Кравчук О. П., Гринько А. П., Величко М. В., Бабяк М. В., Лепьошкіна М. І. Регламентация польових токсиколого-біологічних випробувань пестицидів на прикладі країн Європейського Союзу. Виклики для України. (Огляд нормативно-правових та науково-методичних документів). Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки. 2018. № 2–3. С. 5–12.
16. Рашківська І. О. Проблема оцінки нейротоксичності пестицидів для організму, що розвивається. Медична та клінічна хімія. 2018.Т. 20, № 2. Київ: Науковий Центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя Міністерства охорони Здоров'я України. С.117–121.
17. Салига Ю.Т., Влізло В.В. Карбофуран – біологічні ризики його застосування. Біологія тварин. 2010. В.12. № 2. С. 75–85.
18. Салига Ю.Т. Потенційна нейротоксичність хлорпірифосу і способи її вивчення. Медична хімія. 2009. В. 11. № 4. С. 69–72.
19. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі. Конвенцію ратифіковано Законом № 949-V (949-16) від 18.04.2007. ВВР. 2007. №. 30. С. 396. Ст. 3324 Офіц. вісн. України від 07.12.2007. № 90. С. 168.
20. Тохтарь К.І., Гаврилук Ю. В. Чи можливе безпечне використання пестицидів. Агрохімія і ґрунтознавство. № 90. 2020. С. 76–85.
21. Уляна Букатюк. Бджолиний мор. Електронний ресурс. URL: https://espreso.tv/article/2018/06/19/bdzholyyny_mor
22. Чубірка С.М., Дзьоба І.Р. Пестициди, як стійкі органічні забруднювачі (у питаннях та відповідях). Частина 1. Початковий список. Ужгород: Видавництво Printing Solutions SHARK. 2021. 44 с.
23. Швидь С.Ф. Наталочка С.Ф., Швидь В.О., Ткаченко С.К.. Динаміка залишкових концентрацій пестицидів у сільськогосподарській продукції в умовах Полтавської області. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2010. № 2: Сільське господарство. Рослинництво. С. 28–32.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ М. ЗАПОРІЖЖЯ

Свердленко Д.О.¹, Горбань В.В.¹, Терещенко О.О.²

¹Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя

²Державна екологічна інспекція Південного округу (Запорізька та Херсонська області)
вул. Незалежної України, 72А, 69035, м. Запоріжжя
dima.sverdlenko5@gmail.com, valera251077@gmail.com, olgatereshchenko17@gmail.com

Один із ключових принципів, що описує потік енергії у екосистемах, визначається другим законом термодинаміки, який стверджує, що енергія розсіюється на кожному послідовному етапі свого перетворення. Розсіювання енергії тісно пов'язане із її здатністю до виконання роботи. Концепція дисипативних структур, що була вперше розглянута І. Пригожиним, визначає спроможність організмів трансформувати енергію та впорядковувати речовину так, що мінімізується витрата енергії на виконання роботи. Отже, можна говорити про постійну трансформацію енергії в більш високоякісну на кожному наступному етапі. Г. Одум розробив методику для оцінки якості енергії і введення термінів «емергія» та «індекс трансформації». У нашій роботі ми використовували підхід Г. Одума для оцінки потоку, накопичення та трансформації енергії в екосистемах міста Запоріжжя. Це дозволяє нам оцінити потенціал відновлювальних та невідновлювальних джерел енергії в складній урбаністичній екосистемі міста Запоріжжя.

Розглянуто вплив людської діяльності на енергетичний баланс та стійкість природних екосистем у міському середовищі. Зосереджуючи увагу на вивченні взаємодії між компонентами екосистеми та енергетичними процесами для розуміння основних взаємозв'язків, які впливають на стан довкілля та його здатність до саморегуляції. Ми можемо сказати, що екосистеми в містах відіграють важливу роль у підтриманні екологічного балансу та забезпеченні добробуту населення. Тому, розуміння складного функціонування природної та урбанізованої складової екосистем полягає у проведенні енергетичного (емерджентного) аналізу. Визначено, що енергетичний аналіз є важливим інструментом для розуміння та управління екосистемою міста Запоріжжя з метою збалансованого та сталого розвитку. Розрахунок емергії природної та урбанізованої складової екосистеми показав, що серед всіх показників найменше значення мали емергія сонця і дощу, геопотенційна, а також забрана вода і підземні джерела. *Ключові слова:* енергетичний аналіз, емергія, екосистема, місто Запоріжжя, урбанізація, стратегії сталого розвитку, індекс трансформації.

Energy analysis of the functioning of Zaporizhzhia ecosystems. Sverdlenko D., Horban V., Tereshchenko O.

One of the key principles describing the flow of energy in ecosystems is defined by the second law of thermodynamics, asserting that energy dissipates at each successive stage of its transformation. The dissipation of energy is closely linked to its ability to perform work. The concept of dissipative structures, first introduced by I. Prigogine, determines the ability of organisms to transform energy and organize matter in a way that minimizes the energy expenditure for work. Thus, we can speak of a continuous transformation of energy into higher quality at each subsequent stage. H. Odum developed a methodology to assess the quality of energy and introduced the terms 'emergy' and 'transformity.' In our study, we employed H. Odum's approach to evaluate the flow, accumulation, and transformation of energy in the ecosystems of Zaporizhzhia city. This enables us to assess the potential of renewable and non-renewable energy sources in the complex urban ecosystem of Zaporizhzhia.

Considered the impact of human activity in the energy balance and sustainability of skill-producing in the urban environment focusing on the study of interactions between ecosystem components and energy processes; to understand the main relationships that affect the state of the environment and its ability to self-regulate. We can say that ecosystems in cities play an important role in maintaining the ecological balance and ensuring the well-being of the population. Therefore, understanding the complex functioning of the natural and urbanized component of ecosystems consists in conducting an energy (emergent) analysis. It has been determined that energy analysis is a crucial tool for understanding and managing the ecosystem of Zaporizhzhia city with the aim of achieving balanced and sustainable development. The calculation of emergy for both the natural and urbanized components of the ecosystem revealed that, among all indicators, solar and rainfall emergy, geopotential, as well as withdrawn water and underground sources had the least significance. *Key words:* energy analysis, emergy, ecosystem, city of Zaporizhzhia, urbanization, sustainable development strategies, transformation indices.

Постановка проблеми. Зростаючі темпи урбанізації і розвитку міст створюють складні виклики для екологічної стійкості та енергоефективності. Такі міста, як Запоріжжя, є екосистемами з надзвичайно складною взаємодією між людською діяльністю та природним середовищем, що є важливим для забезпечення комфорту проживання та сталого розвитку. Однак, необхідний ретельний аналіз та розуміння енергетичних процесів, що впливають на функціонування екосистем Запоріжжя.

Одна із ключових проблем – це недостатня увага до вивчення енергетичного балансу урбанізованої складової екосистеми та її впливу на стан природних ресурсів. Сучасні дослідження недостатньо охоплюють взаємодію між різними аспектами міського життя та енергетичними процесами, враховуючи їхній вплив на екологічну стійкість екосистеми.

Ще однією проблемою є відсутність комплексного підходу вивчення взаємодії між міським середовищем та енергетичними системами. Це ускладнює

розуміння зв'язків між виробництвом енергії, її споживанням, та впливом на біорізноманіття, водні ресурси та повітряне середовище.

Крім того, місто Запоріжжя, потребує вивчення можливостей оптимізації використання енергії з метою підвищення енергоефективності та зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Тому необхідно провести детальний енергетичний аналіз функціонування екосистеми з урахуванням впливу людської діяльності та енергетичних процесів на стійкість природних ресурсів і загальний екологічний стан міського середовища.

Актуальність дослідження. Вивчення різних екологічних систем у міському середовищі, оцінка їх взаємозалежності та аналіз впливу людської діяльності на ці екосистеми. Використовуючи різні наукові методології та методи збору даних, дослідження надасть цінну інформацію про поточний стан екосистем у Запоріжжі, розкриваючи як сильні, так і вразливі сторони. Результати цього дослідження сприятимуть розумінню міської екології, сталого розвитку та розробці ефективних стратегій збереження та управління довкіллям.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Внесок автора в енергетичний аналіз функціонування екосистем м. Запоріжжя є ключовим для вирішення наукових і практичних завдань у цій галузі, і визнається наступним чином:

Розуміння енергетичного балансу урбанізованої складової екосистеми: проведений аналіз дозволяє розібратися у складних взаємозв'язках між енергетичними потоками та функціонуванням екосистеми міста. Це важлива наукова задача для усвідомлення причинно-наслідкових зв'язків між енергією, яку споживає місто, та її впливом на навколишнє природне середовище.

Розробка стратегії енергоефективності та сталого розвитку може надати можливість визначити сфери, в яких можна підвищити енергоефективність у Запоріжжі. Оскільки, це важливе практичне завдання, науковий аналіз може сприяти формуванню стратегій і політики, спрямованих на оптимізацію використання енергії та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Підвищення екологічної стійкості міського середовища, тобто енергетичні аспекти ідентифікують основні джерела енергії та їх вплив на екосистему. Це, по-перше, є науково-практичним завданням, оскільки воно допомагає розробити стратегії збереження природних ресурсів та підтримки біорізноманіття міських екосистем.

Формування науково-обґрунтованих рекомендацій для міського планування, своєю чергою, є основою для розробки конкретних рекомендацій для міських влад, спрямованих на покращення управління енергетичними ресурсами та планування містобудівних проєктів.

Отже, проведення енергетичного аналізу функціонування екосистем міста Запоріжжя є важливим кроком для вирішення актуальних наукових.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізувавши дослідження з таких джерел, як Звіт про стратегічну екологічну оцінку Стратегії регіонального розвитку Запорізької області на період до 2027 року, Інформаційний екологічний атлас Запорізької області, Екологічний паспорт Запорізької області за 2020–2021 роки, Звіт про аналіз потенціалу енергетичної ефективності м. Запоріжжя, Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Запорізької області у 2020 році та стаття У. М. Альошкіна Енергетичний аналіз функціонування екосистем м. Києва. Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України. УРБОЕКОЛОГІЯ. *Екологія та ноосферологія*. 2008. Т. 19, № 1–2. С. 78–85, ми розраховували та зробили висновки стосовно функціонування екосистем міста Запоріжжя.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття є:

- 1) розрахунок енергії функціонування природної складової міста;
- 2) розрахунок енергії функціонування урбанізованої складової міста;
- 3) проведення порівняльної характеристики природної та урбанізованої складової міста Запоріжжя.

Новизна даного дослідження є важливою та інноваційною для розвитку як наукових досліджень, так і практичної підготовки фахівців у галузі охорони навколишнього середовища та містобудування. Застосування методів енергетичного аналізу дозволяє зрозуміти сучасні міські екологічні процеси з акцентом на взаємодію міських екосистем з навколишнім природним середовищем.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає у важливому внеску до наукових досліджень та практичної підготовки в галузі управління міськими ресурсами та охорони навколишнього середовища, що має вирішальне значення для розуміння та оптимізації взаємодії різних екосистем.

Таким чином, основною ідеєю теми є аналіз міської енергетики, тобто це потужний інструмент для покращення функціонування міст, підвищення якості життя населення та створення сталого середовища, орієнтованого на їхні природні компоненти. Передусім визначаючи пріоритети та оптимальні стратегії сталого розвитку міста Запоріжжя.

Виклад основного матеріалу Аналіз функціонування природної та урбанізованої складових екосистем м. Запоріжжя проводився за 2020–2021 роки.

З метою подальшого аналізу екосистем міста, було запропоновано енергетичний аналіз на основі поняття «енергія», введеного Г. Одумом і розробленої ним методики.

Енергетичний потенціал природної складової міста Запоріжжя розраховували за наступними формулами:

1. Сонце = $4,00 \times 10^9$ Дж/м²/рік (енергія сонячного сьйва) $\times 331 \times 10^6$ м² (S м. Запоріжжя) = $1,324 \times 10^{18}$ Дж.

2. Вітер (кінетична енергія) = $0,5 \times 331 \times 10^6$ м² $\times 1,23$ кг/м³ (щільність) $\times (5,1$ м/с)³ (середня швидкість) = $9,38 \times 10^{19}$ Дж.

3. Дощ (потенційна енергія) = 331×10^6 м² $\times 0,49$ м (кількість опадів) $\times 997$ кг/м³ (щільність) $\times 4940$ Дж/кг (енергія Гіббса) = $7,98 \times 10^{14}$ Дж $\approx 0,79 \times 10^{15}$ Дж.

4. Дощ (геопотенційна енергія) = 331×10^6 м² $\times 0,49$ м (кількість опадів) $\times 997$ кг/м³ (щільність води) $\times 86$ м (висота над рівнем моря) $\times 9,8$ м/с² (прискорення вільного падіння) = $1,4 \times 10^{14}$ Дж.

5. Ґрунт = 331×10^6 м² $\times 2,26 \times 10^7$ Дж/кг $\times 0,65$ кг/рік (швидкість формування Ґрунту в лісових екосистемах) $\times 0,03$ (органічна фракція Ґрунту) = $1,46 \times 10^{14}$ Дж.

6. Вода Дніпро = $0,12 \times 10^{10}$ м³/рік (витрата води) $\times 1000$ кг/м³ (щільність) $\times 4940$ Дж/кг (енергія Гіббса) = $0,59 \times 10^{17}$ Дж.

8. Забрана вода Дніпро = $181,15$ млн м³/рік (об'єм забраної води) $\times 1000$ кг/м³ (щільність води) $\times 4940$ Дж/кг (енергія Гіббса) = $8,9 \times 10^{14}$ Дж.

9. Забрана вода, підземні джерела = $45,78$ млн м³/рік (об'єм забраної води) $\times 1000$ кг/м³ (щільність води) $\times 4940$ Дж/кг (енергія Гіббса) = $2,26 \times 10^{14}$ Дж.

10. Спожита енергія викопного палива = $9,095 \times 10^3$ т ум. пал. $\times 29,3$ МДж $\approx 2,7 \times 10^{11}$ Дж. (Теплота згоряння 1 кг ум. пал. / 1 м³ газоподібного ум. пал. складає 29,3 МДж (7000 ккал), що майже відповідає теплоті згоряння 1 кг кам'яного вугілля.

11–14. Макроекономічні показники: імпорту = $0,3 \times 10^9$ \$, експорту = $0,72 \times 10^9$ \$, придбання товарів та послуг = $9,24 \times 10^8$ \$, випуску товарів та послуг = $7,6 \times 10^{10}$ \$ у грошових одиницях.

15. Населення: 750685 тис. осіб $\times 51$ рік (середній вік населення) = $3,8 \times 10^7$ люд/років.

16. 129×10^6 кг (маса органічних відходів міста) $\times 5000$ ккал/кг $\times 4186$ Дж/ккал = $1,8 \times 10^{12}$ Дж – відходи органічної фракції; 139×10^6 кг (маса неорганічних відходів міста) $\times 14200$ Дж/кг (енергія Гіббса для залізної руди) = $2,91 \times 10^{15}$ Дж – відходи неорганічної фракції.

17. Завдяки значенню ВРП (Валового регіонального продукту), можна розрахувати показник енергетичної вартості долара (енергія/долар) або індекс трансформації для долара. Чим вищий цей показник, тим більша спроможність купівлі долара в регіоні, і таким чином, регіон є менш розвинутим економічно.

Для розрахунку вартості у Сдоларах всіх компонентів урбоєкосистеми, потрібно розрахувати середній індекс трансформації Сдолара для світу з врахуванням співвідношень валют:

$$\begin{aligned} \text{USD}X &= 50,14348112 \times \text{USDEUR}^{0,576} \times \\ &\text{USDJPY}^{0,136} \times \text{USDGBP}^{0,119} \times \text{USDCAD}^{0,091} \times \\ &\times \text{USDSEK}^{0,042} \times \text{USDCHF}^{0,036} = 50,14348112 \times 0,95^{0,576} \times \\ &149,57^{0,136} \times 0,82^{0,119} \times 1,36^{0,091} \times 10,92^{0,042} \times 0,90^{0,036} = \\ &106,42 \approx 1,06 \times 10^{12} \text{ Дж}/\$, \end{aligned}$$

де USDEUR^{0,576} – відсоткове співвідношення Євро; USDJPY^{0,136} – відсоткове співвідношення Японської єни; USDGBP^{0,119} – відсоткове співвідношення Фунта стерлінгів; USDCAD^{0,091} – відсоткове співвідношення Канадського долару; USDSEK^{0,042} – відсоткове співвідношення Шведської крони; USDCHF^{0,036} – відсоткове співвідношення Швейцарського франку. Всі вищезазначені розрахунки представлені в таблиці 1.

Згідно нашим дослідженням, найбільшу енергетичну вартість серед показників природної складової мають поверхневі води (вода Дніпро), що пояснює будівництво ГЕС на річках. Наступними за величиною потенціалу виділяють значення енергії Ґрунту (акумуляована органіка), енергії зеленої зони, дощу, вітру і сонця.

Попри значні показники енергії, енергія сонця ($0,13 \times 10^{19}$ СДж) і дощу, геопотенційна Е ($0,12 \times 10^{19}$ СДж) мають найменші значення.

Стосовно енергетичного потенціалу урбанізованої складової міста Запоріжжя, то ми чітко бачимо, що найбільше значення мають населення та ВРП (валовий регіональний продукт). Оскільки, місто Запоріжжя є промисловим центром з розвинутою металургійною, машинобудівною та енергетичною промисловістю, то це, по-перше, сприяє значному збільшенню показника ВРП через великий обсяг виробництва та експорту. І враховуючи, що місто має історичну цінність, таким чином, приваблюючи населення через робочі можливості та інші переваги міського життя. Також, Запорізька область розташована на берегах Дніпра і відіграє важливу роль, як транспортний вузол для товарів і людей. Це передусім сприяє розвитку та економічному зростанню регіону.

Проте, серед показників урбанізованої складової екосистеми найменшу енергію складають забрані води. Це пояснюється тим, що в місті є екологічна незбалансованість, тобто відбувається великий тиск на водні ресурси через потреби самого міста, враховуючи його види промисловості, домогосподарство та інші можливі варіанти діяльності. Забруднення водойм також відіграє роль у цьому, адже, існують проблеми забруднення стічними водами і ускладнення процесів очищення води для пиття. І ще однією причиною, є неефективне використання ресурсів, що визначається втратою в системах водопостачання та недостатньою оптимізацією споживання води.

Головні висновки. На основі проведеного аналізу визначено, що енергетичний аналіз є важливим інструментом для розуміння та управління екосистемою міста Запоріжжя з метою збалансованого та сталого розвитку.

Розрахунок енергії природної та урбанізованої складової екосистеми показав, що серед всіх показників найменше значення мали енергія сонця ($0,13 \times 10^{19}$ СДж) і дощу, геопотенційна Е ($0,12 \times 10^{19}$ СДж), а також забрана вода, Дніпро ($4,3 \times 10^{19}$ СДж) і підземні джерела ($2,5 \times 10^{19}$ СДж).

Показники енергетичного потенціалу екосистем міста Запоріжжя

Енергетичний потенціал	Показники енергії та ресурсів	Індекс трансформації	Емергія, СДж, 10 ¹⁹	Значення в Сдоларах, 10 ⁸
Енергетичний потенціал природної складової міста				
1. Сонце	1,324×10 ¹¹	1 СДж/Дж	0,13	0,0014
2. Вітер, кінетична енергія	9,38×10 ¹⁹	1268 СДж/Дж	1,19	0,0126
3. Дощ, потенційна енергія	0,79×10 ¹⁵	15423 СДж/Дж	1,22	0,0129
4. Дощ, геопотенційна енергія	1,4×10 ¹⁴	8888 СДж/Дж	0,12	0,0127
5. Ґрунт	1,46×10 ¹⁴	63000 СДж/Дж	9,19	0,97
6. Вода Дніпра	0,59×10 ¹⁷	48459 СДж/Дж	2859,1	30,3
7. Зелена зона	32,76×10 ¹³	616,6 СДж/Дж	2,02	0,0214
Енергетичний потенціал урбанізованої складової міста				
8. Забрана вода, Дніпро	8,9×10 ¹⁴	48459 СДж/Дж	4,3	0,4558
9. Забрана вода, підземні джерела	2,26×10 ¹⁴	110000 СДж/Дж	2,5	0,0265
10. Споживана енергія, умовне паливо	2,7×10 ¹¹	40000 СДж/Дж	1080	11,45
11. Імпорт	0,3×10 ⁹	2,6·10 ¹² СДж/\$	7800	827
12. Експорт	0,72×10 ⁹	2,6·10 ¹² СДж/\$	1870	19,82
13. Придбання товарів та послуг	9,24×10 ⁸	2,6·10 ¹² СДж/\$	2400	25,44
14. Випуск товарів та послуг	7,6×10 ¹⁰	2,6·10 ¹² СДж/\$	1970	20,88
15. Населення	3,8×10 ⁷ люд/років	3,1·10 ¹⁶ СДж/люд/років	117800	1248,68
16. Тверді відходи (Органічна фракція)	2,91×10 ¹⁵	1800000 СДж/Дж	523,8	55,52
16. Тверді відходи (Неорганічна фракція)	1,8×10 ¹²	1800000 СДж/Дж	324	34,35
17. ВРП	6,63×10 ¹⁰	1,77×10 ¹² СДж/\$	11735,1	0,00125

В свою чергу, це пояснюється багатьма факторами, проте, і визначає необхідність провести більш детальне дослідження для оптимізації і збереження навколишнього природного середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. По-перше, такий підхід аналізу, дозволить виявити аспекти взаємодії різних частин екосистеми міста, що в свою чергу, призведуть до відкриття нових шляхів для збереження природних ресурсів та оптимізації функціонування самого міста. По-друге, це інструмент

для розробки стратегій стійкого розвитку міста, де враховуються не тільки природні процеси, а й соціальні та економічні аспекти для покращення життя населення та збереження навколишнього природного середовища. Також допоможуть виявити потенційні проблеми та кризові ситуації, щоб розробити стратегії для передбачення їх та управління. І найголовніша перспектива, це сприяння покращенню міської інфраструктури, оптимізації транспортних мереж, управлінню водними та енергетичними ресурсами тощо.

Література

1. Odum, H. T. Environmental Accounting, Emery and Environmental Decision Making. *John Wiley*, New York, NY, USA, 1996. 370 p.
2. Odum, H. T., Odum, E. P. The energetic basis for valuation of ecosystem services // *Ecosystems*. 2000. V. 3. P. 21–23.
3. Campbell, D. E., Meisch M., Demoss Th., Pomponio J., Bradley P. Keeping the book for environmental systems: an emery analysis of West Virginia. *Environ. Monit. Assess*, V. 94. 2004. P. 217–230.

УДК 343.9(477.8)(094.5)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.40>

АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КРИМІНАЛЬНИХ ПРАВОПОРУШЕНЬ ПРОТИ ДОВКІЛЛЯ ЗА 2018–2022 РОКИ (ЗА МАТЕРІАЛАМИ ОФІСУ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПРОКУРОРА УКРАЇНИ)

Снітко Д.І., Золотарьова О.В.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
вул. Іоанна Павла II, 17, 01042, м. Київ
Den_snitko@ukr.net, 22helen72@gmail.com

З кожним роком ситуація щодо якості стану довкілля на нашій планеті значно погіршується, що стає відчутним для всіх без виключення країн, адже таке погіршення автоматично зменшує рівень життя. У зв'язку з надзвичайно стрімкими темпами технічного розвитку людства, що проявляється у різних галузях промисловості, будівництва тощо, а також враховуючи багатоманітність складових довкілля та нерозривний взаємозв'язок людини і природи, формуються умови для збільшення злочинності у сфері охорони довкілля. Частіше за все найбільший негативний вплив на екологію здійснюється в результаті злочинних дій великих підприємств та корпорацій, які зазвичай переслідують лише одну мету – матеріальне збагачення. Цей один із багатьох аргументів того, що діяльність держави у сфері охорони навколишнього природного середовища від злочинних посягань є надзвичайно важливою складовою у процесі повноцінного функціонування суспільства. Значна кількість держав поступово переосмислює пріоритети у своїй діяльності шляхом надання переваги не лише економічному зростанню, а й розробці та реалізації комплексу заходів, спрямованих на раціональне використання природних ресурсів, недопущення їх виснаження, збереження важливих та унікальних природних компонентів, запобігання погіршення екологічної ситуації. Схожий підхід до даної проблематики значно повільніше, але все ж спостерігається в нашій державі. За останній час в Україні спостерігається не тільки збільшення рівня злочинності у вищезгаданій сфері, але й змінюється структура та динаміка такої злочинності. У даній статті здійснені аналіз та оцінка статистичних даних щодо рівня і динаміки зареєстрованих кримінальних правопорушень проти довкілля за період з 2018 по 2022 роки, що дозволило продемонструвати детальну картину статистичних показників щодо зафіксованих кримінально каранних діянь проти довкілля, встановити динаміку перебігу досудового розслідування зазначеної групи злочинних діянь, визначити найбільш та найменш розповсюджені кримінальні правопорушення у зазначеній сфері. *Ключові слова:* екологічні злочини, кримінальні правопорушення, довкілля, статистичні дані, стан, динаміка, показники, аналіз.

Analysis of statistical data on criminal offenses against the environment for 2018–2022 (based on the materials of the Office of the Prosecutor General of Ukraine). Snitko D., Zolotarova O.

Every year, the situation regarding the quality of the environment on our planet deteriorates significantly, which is felt by all without excluding countries, because such deterioration automatically reduces the standard of living. In connection with the extremely rapid pace of technical development of mankind, which is manifested in various branches of industry, construction, etc., as well as taking into account the multifaceted nature of the components of the environment and the inextricable relationship between man and nature, the conditions for an increase in crime in the field of environmental protection are being formed. More often than not, the greatest negative impact on the environment is carried out as a result of criminal actions of large enterprises and corporations, which usually pursue only one goal – material enrichment. This is one of the many arguments that the state's activity in the field of environmental protection from criminal encroachments is an extremely important component in the process of the full functioning of society. A significant number of states are gradually rethinking priorities in their activities by giving priority not only to economic growth, but also to the development and implementation of a set of measures aimed at the rational use of natural resources, preventing their depletion, preserving important and unique natural components, and preventing the deterioration of the ecological situation. A similar approach to this issue is much slower, but still observed in our country. Recently, the level of crime in Ukraine is not only increasing in the above-mentioned area, but the structure and dynamics of such crime are changing. This article analyzes and evaluates statistical data on the level and dynamics of registered criminal offenses against the environment for the period from 2018 to 2022, which made it possible to demonstrate a detailed picture of statistical indicators regarding recorded criminal acts against the environment, to establish the dynamics of the course of the pre-trial investigation of the specified group of criminal acts, to determine the most and least widespread criminal offenses in the mentioned area. *Key words:* environmental crimes, criminal offenses, environment, statistical data, state, dynamics, indicators, analysis.

Постановка проблеми. Проблема захисту довкілля турбує людство вже не одне сторіччя. Одним із глобальних чинників, що впливає на погіршення екологічної складової, на нашу думку, є невинний розвиток технологій, викликаний нестримним бажанням вдосконалення та максимального полегшення умов нашого з вами існування

на цій планеті. Однак такий технологічний розвиток одночасно сприяє зростанню злочинності у сфері охорони довкілля.

Наша країна тільки починає займати своє місце на світовому майданчику у питаннях охорони екології, про що свідчать такі заходи як: поступовий перехід на відновлювальні джерела енергії, впрова-

дження концепції збалансованого використання природних ресурсів, загальнодержавні програми щодо посилення екологічної свідомості, вдосконалення та розширення державного моніторингу та контролю за дотриманням норм природоохоронного законодавства тощо. Незважаючи на це, існує велика кількість проблем, пов'язаних як із дотриманням положень екологічного законодавства, так і з розслідуванням кримінальних правопорушень (далі – КП), скоєних у цій сфері.

Не викликає сумнівів, що для підвищення якості протидії будь-якій проблемі та вдосконаленню шляхів її вирішення необхідно усвідомлювати масштаб такої проблеми, а також враховувати складності й ризики, що виникають на шляху вирішення такої проблеми. Такий підхід слід застосовувати й відносно діяльності правоохоронних органів щодо протидії злочинності у сфері охорони довкілля, з метою розроблення нових та вдосконаленню вже існуючих методик розслідування таких злочинів.

Для виявлення та подальшого аналізу діяльності правоохоронних органів щодо фіксації та розслідування КП проти довкілля слід здійснювати систематичні аналітичні дослідження статистичних даних з даного питання. Адже саме статистична інформація відкриває можливість не тільки здійснити об'єктивну оцінку ступеню поширеності екологічної злочинності, а й відслідкувати ефективність та результативність дій правоохоронних органів у боротьбі з вказаною злочинністю.

Актуальність дослідження. У зв'язку з постійним збільшенням рівня забруднення довкілля в цілому та окремих його складових, що спричинено значним антропогенним впливом, а також поширенням випадків незаконного знищення рослинного та тваринного світу, існує необхідність посилення контролю правоохоронних та контролюючих органів у цій галузі. Проведення даного дослідження дозволяє здійснити оцінку реального стану та динаміки злочинності у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження безпосередньо пов'язана з основними засадами державної екологічної політики, передбаченими Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (зі змінами), зокрема щодо аналізу і прогнозування екологічних ризиків, які ґрунтуються на результатах стратегічної екологічної оцінки, оцінки впливу на довкілля, а також комплексного моніторингу стану навколишнього природного середовища [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та практичні аспекти проблематики кримінально-правової охорони навколишнього природного середовища досліджувались в наукових роботах С. Б. Гавриша, А. П. Гетьмана, М. І. Веревічевої,

О. Л. Дубовик, Е. М. Жевлакова, Н. Г. Іванової, Н. Р. Кобецької, О. М. Костенко, Т. В. Корнякової, В. К. Матвійчука, О. В. Мельник, І. І. Митрофанова, В. О. Навроцького, О. В. Одерія, Г. С. Поліщука, Н. Л. Романової, Ю. С. Шемшученка та деяких інших фахівців.

Не зважаючи на значну кількість наукових досліджень із вказаної проблематики, слід констатувати, що на сьогоднішній день відсутня інформація щодо комплексного аналізу статистичних даних у сфері кримінально-правової охорони довкілля, на підставі чого вважаємо за необхідне провести дане дослідження.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дане дослідження присвячується аналізу статистичних показників щодо екологічної злочинності в Україні за 2018–2022 роки, здійсненню оцінки рівня та динаміки реєстрації й досудового розслідування вказаних злочинних діянь і встановлення реального стану екологічної злочинності в Україні, з урахуванням постійних змін у сфері природоохоронного законодавства, вдосконалення технічних засобів, що використовуються органами досудового розслідування та, як наслідок, впливають на якісний і кількісний показники розслідування КП, а також беручи до уваги факт повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України, що вже призвело до надзвичайно масштабних екологічних катастроф на нашій території та значного зростання кількості вчинених екологічних правопорушень.

Новизна. В рамках одного дослідження вперше використано такі важливі статистичні показники стосовно групи кримінальних правопорушень проти довкілля, таких як: кількість зареєстрованих КП, кількість КП, в яких особам вручено повідомлення про підозру чи КП направлено до суду з обвинувальним актом, кількість зупинених та закритих КП, що з урахуванням обраного періоду дослідження, дозволило продемонструвати динаміку перебігу досудового розслідування та здійснити порівняльний аналіз відносно загальної кількості зареєстрованих КП, актуалізувати інформацію щодо реального стану екологічної злочинності, здійснити його оцінку й сформулювати відповідні прогнози щодо фіксації, розслідування та притягнення до відповідальності за кримінальні правопорушення проти довкілля у найближчій перспективі.

Методологічне або загальнонаукове значення. Недостатній аналіз стану екологічної злочинності в Україні може стати одним із чинників неякісної роботи правоохоронних та контролюючих органів у цій сфері, що, в свою чергу, призведе до катастрофічних наслідків та негативно вплине на кожного мешканця нашої держави. Результати даного дослідження допоможуть привернути увагу наукової спільноти як до злочинності у сфері довкілля в цілому, так і до ефективності розслідування зазна-

чених кримінальних правопорушень, що сприятиме актуалізації вже існуючих та розробленню нових методик розслідування кримінально караних діянь у сфері охорони навколишнього природного середовища, вдосконаленню методів роботи контролюючих органів у сфері захисту довкілля.

Виклад основного матеріалу. Рівень суспільної небезпеки від вчинених КП проти довкілля постійно зростає, а наслідки таких злочинних діянь зачіпають майже всі сфери життя людини. Тому питання протидії екологічній злочинності повинно бути найбільш пріоритетним для будь-якої країни та суспільства. Але що ж слід розуміти під термінами «злочини проти довкілля» або «екологічні злочини»? Серед значної кількості тлумачень вважаємо доцільним виділити наступні.

Так науковці І. І. Митрофанов та А. М. Притула визначають злочини проти довкілля як суспільно небезпечні, передбачені розділом VIII Особливої частини Кримінального кодексу України, винні діяння, що посягають на суспільні відносини, які забезпечують охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання його ресурсів та екологічну безпеку населення, вчинені суб'єктом цих злочинів [2, с. 23].

Свою думку щодо розкриття поняття «екологічні злочини» висловлює О. М. Джу́жа, який під вказаним терміном розуміє передбачені кримінальним законом суспільно небезпечні діяння, що посягають на навколишнє природне середовище чи його окремі сфери (повітря, землю, надра, води тощо) [3, с. 122].

Найбільш вдалим, на нашу думку, є тлумачення вищевказаного поняття видатним дослідником О. В. Одерієм, який визначає термін «злочини проти довкілля» як однорідну сукупність кримінально-караних діянь, що посягають на навколишнє природне середовище та його компоненти, характерними ознаками яких є однорідність і взаємообумовленість спо-

собів досягнення протиправної мети, наявності слідів екологічного спрямування [4, с. 48].

Для реалізації задач цієї статті нами була проаналізована інформація, що міститься на офіційному сайті Офісу генерального прокурора України, а саме статистичні звіти про зареєстровані КП та результати їх досудового розслідування [5], з урахуванням положень Кримінального кодексу України (далі – КК України) [6] та Кримінального процесуального кодексу України (далі – КПК України) [7]. З метою якісного висвітлення необхідних даних та формулювання змістовного висновку за результатами наукового дослідження було прийняте рішення про аналіз згаданих статистичних даних за період з 2018 по 2022 роки включно.

Перше, з чого вважаємо необхідним почати наше дослідження, це здійснення порівняльного аналізу числових показників загальної кількості зареєстрованих КП до кількості зареєстрованих КП проти довкілля (рис. 1).

Зазначена діаграма демонструє, що показник зареєстрованих КП проти довкілля за вказаний період є вкрай низьким відносно загальної кількості зареєстрованих КП та складає в середньому 1,13%, при цьому найменше співвідношення було у 2018 році (0,72%), а найбільше – у 2021 році (1,68%).

Аналіз наступних статистичних даних був здійснений нами з метою більш детального дослідження показників перебігу досудового розслідування КП проти довкілля на ключових етапах такого розслідування у порівнянні із аналогічними показниками загальної кількості КП (рис. 2).

Досліджувані значення даних наглядно демонструють, що середні числові показники різних етапів досудового розслідування КП проти довкілля є надзвичайно низькими порівняно із аналогічними показниками загальної кількості КП та мають наступний вигляд:

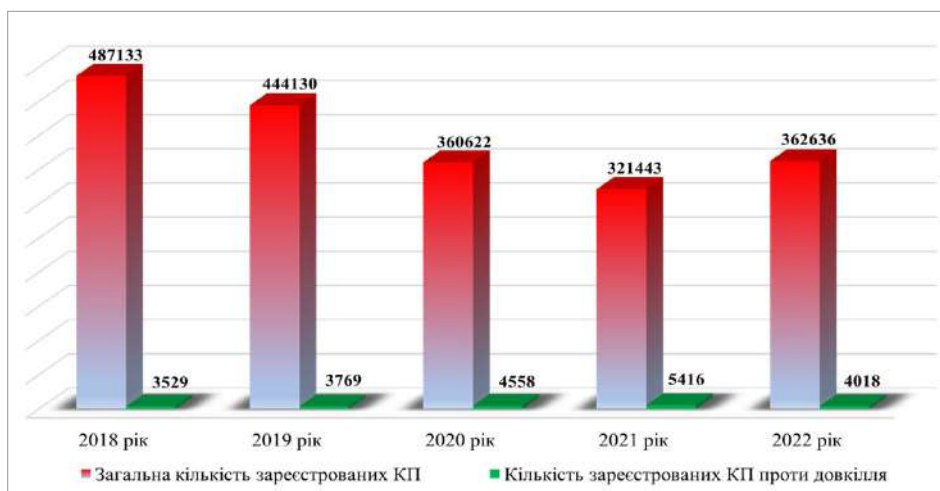


Рис. 1. Показники числового відношення зареєстрованих КП проти довкілля до загальної кількості зареєстрованих КП (за період з 2018 по 2022 рр.) (за даними Офісу Генерального прокурора України)

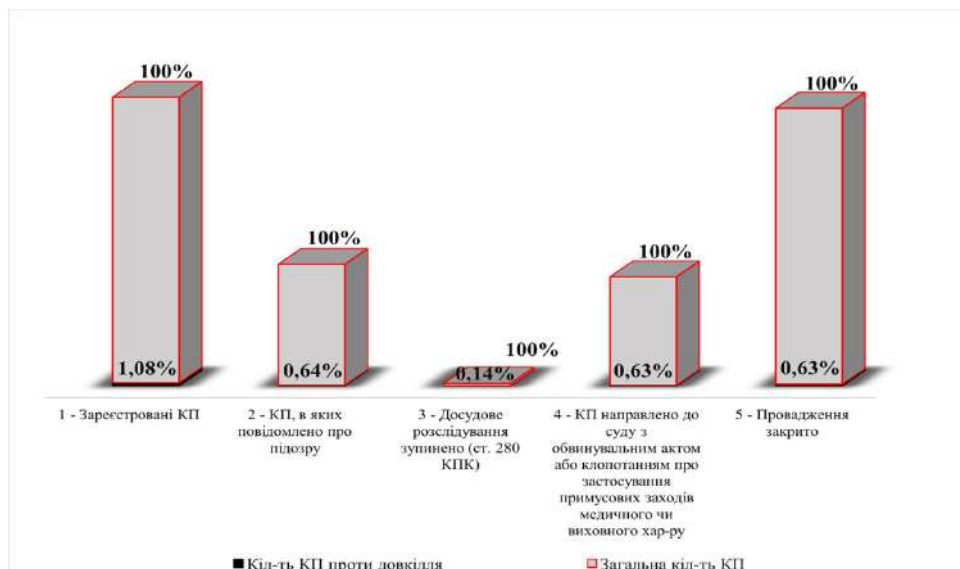


Рис. 2. Співвідношення середніх показників загальної кількості КП до кількості КП проти довілля на ключових етапах досудового розслідування в розрізі періоду з 2018 по 2022 рр (у відсотках) (за даними Офісу Генерального прокурора України)

- 1 етап – 4258 КП проти довілля / 395193 загальної кількості КП;
- 2 етап – 1066 КП проти довілля / 167111 загальної кількості КП;
- 3 етап – 5 КП проти довілля / 3514 загальної кількості КП;
- 4 етап – 945 КП проти довілля / 149884 загальної кількості КП;
- 5 етап – 2404 КП проти довілля / 381906 загальної кількості КП.

Не менш цікавими та корисними з наукової точки зору, на наш погляд, є аналіз середніх показників

зареєстрованих КП, передбачених розділом VIII КК України, адже в такий спосіб можемо побачити, які екологічні злочини є найбільш та найменш розповсюдженими (рис. 3).

Досліджувані показник дозволяють констатувати, що в середньому за обраний період найбільш розповсюдженими зареєстрованими КП є злочинні діяння, передбачені статтями 246 «Незаконна порубка або незаконне перевезення, зберігання, збут лісу» (2384), 249 «Незаконне зайняття рибним, звіриним або іншим водним добувним промислом» (591) та 240 «Порушення правил охорони або

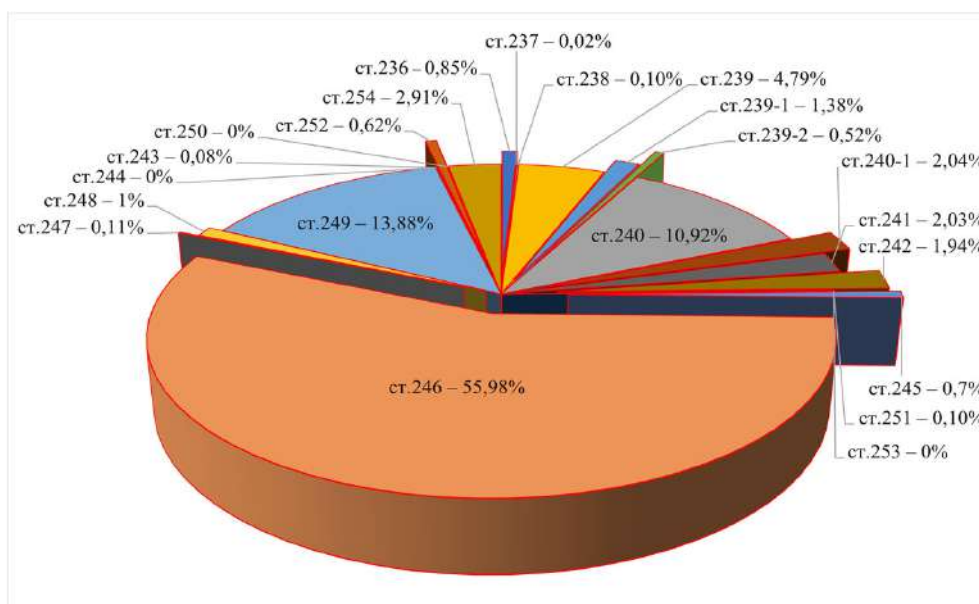


Рис. 3. Середній показник зареєстрованих КП проти довілля за період з 2018 по 2022 рр. (за статтями розділу VIII КК України) (за даними Офісу Генерального прокурора України)

використання надр, незаконне видобування корисних копалин» (465), а найменш розповсюдженими, передбачені статтями 237 «Невжиття заходів щодо ліквідації наслідків екологічного забруднення» (1), а також статтями 238 «Приховування або перекручення відомостей про екологічний стан або захворюваність населення», 243 «Забруднення моря» та 251 «Порушення ветеринарних правил» – лише по 4 КП. Також є злочинні діяння у сфері охорони довкілля, за якими не зареєстровано жодного провадження, а саме за статтями 244 «Порушення законодавства про континентальний шельф України», 250 «Проведення вибухових робіт з порушенням правил охорони рибних запасів» та 253 «Проектування чи експлуатація споруд без систем захисту довкілля».

На наш погляд, не можна залишити без уваги один із найголовніших критеріїв, за яким класифікують КП – ступінь тяжкості. Адже саме ступінь

тяжкості характеризує не лише юридичні наслідки скоєного злочинного діяння, але й безпосередньо впливає вид та міру покарання. На підставі цього нами було здійснено аналіз показників зареєстрованих КП проти довкілля залежно від ступеня тяжкості (рис. 4).

За результатами даного аналізу нами встановлено, що за обраний період найбільш розповсюдженими є злочинні діяння, передбачені розділом VIII КК України, середньої тяжкості (13547 КП), а найменш розповсюдженими – особливо тяжкі (6 КП).

Враховуючи необхідність отримання повного бачення ситуації щодо результативності розслідування екологічних злочинів, що є найбільш цікавим в рамках нашого дослідження, було здійснено поглиблений аналіз показників розслідування згадуваних кримінально караних діянь в залежності на ключових етапах досудового розслідування (рис. 5).

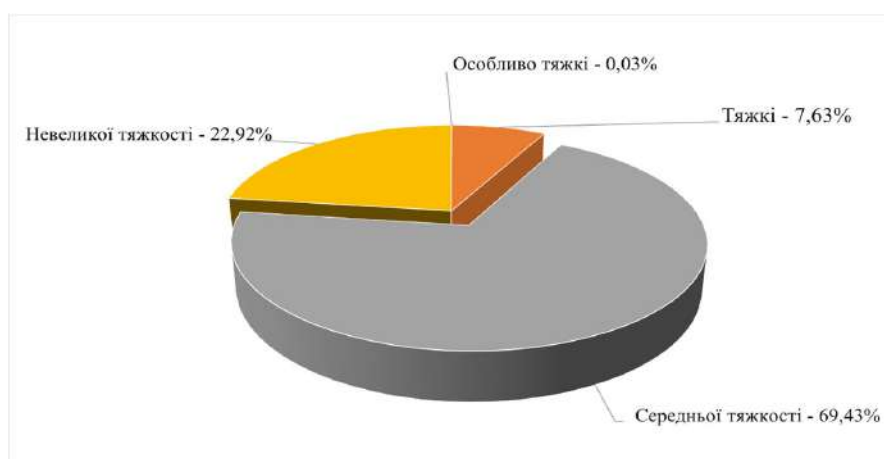


Рис. 4. Середній показник зареєстрованих КП проти довкілля за ступенем тяжкості за період з 2018 по 2022 рр. (у відсотках) (за даними Офісу Генерального прокурора України)

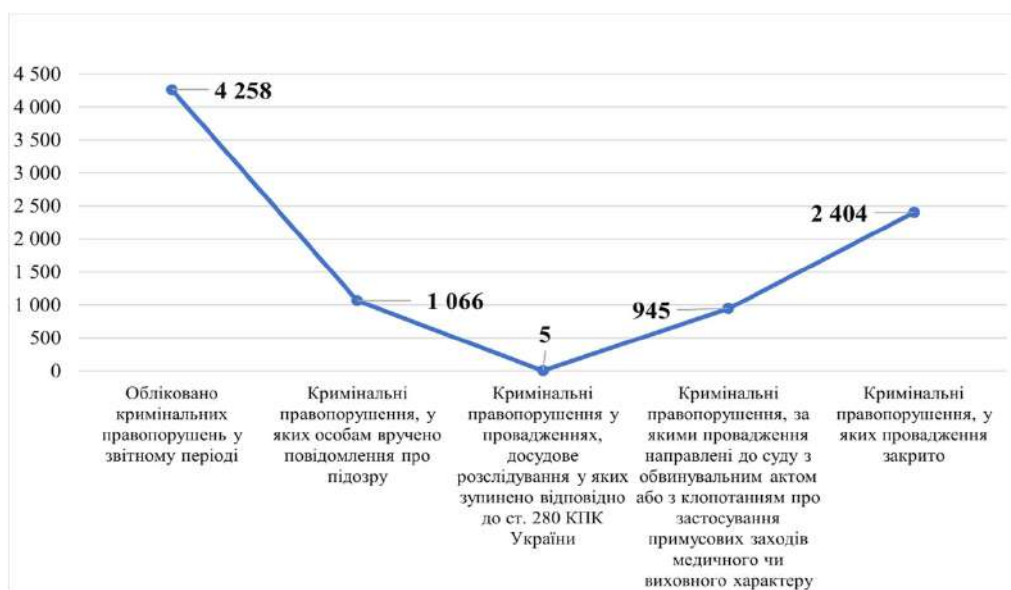


Рис. 5. Середній показник КП проти довкілля на різних етапах досудового розслідування за період з 2018 по 2022 рр. (за даними Офісу Генерального прокурора України)

Результати наших досліджень підтверджують наявність занепокоєння щодо ефективності діяльності правоохоронних та відповідних контролюючих за злочинністю у сфері охорони довкілля, враховуючи не тільки перебіг розслідування фактів злочинних порушень у цій сфері та притягнення до кримінальної відповідальності винних осіб, а й безпосереднє ведення статистичної інформації.

Згадані нами вище та інші науковці, до яких відноситься також відомий дослідник А. М. Шульга, у своїх працях неодноразово зазначали той факт, що за станом латентності екологічні злочини займають одне з перших місць серед інших видів злочинів [8]. Ми також не можемо не погодитись з твердженням, що екологічна злочинність за своєю суттю являється такою, що має здебільшого латентний характер, через що статистичні показники не завжди відображають реальної картини такої злочинності, однак суспільно небезпечні наслідки КП проти довкілля можна спостерігати майже по всій нашій країні та навіть відчувати на собі. Не викликає заперечень той факт, що незважаючи на низькі показники зареєстрованих КП проти довкілля та відсутність суттєвої позитивної динаміки таких показників не тільки за досліджуваний період, а й ледь не з самого початку незалежності України, якість екологічних складових в державі погіршується з кожним роком.

Проблема латентності екологічних злочинів приховує в собі багато ризиків, зокрема, не повною мірою відображає реальну ситуацію з екологічною злочинністю в Україні. В контексті цього питання досить влучною є думка науковця В. І. Поклада, який зазначає, що латентна злочинність істотно спотворює статистичні дані про кримінологічну ситуацію, реальний стан, структуру, характер, динаміку злочинності, про розмір і характер завданої шкоди; зменшує ступінь достовірності прогнозів; перешкоджає реалізації принципу невідворотності відповідальності; підриває авторитет правоохоронних органів; перешкоджає ефективній протидії зростанню злочинності; знижує антикримінальну активність громадян; негативно впливає на економічне життя країни [9, с. 48].

Головні висновки. За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок про зростання рівня екологічної злочинності в Україні. За останній час цьому процесу особливо сприяє проведення військових дій на території нашої держави, що несе за собою не тільки жертви серед населення та знищення всієї інфраструктури, але й жорстоке спотворення всіх складових навколишнього природного середовища. Важко уявити, яких наслідків для екології вже завдала військова агресія російської федерації. На жаль, діяльність правоохоронних та інших контролюючих органів щодо фіксації екологічних злочинів на території ведення активних бойових дій майже неможлива, тому найбільший об'єм роботи в цьому напрямку ще попереду. На нашу думку, сьогоднішня

ситуація сприяє суттєвому зменшенню кількості ресурсів та ступеню контролю за екологічною злочинністю з боку держави, чим активно користуються зацікавлені особи, а тому на теперішній час рівень латентності КП проти довкілля тільки зростає, в той час як показник зареєстрованих злочинних діянь у цій сфері має суттєву різницю із реальним рівнем скоєних правопорушень.

Занепокоєння викликають також показники перебігу досудового розслідування досліджуваних КП. Результати нашої роботи демонструють, що в середньому за обраний період із загальної кількості зареєстрованих КП проти довкілля лише у 25,03% особам вручається підозра. Показник КП, направлених до суду із обвинувальним актом або клопотанням про застосування примусових заходів медичного/виховного характеру складає всього 22,18%. В той же час, кількість КП проти довкілля, в яких провадження закривають, не досягнувши очікуваного результату, складає 56,45%. Наведені показники свідчать про низьку якість проведення досудового розслідування обраної категорії злочинних діянь та недостатній рівень притягнення винних осіб до відповідальності.

Окрім цього, за результатами проведеного дослідження встановлено, що найменш розповсюдженими є КП, передбачені статтями 237, 238, 243, 244, 250, 251, 253 КК України. З урахуванням вищезначеного щодо високого рівня екологічної злочинності, приходимо до висновку про значні недоліки правоохоронних органів та контролюючих органів стосовно виявлення та фіксації вказаних правопорушень.

Для розроблення правильної та найбільш ефективною послідовності заходів, спрямованих на боротьбу з екологічною злочинністю, необхідно мати не тільки точні статистичні показники щодо рівня такої злочинності, але володіти інформацією про тенденцію, динаміку цих злочинів, сферу їх найбільшої поширеності, а також дані щодо здійснення досудового розслідування у таких провадженнях. У разі ж відсутності достовірних статистичних даних за наведеними показниками, державні органи, що забезпечують охорону та контроль екологічної складової, не матимуть можливості задіяти свої сили та ресурси в достатній мірі. Поряд з цим, відсутність достовірних статистичних даних щодо рівня згадуваних злочинів сприяє відсутності належної уваги з боку науковців щодо здійснення роботи над розробленням нових та вдосконаленням вже існуючих тактик і методик розслідування КП проти довкілля, винесення пропозицій щодо вдосконалення законодавчої бази у цій сфері, опрацювання нових програм захисту та відновлення довкілля тощо.

Не викликає сумнівів, що недостатня робота стосовно фіксації та розслідування злочинних діянь, передбачених розділом VIII КК України, матиме дуже тяжкі та навіть невідворотні негативні наслідки, які будуть відчутні для кожного.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати проведеного дослідження можуть бути використані судовими, правоохоронними, а також центральними органами виконавчої влади, що забезпечують формування державної у сфері охорони навколишнього природного середовища та реалізують державну політику із здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів, у сфері охорони навколишнього природного середовища, для:

- посилення моніторингу навколишнього природного середовища;
- вдосконалення організації та здійснення у межах компетенції державного контролю за дотриманням норм природоохоронного законодавства;

– посилення роботи щодо документування фактів, що мають ознаки кримінальних правопорушень у сфері природоохоронного законодавства;

– посилення контролю за роботою дозвільних органів у сфері охорони довкілля;

– проведення науковцями у галузі кримінально-правових наук дослідження підстав, за яких винну особу не було притягнуто до кримінальної відповідальності за вчинене кримінальне правопорушення проти довкілля. До таких підстав можна віднести: допущення помилок під час проведення слідчих (розшукових) дій; недостатність доказової бази та помилки, допущенні під час збирання доказової бази, що спричинили недостатню якість отриманих доказів; порушення чи закінчення процесуальних строків тощо.

Література

1. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року (Закон України). № 2697-VIII (28.02.2019). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 07.10.2023).
2. Митрофанов І. І. Злочини проти довкілля : навч. посіб. І. І. Митрофанов, А. М. Притула. Суми : Університет. книга. 2010. 23 с.
3. Джужа О. М. Курс кримінології : підручник. У 2 кн. Кн. 2 : Особлива частина / за ред. О. М. Джужі. К. : Юрінком Інтер, 2001. 122 с.
4. Одерій О. В. Теорія і практика розслідування злочинів проти довкілля. Монографія. 2015. 48 с.
5. Статистика: Офіс Генерального прокурора. URL: <https://www.gp.gov.ua/ua/posts/statistika> (дата звернення: 07.10.2023).
6. Кримінальний кодекс України (Закон України). № 2341 – III (2001). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text> (дата звернення: 07.10.2023).
7. Кримінальний процесуальний кодекс України (Закон України). № 4651-VI (2012). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17#Text> (дата звернення: 07.10.2023).
8. Шульга А. М. Злочини проти довкілля. Питання кваліфікації. Харків, 2010. URL: <https://docplayer.net/65834206-Zlochini-proti-dovkillya-pitannya-kvalifikaciyi.html> (дата звернення: 09.10.2023).
9. Поклад В. І. Методологія та методика вивчення латентної злочинності: навч. посіб. / В. І. Поклад. Луганськ: РВВ ЛДУВС, 2007. 48 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Аліфанова Галина Валеріївна (Черкаси) – головний спеціаліст відділу карантину рослин Управління фітосанітарної безпеки, Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області;

Андрєєва Олена Юрїївна (Житомир) – доктор сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри біології та захисту лісу, Поліський національний університет;

Ахмедова Вікторія Вухарівна (Кривий Ріг) – викладач біології та хімії, Криворізька гімназія № 5 Криворізької міської ради;

Безноско Ірина Володимирівна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії біоконтролю агроecosystem і органічного виробництва, Інститут агроecології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Безсмертна Олесь Олексіївна (Київ) – кандидат біологічних наук, викладач кафедри ecології та зоології, Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Білоус Михайло Андрійович (Кам'янське) – головний інженер, ДП «Бар'єр», студент II курсу магістратури, Державна ecологічна академія післядипломної освіти та управління;

Боброва Марія Сергіївна (Криворізький) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри природничих наук і методик їхнього навчання, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка;

Божко Тетяна Василівна (Харків) – науковий співробітник лабораторії досліджень ecологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут ecологічних проблем»;

Бойко Людмила Іванівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, в.о. директора, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, ректор, Державна ecологічна академія післядипломної освіти та управління;

Бондаренко Юрій Георгійович (Черкаси) – кандидат медичних наук, лікар з гігієни праці відділення санітарно-гігієнічних досліджень, Державна установа «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України»;

Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри ecології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Васенко Олександр Георгійович (Харків) – кандидат біологічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи, завідувач лабораторії досліджень ecологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут ecологічних проблем»;

Васенко Олександр Георгійович (Харків) – кандидат біологічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут ecологічних проблем»;

Васільєва Людмила Анатоліївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент (б.в.з.) кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Врадїй Оксана Ігорівна (Вінниця) – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри ecології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Гаврилюк Лілія В'ячеславівна (Київ) – доктор філософії, старший науковий співробітник Незалежної лабораторії ecології насінництва, Інститут агроecології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Гаврилюк Максим Никандрович (Черкаси) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, ecології та агротехнологій, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького;

Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри ecології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Герасимчук Олена Леоніївна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Гетьман Поліна Андріївна (Київ) – провідний інженер відділу геоботаніки та ecології, Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного Національної академії наук України;

Голодаєва Олена Анатоліївна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент кафедри фундаментальних та медико-профілактичних дисциплін, Міжнародний європейський університет;

Горбань Валерій Віталійович (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Горган Тетяна Михайлівна (Київ) – науковий співробітник лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічного виробництва, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Грабко Наталія Вікторівна (Одеса) – старший викладач кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

Гришко Віталій Миколайович (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Гулай Віталій Володимирович (Кропивницький) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, охорони навколишнього середовища та здорового способу життя, Центральнорукраїнський національний технічний університет;

Гулько Світлана Олександрівна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Диняк Оксана Василівна (Київ) – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри гідрогеології та інженерної геології, Навчально-науковий інститут «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домбровський Костянтин Олегович (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Єременко Тетяна Сергіївна (Запоріжжя) – студентка II курсу магістратури біологічного факультету, Запорізький національний університет;

Жицька Людмила Іванівна (Черкаси) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

Золотарьова Олена В'ячеславівна (Київ) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної інженерії та екології, Східнорукраїнський національний університет імені Володимира Даля;

Іванець Олег Романович (Львів) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри зоології, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Іващенко Тарас Григорович (Київ) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління»;

Ієвлева Ольга Юріївна (Харків) – науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Ільїна Валентина Григорівна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

Ілюха Олександр Володимирович (Черкаси) – кандидат біологічних наук, завідувач кафедри біології, екології та агротехнологій, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького;

Кагукіна Анастасія Максимівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Карлюк Аліна Андріївна (Харків) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Кірейцева Ганна Вікторівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Клочко Тетяна Олександрівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та техногенної безпеки, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

Коваль Сергій Миколайович (Київ) – науковий співробітник лабораторії поводження з небезпечними речовинами та відходами, Інститут газу Національної академії наук України;

Ковальова Ілона Василівна (Рівне) – здобувачка PhD зі спеціальності 101 – Екологія, Рівненський державний гуманітарний університет;

Кононов Олександр Олегович (Запоріжжя) – студент II курсу магістратури біологічного факультету, Запорізький національний університет;

Копилов Віктор Павлович (Львів) – ад'юнкт кафедри екологічної безпеки, Навчально-науковий інститут цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Кошлякова Ірина Євгенівна (Київ) – інженер кафедри гідрогеології та інженерної геології, Навчально-науковий інститут «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Кравець Світлана Григорівна (Київ) – кандидат педагогічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник, Інститут професійної освіти Національної академії педагогічних наук України;

Красовський Володимир Васильович (Хорол) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

Лапінський Андрій Вікторович (Київ) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології неорганічних речовин водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Лисенко Ольга Іллівна (Кривий Ріг) – провідний інженер відділу природної та культурної флори, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Лихолат Юрій Васильович (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри фізіології та інтродукції рослин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Лук'янова Віталіна Віталіївна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу ядерно-фізичних технологій, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»;

Луцьова Оксана Володимирівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Ляшенко Олена Володимирівна (Дніпро) – аспірантка кафедри фізіології та інтродукції рослин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Мельник-Шамрай Вікторія Вікторівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Мельников Андрій Юрійович (Харків) – кандидат технічних наук, науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Микитась Денис Олександрович (Київ) – заступник директора з РБ, режиму та ФЗ, ДП «Бар'єр», студент II курсу магістратури, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Міланіч Ганна Юріївна (Харків) – науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Мудрак Олександр Васильович (Вінниця) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, природничих та математичних наук, Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»;

Натяжний Ярослав Михайлович (Київ) – студент II курсу магістратури хіміко-технологічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Нікітін Павло Сергійович (Одеса) – аспірант кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський державний екологічний університет;

Осипенко Вікторія Вікторівна (Черкаси) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, екології та агротехнологій, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького;

Палій Ольга Вікторівна – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Пацев Ігор Сергійович (Київ) – аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет;

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор, завідувач 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»;

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор, завідувач 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»;

Пашкевич Леонід Полікарпович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

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;

Пічура Віталій Іванович (Херсон) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет, Україна;

Покшевницька Тетяна Василівна (Київ) – аспірантка, Національний транспортний університет;

Полушкін Юрій Юрійович (Київ) – начальник управління з забезпечення фізичного захисту, ДСП «Об'єднання «Радон», аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Попович Василь Васильович (Львів) – доктор технічних наук, професор, т. в. о. проректора з науково-дослідної роботи, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;

Потравка Лариса Олександрівна (Херсон) – доктор економічних наук, професор, професор кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет, Україна;

Радкевич Валентина Олександрівна (Київ) – доктор педагогічних наук, професор, академік, директор, Інститут професійної освіти Національної академії педагогічних наук України;

Радкевич Олександр Петрович (Київ) – доктор педагогічних наук, старший дослідник, головний науковий співробітник, Інститут педагогіки Національної академії педагогічних наук України;

Рець Євген Юрійович – студент II курсу магістратури, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

Риженко Наталія Олександрівна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, старший науковий співробітник зі спеціальності «Екологія», завідувач кафедри екології та екологічного контролю, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Росоха Андрій Вікторович (Київ) – науковий співробітник лабораторії поводження з небезпечними речовинами та відходами, Інститут газу Національної академії наук України;

Руденко Валерій Петрович (Чернівці) – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри економічної географії та екологічного менеджменту, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;

Руденко Степан Валерійович (Дніпро) – кандидат географічних наук, докторант кафедри зоології та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Салій Ігор Вячеславович (Київ) – кандидат технічних наук, професор, директор галузевого навчального центру з питань охорони праці, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Сафранов Тамерлан Абісалович (Одеса) – доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

Свердленко Дмитро Олексійович (Запоріжжя) – студент II курсу магістратури біологічний факультет, Запорізький національний університет;

Сєрікова Олена Миколаївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища, Національний університет цивільного захисту України;

Снітко Денис Ігорович (Київ) – студент II курсу факультету інженерії, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля;

Спрягайло Оксана Анатоліївна (Черкаси) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології, екології та агротехнологій, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького;

Спрягайло Олександр Васильович (Черкаси) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, екології та агротехнологій, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького;

Суслова Олена Петрівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Суходольська Ірина Леонідівна (Рівне) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології, географії та туризму, Рівненський державний гуманітарний університет;

Терещенко Ольга Олександрівна (Запоріжжя) – головний спеціаліст – державний інспектор з охорони навколишнього природного середовища Південного округу (Запорізька та Херсонська області), Державна екологічна інспекція Південного округу (Запорізька та Херсонська області);

Улицький Олег Андрійович (Київ) – доктор геологічних наук, професор, директор, Навчально-науковий інститут екобезпеки та управління Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

Устименко Володимир Ігорович (Житомир) – доктор філософії, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

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;

Хоменко Олена Михайлівна (Черкаси) – кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

Хоменко Світлана Володимирівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Хромих Ніна Олександрівна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Науково-дослідний інститут біології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Хрутьба Ольга Володимирівна (Київ) – аспірант, Національний транспортний університет;

Хрутьба Юлія Сергіївна (Київ) – кандидат економічних наук, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет;

Черба Ольга Володимирівна (Харків) – здобувач вищої освіти рівня PhD, науковий співробітник, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Черняк Таїсія Василівна (Хорол, Полтава) – завідувачка сектору дендрології, розмноження рослин та еколого-освітньої діяльності, науковий співробітник, Хорольський ботанічний сад; аспірантка кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка;

Четвериков Володимир Валентинович (Київ) – кандидат технічних наук, завідувач лабораторією поводження з небезпечними речовинами та відходами, Інститут газу Національної академії наук України;

Шамрай Володимир Ігорович (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничих технологій та будівництва імені професора Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка»;

Шевчик Василь Леонович (Канів) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Канівський природний заповідник Навчально-наукового центру «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Шевчук Лариса Миколаївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка».

НОТАТКИ

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

6(51)

- *Екологія і виробництво*
- *Екологія водних ресурсів*
- *Екологічний моніторинг*
- *Екологія та економіка природокористування*
- *Біологічна безпека*
- *Екологічна безпека*
- *Екологічні наслідки воєнних дій*
- *Зміна клімату*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*
- *Інноваційні методи досліджень*
- *Питання сталого розвитку*
- *Загальні проблеми екологічної безпеки*

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. Інглєзі, 6/1
Тел. +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua

Підписано до друку 06.12.2023. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 29,99. Тираж 100. Замовлення № 0124/003.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета