

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

**2(53)**

---

---



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

**Екологічні науки** : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :  
Видавничий дім «Гельветика», 2024. – № 2(53). – 278 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

---

---

<b>ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ</b> .....	7
<b>Бондар О.І., Машков О.А., Іващенко Т.Г., Оводенко Т.С., Присяжний В.І.</b> Типологія інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.....	7
<b>Адамова Г.В.</b> Можливості еколого-експертно-аналітичних досліджень системи «АДС».....	16
<b>Dyudyayeva O.A., Rutta O.V.</b> Ecologisation of the food industry through the introduction of vermiculture technology in agriculture.....	22
<b>Машков О.А., Маркіна Л.М., Присяжний В.І., Власенко О.В., Ковтунов О.В., Оводенко Т.С., Печений В.Л., Куракова Н.О.</b> Інноваційний підхід до систематизації форм представлення наукових результатів фундаментальних та прикладних досліджень у галузі захисту навколишнього середовища.....	29
<b>Khomiak I., Onyschuk I., Khomiak O.</b> Analysis of the relevance of astroecological research.....	35
<b>ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ</b> .....	39
<b>Ольшевський С.В., Бех І.І., Каберник В.О.</b> Вдосконалення систем екологічного моніторингу водних ресурсів шляхом застосування безконтактних сенсорів електрохімічного імпедансу .....	39
<b>ЕКОЛОГІЯ УРБАНІСТИЧНИХ СИСТЕМ</b> .....	50
<b>Романчук Л.Д., Кравчук Т.В., Можарівська І.А., Романчук Л.М.</b> Екологічна оцінка стану атмосферного повітря Бердичівського району Житомирської області на основі статистичних даних.....	50
<b>Руденко С.В., Руденко В.П., Руденко С.С.</b> Пізнання провінційних екосистем України через гравітаційні моделі їх природно-ресурсного потенціалу.....	55
<b>Шумик М.І., Попіль Н.І., Льодок В.С.</b> Еколого-ценотична та ландшафтна оптимізація антропогенно трансформованих територій міста Києва.....	61
<b>УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ</b> .....	72
<b>Дмитруха Т.І., Черняк Л.М., Фролов В.Ф., Петрусенко В.П., Лапань О.В., Кондакова Т.С., Трофімов І.Л., Полив'ян Ю.В.</b> Еколого-математичний аналіз безпеки полігону побутових відходів для довкілля (на прикладі Фастівського району).....	72
<b>Пацева І.Г., Нонік Л.Ю.</b> Стратегічний аналіз передумов впровадження логістичних підходів у систему управління відходами на регіональному рівні.....	77
<b>ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ</b> .....	84
<b>Босюк А.С., Шестопапов О.В., Разно М.Р.</b> Біоіндикація як метод визначення якості ґрунту та впливу забруднювачів на флору: аналіз інгібіторної дії на ріст коренів та вплив хімічних речовин на проростання та ріст рослин.....	84
<b>Ковров О.С., Сушко З.Л.</b> Дослідження впливу цинку на ростові показники рослин-фіторемедіантів.....	90
<b>Курганевич Л.П., Войтків П.С., Блажівський О.Я., Блажівська О.Я.</b> Стан земельних ресурсів Турківської територіальної громади Львівської області.....	99
<b>Тихомирова Т.С., Титаренко А.І., Косенкова І.Д.</b> Оцінка впливу на стан ґрунтів урбанізованих територій дрібних об'єктів комбінованого складу.....	105
<b>ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО</b> .....	110
<b>Білецький О.О., Залуський Д.М.</b> Енергетичні процеси в комбінованих джерелах електроживлення з іоністорами та літій-іонними акумуляторними батареями.....	110
<b>Волошин В.С.</b> Щодо питання про методологію мінімізації відходів у джерелі їх виникнення – технологічному процесі.....	114
<b>Лопушанська М.Р., Іванов Є.А., Вижива А.М., Циганок Л.В.</b> Оцінка впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики Львівської області.....	123

<b>Маленко Я.В., Кобрюшко О.О., Верба Д.Д.</b> Особливості екоморфичного складу угруповань рослин техногенних екотопів відвалів Кривбасу.....	134
<b>ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....</b>	150
<b>Атаєв С.В., Нестер А.А.</b> Благоустрій водойм міста Києва для підтримки функціонування екосистем .....	150
<b>Берія В.Д., Гандзюра В.П.</b> Динаміка стану угруповань зоопланктону водних екосистем Бучанського району у літньо-осінній період 2023 року.....	161
<b>Романчук Л.Д., Кравчук Т.В., Можарівська І.А., Шацло Є.Г., Романчук Л.М.</b> Екологічна оцінка питної води Бердичівського району Житомирської області на вміст сульфатів, хлоридів та нітратів.....	165
<b>Супрунчук В.І., Іванюк О.В.</b> Матеріальний та тепловий баланс виробництва алюмінію сульфату – коагулянту очищення природних та стічних вод.....	171
<b>Шекк П.В., Моторна Т.В.</b> Формування та функціонування водної екосистеми озера Китай в умовах зростаючого антропогенного навантаження .....	176
<b>АГРОЕКОЛОГІЯ.....</b>	186
<b>Львіна В.Г., Нікітін П.С.</b> Моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області.....	186
<b>Цибуля С.Д., Мачульський Г.М., Буяльська Н.П., Костенко І.А., Іваненко К.М.</b> Вплив іонізуючого випромінювання на ріст та розвиток картоплі ( <i>Solanum tuberosum</i> L.).....	191
<b>ЗАХИСТ РОСЛИН.....</b>	199
<b>Івашенко І.В., Котюк Л.А., Бакалова А.В., Грицюк Н.В.</b> Сировинна продуктивність <i>Serratula coronata</i> L. за умов інтродукції в Центральному Поліссі України.....	199
<b>Юрченко Т.В., Пикало С.В., Гудзенко В.М., Томашевська А.М.</b> Спосіб оцінювання та добору селекційного матеріалу озимих зернових культур за морозостійкістю.....	205
<b>ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.....</b>	209
<b>Бондар О.Б., Мельник Є.С., Чернишенко О.Я.</b> Синергія ризиків та перспектив: аналіз круглого столу та форуму щодо лісів України в контексті ЄС.....	209
<b>Бондар О.І., Шевченко Р.Ю., Іваненко І.Б., Мовчан М.М.</b> Удосконалення менеджменту рекреаційного навантаження на території природоохоронного призначення в Україні.....	215
<b>Левчик Н.Я., Заїменко Н.В., Горбенко Н.Є., Скрипка Г.І., Гриник О.М., Гриник Г.Г.</b> Тропічні та субтропічні рослини родини <i>Euphorbiaceae</i> Juss. в ботанічних садах України: історія, традиції, особливості, перспективи.....	224
<b>ЗМІНА КЛІМАТУ.....</b>	238
<b>Пацева І.Г., Кагукіна А.М.</b> Коефіцієнти суттєвості відхилень середньомісячних показників температури повітря та кількості опадів в місті Житомир.....	238
<b>ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....</b>	243
<b>Воротін В.Є.</b> Стратегічне бачення європейського державотворення та екологічна складова згуртованості публічного управління в Україні.....	243
<b>Кірейцева Г.В.</b> Значення екологічної інформації для стійкого розвитку України.....	248
<b>Магась Н.І., Жадан Н.М., Туз Р.В.</b> Визначення екологічно стійких та прийнятних рішень для забезпечення якісного водопостачання м. Миколаїв.....	254
<b>Петровська М.А., Петровський С.В.</b> Сертифікація – невід’ємна складова ринку органічної продукції в Україні.....	266
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	272

---

---

## CONTENTS

---

---

<b>INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF ENVIRONMENTAL PROTECTION</b> .....	7
<b>Bondar O., Mashkov O., Ivashchenko T., Ovodenko T., Prysiazhny V.</b> Typology of intellectual environmental decision support systems .....	7
<b>Adamova H.</b> Determining the effectiveness of measures to mitigate impact in the “CRE” system through expert-analytical studies .....	16
<b>Dyudyayeva O., Rutta O.</b> Ecologisation of the food industry through the introduction of vermiculture technology in agriculture.....	22
<b>Mashkov O., Markina L., Prysiazhnyi V., Vlasenko O., Kovtunov O., Ovodenko T., Pechenyi V., Kurakova N.</b> Innovative approach to the systematisation of the forms of presentation of scientific results of fundamental and applied research in the field of environmental protection .....	29
<b>Khomiak I., Onyschuk I., Khomiak O.</b> Analysis of the relevance of astroecological research.....	35
<b>ENVIRONMENTAL MONITORING</b> .....	39
<b>Olszewski S., Bekh I., Kabernyk V.</b> Improvement of environmental monitoring systems for water resources through the application of contactless electrochemical impedance sensors.....	39
<b>ECOLOGY OF URBAN SYSTEMS</b> .....	50
<b>Romanchuk L., Kravchuk T., Mozharivska I., Romanchuk L.</b> Ecological assessment of the atmospheric air condition in Berdychiv district of Zhytomyr region based on statistical data. ....	50
<b>Rudenko S., Rudenko V., Rudenko S.</b> Cognition of provincial ecosystems of Ukraine through gravity models of their nature-resource potential .....	55
<b>Shumyk M., Popil N., Lodok V.</b> Ecological and landscape optimization of anthropogenically transformed areas of the city of Kyiv .....	61
<b>WASTE MANAGEMENT</b> .....	72
<b>Dmytrukha T., Cherniak L., Frolov V., Petrusenko V., Lapan O., Kondakova T., Trofimov I., Polyvan Yu.</b> Ecological-mathematical analysis of the danger of the household waste landfill for the environment (on the example of the Fastiv district) .....	72
<b>Patseva I., Nonik L.</b> Strategic analysis of the prerequisites for the implementation of logistics approaches in the waste management system at the regional level .....	77
<b>ECOLOGY OF LAND RESOURCES</b> .....	84
<b>Bosiuk A., Shestopalov O., Razno M.</b> Bioindication as a method of determining soil quality and the impact of pollutants on flora: analysis of inhibitory effect on root growth and influence of chemicals on plant germination and growth .....	84
<b>Kovrov O., Sushko Z.</b> Study of the influence of zinc on the growth indicators of phytoremediation plants .....	90
<b>Kurhanevych L., Voitkiv P., Blazhivskiy O., Blazhivska O.</b> State of the land resources of Turka territorial community in Lviv region.....	99
<b>Tykhomyrova T., Tytarenko A., Kosenkova I.</b> Impact assessment of small parts made from combined composition on soil state in urbanized areas .....	105
<b>ECOLOGY AND PRODUCTION</b> .....	110
<b>Biletskyi O., Zaluskyi D.</b> Energy processes in combined power supplies with ionistors and lithium-ion accumulatory batteries .....	110
<b>Voloshyn V.</b> On the question of the methodology of waste minimization at the source of occurrence .....	114
<b>Lopushanska M., Ivanov Ye., Vyzhva A., Tsyganok L.</b> Environmental impact assessment for renewable energy objects in the Lviv region .....	123
<b>Malenko Ya., Kobriushko O., Verba D.</b> Peculiarities of ecological composition of plant communities in technogenic ecotopes of Kryvbas dumps .....	134

<b>ECOLOGY OF WATER RESOURCES</b> .....	150
<b>Atayev S., Nester A.</b> Improvement of water bodies in Kyiv to support the functioning of ecosystems .....	150
<b>Beriia V., Gandzyura V.</b> Dynamics of the state of zooplankton groups in aquatic ecosystems of the Buchansky district in the summer-autumn period of 2023 .....	161
<b>Romanchuk L., Kravchuk T., Mozharivska I., Shatsylo Ye., Romanchuk L.</b> Ecological assessment of drinking water in Berdychiv district of Zhytomyr region for sulphates, chlorides and nitrates .....	165
<b>Suprunchuk V., Ivaniuk O.</b> Material and heat balance of the production of aluminum sulfat-hydrate – a coagulant for native and waster water treatment .....	171
<b>Shekk P., Motorna T.</b> Formation and functioning of the water ecosystem of lake China in conditions of increasing anthropogenic load.....	176
<b>AGROECOLOGY</b> .....	186
<b>Iliina V., Nikitin P.</b> Modeling the influence of agrometeorological conditions on the efficiency of nitrogen nutrition for winter wheat in Odesa region. ....	186
<b>Tsybulya S., Machulskiy H., Buialska N., Kostenko I., Ivanenko K.</b> The influence of ionizing radiation on the growth and development of potato ( <i>Solanum tuberosum</i> L.). ....	191
<b>PROTECTION OF PLANTS</b> .....	199
<b>Ivashchenko I., Kotyuk L., Bakalova A., Hrytsiuk N.</b> Raw material productivity of <i>Serratula coronata</i> L. under the conditions of its introduction in Central Polissia of Ukraine. ....	199
<b>Yurchenko T., Pykalo S., Hudzenko V., Tomashevskaya A.</b> Method of evaluation and selection of breeding material of winter cereals for frost resistance. ....	205
<b>PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY</b> .....	209
<b>Bondar O., Melnyk Ye., Chernyshenko O.</b> Synergy of risks and prospects: analysis of the round table and forum on Ukrainian forests in the context of the EU. ....	209
<b>Bondar O., Shevchenko R., Ivanenko I., Movchan M.</b> Improvement of calculations and management of recreation load in nature protection territories of Ukraine. ....	215
<b>Levchyk N., Zaimenko N., Horbenko N., Skrypka H., Hrynyk O., Hrynyk H.</b> Tropical and subtropical plants of the <i>Euphorbiaceae</i> Juss. family in the botanic gardens of Ukraine: history, traditions, features, and perspectives. ....	224
<b>CLIMATE CHANGE</b> .....	238
<b>Patseva I., Kahukina A.</b> Coefficients of significance of average monthly indicators' deviations in air temperature and precipitation in the city of Zhytomyr.....	238
<b>GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES</b> .....	243
<b>Vorotin V.</b> Strategic vision of European state-building and environmental component of public administration cohesion in Ukraine .....	243
<b>Kireitseva H.</b> The significance of environmental information for the sustainable development of Ukraine .....	248
<b>Magas N., Zhadan N., Tuz R.</b> Identification of environmentally sustainable and acceptable solutions to ensure quality water supply in Mykolaiv .....	254
<b>Petrovska M., Petrovskiy S.</b> Certification is an integral part of the market of organic products in Ukraine .....	266
<b>AUTHORS' CREDENTIALS</b> .....	272

---

# ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

---

УДК 519.6:004.8: 574.08:681.78: 378.147  
DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.1>

## ТИПОЛОГІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ ЕКОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

Бондар О.І., Машков О.А., Івашенко Т.Г., Оводенко Т.С., Присяжний В.І.  
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
mashkov\_oleg\_52@ukr.net

Розглянуті особливості інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних управлінських рішень, а також запропоновані нові моделі наукового завдання, спрямованого на типології інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень. Означено формалізацію метапроцедур в інтелектуальній системі екологічного управління, зокрема: процедури цілеспрямованого пошуку на основі відмінності-подібності; обґрунтованого вибору із множини альтернатив; аргументації; логічного висновку; каузальних залежностей; навчання класифікації на прикладах. Формалізовані дев'ять типів інтелектуальних систем для управління екологічною безпекою довкілля та природних ресурсів за допомогою автоматизованих систем управління природоохоронної діяльності, а саме: інформаційні; поповнення та формування баз знань; текстової обробки; підтримки прийняття рішень; навчальні; експертні; автоматизованої підтримки прийняття рішень; автоматизації наукових досліджень; інтелектуальних баз даних. Існуючі методи контролю параметрів довкілля не дозволяють повною мірою визначити характер антропогенного впливу. Використання космічних знімків, а також їх комплексна обробка дає змогу здійснити та повніше відобразити характер впливу шкідливих процесів на природне довкілля. Окрім цього, завдяки існуючим сучасним спеціальним програмним комплексам можливо визначити не тільки характер шкідливих речовин, а також рівні їх концентрації та різні зони впливу. Аналіз існуючого науково-методичного апарату створення систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень показав недосконалість його можливості використання для здійснення ефективного управління екологічною безпекою в реальному часі. Підвищення ефективності системи управління екологічною безпекою пропонується здійснювати завдяки використанню штучного інтелекту та застосування аерокосмічних систем екологічного моніторингу. *Ключові слова:* аерокосмічна система екологічного моніторингу, екологічні рішення, інтелектуальна система, метапроцедури, система підтримки прийняття управлінських рішень, система штучного інтелекту, управління екологічною безпекою.

**Typology of intellectual environmental decision support systems. Bondar O., Mashkov O., Ivashchenko T., Ovodenko T., Prysiashny V.**

The paper provides a description of intellectual support systems for environmental management decision making and offers a new solution to the scientific task, which consists in a typology of intellectual support systems for environmental management decision-making. The formalization of meta-procedures in the intelligent system of environmental management is considered: the procedure of purposeful search based on differences-similarities, the procedure of justified choice from a set of alternatives», the procedure of argumentation, the procedure of logical conclusion, the procedure of causal dependencies, the procedure of learning classification by examples. Nine types of intelligent systems are formalized in the management of ecological safety of the environment and natural resources with the help of automated management systems of environmental protection activities: intelligent information systems; intelligent databases; system of replenishment and formation of knowledge bases; text processing systems; intelligent decision support systems; intelligent educational systems; intelligent expert systems; intelligent systems of automated decision-making support; intelligent systems of automation of scientific research. The existing methods of monitoring environmental parameters cannot determine the nature of anthropogenic influence. The use of space images, as well as their complex processing, makes it possible to realize and more fully reflect the nature of the impact of harmful processes on the natural environment. In addition, thanks to existing modern special software complexes, it is possible to determine not only the nature of harmful substances, but also their concentration levels and various zones of influence. The analysis of the existing scientific and methodological apparatus for the creation of support systems for the adoption of managerial environmental decisions showed the imperfection of the possibility of its use for effective management of environmental safety in real time. It is proposed to increase the effectiveness of the environmental safety management system by using artificial intelligence with the use of aerospace environmental monitoring systems. *Key words:* aerospace environmental monitoring system, environmental solutions, intelligent system, metaprocedures, management decision support system, artificial intelligence system, environmental safety management.

**Постановка проблеми.** Одне із важливих завдань екологічного моніторингу – це оброблення даних екологічного спостереження, отриманих за допомогою наземних та мобільних комплексів, що визначають екологічний стан відповідного району та об'єктів спостереження [3]. Сучасні штучні системи обробки інформації, що використовуються у різноманітних галузях інтелек-

туального аналізу даних та машинного навчання, здебільшого ґрунтуються на аналогії функціонування відповідних процесів у біологічних організмах. До таких процесів слід віднести функціонування генної мережі, імунні процеси, функціонування нейронних мереж тощо [1], [2], [4]. Особливістю таких систем є високий рівень складності, здатність навчатися, розпаралелювання процесу обробки інформації, високий рівень захисту, здатність розпізнавати та приймати адекватні рішення. У цьому контексті розробка сучасних штучних моделей обробки даних екологічного моніторингу можлива із застосуванням системного підходу, що передбачає комплексне застосування знань та методів з різних галузей, а саме: молекулярна біологія, математика, інформатика, фізика, хімія [5]-[7].

На сьогодні для обробки даних екологічного моніторингу існують й активно застосовуються моделі глибинного навчання, зокрема: глибинні нейронні мережі, згорткові нейронні мережі, штучні глибинні мережі, що дозволяють отримати задовільну точність діагностики екопроцесів на значних обсягах даних, але при цьому виникає проблема часу навчання, чутливості мережі та верифікації отриманих моделей на інших, аналогічних даних [8]-[10].

Такий підхід створює умови для підвищення об'єктивності обробки даних екологічного спостереження в реальному часі за рахунок застосування ансамблів методів, гібридних моделей та ефективних критеріїв якості оцінки результатів на відповідному етапі реалізації процесу обробки інформації [3].

Роз'язання вищезазначеної проблеми можливе шляхом розробки нових та удосконалення наявних методів, моделей та алгоритмів обробки даних екологічного моніторингу.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тематика статті не суперечить загальнодержавним науково-технічним програмам, що сформульовані в Законах України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про національну програму інформатизації», а також відповідають планам найважливіших науково-технічних програм Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Міністерства освіти та науки України, зокрема: 6 – Інформатика, автоматизація та приладобудування; 6.2.1 – Інтелектуалізація процесів прийняття рішень; 6.2.2 – Перспективні інформаційні технології і системи. Тому необхідна наукова розробка типології інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних управлінських рішень [3], [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми розроблення інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень розглядалися у працях багатьох авторів [1]-[10]. У дослідженнях [1], [2] наведені методи та засоби штучного інтелекту. Системи штучного інтелекту формалізовані в дослідженнях [7]-[10]. Концепція створення

інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки запропонована в роботі [6]. Парадигма обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки розглянуто в роботі [3]. Проведений аналіз засвідчує, що на сьогодні залишаються невирішеними питання наукового обґрунтування типології інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних управлінських рішень.

На основі аналізу сучасних літературних джерел у напрямку створення систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень можна зробити висновок, що нині не існує цілісно-сформованої теорії визначення інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних управлінських рішень та формалізації метапроцедур в інтелектуальній системі екологічного управління, хоча дослідження у цій предметній галузі створюють передумови для її створення і подальшого удосконалення.

**Невирішена раніше частина загальної проблеми.** Пропонується визначення інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних управлінських рішень та формалізації метапроцедур в інтелектуальній системі екологічного управління, хоча дослідження у цій предметній галузі створюють передумови для її створення та подальшого удосконалення. Наступне актуальне завдання, що необхідно виконати під час створення систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень, – розроблення типології інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Об'єктом вивчення системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень є метапроцедури навчання, пошук методів відтворення їх програмно-технічними засобами. Таке визначення дозволяє вважати інтелектуальними будь-які програми, здатні моделювати фіксований вид людської діяльності.

Мета дослідження – наукове обґрунтування типології інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних управлінських рішень для забезпечення екологічної безпеки довкілля та природних ресурсів.

#### **Результати досліджень.**

#### **1. Формалізація метапроцедур в інтелектуальній системі екологічного управління.**

При визначенні інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних управлінських рішень береться до уваги, що фундаментальна риса природного інтелекту – його здатність до навчання, адаптації до середовища, набуття знань, здатність поводитися доцільно та цілеспрямовано відповідно до поставленої мети. Такі здібності природного інтелекту покладені в його «конструкцію» генетично і передаються у спадок. Ті дані людині від природи процедури, за допомогою яких вона опановує нові знання та нові види діяльності, мають назву метапроцедури [1].



Формалізація метапроцедур в інтелектуальній системі екологічного управління передбачає визначення наступних процедур: процедура цілеспрямованого пошуку на основі відмінності-подібності, процедура обґрунтованого вибору із множини альтернатив, процедура аргументації, процедура логічного висновку, процедура каузальних залежностей, процедура навчання класифікації на прикладах.

*Процедура «цілеспрямований пошук на основі відмінності-подібності».* Така метапроцедура (скорочене позначення – ЦПВП) застосовується за умови якщо особа відповідальна за прийняття рішення щодо віднесення чи не віднесення будь-якого об'єкта до певного класу об'єктів. Наприклад, можливо ототожнити два зображення, показані на рис. 1. У нашому розпорядженні є група перетворень, що передбачають повороти та переміщення за будь-якими напрямками. Таких перетворень цілком достатньо, щоб поєднати між собою обидва зображення.

На цьому прикладі можна продемонструвати метапроцедуру ЦПВП. Насамперед, простежуються відмінності у зображеннях. Єдина відмінність полягає в тому, що одне із зображень має вигляд повернутого щодо іншого. Знаходження цієї відмінності викликає необхідність застосувати таке перетворення, що його усуває, тобто. перетворення повороту. Для того, щоб остаточно переконатися в тотожності зображень, треба прибрати різницю в їх місцезнаходженні. Вона здійснюється процедурою переміщення на площині.

Метапроцедура ЦПВП полягає у повторенні низки однотипних кроків:

- виявити наявні відмінності в об'єктах;
- обрати одну з відмінностей;
- визначити процедуру, що усуває цю відмінність;
- якщо такої процедури немає, то відповідь негативна – об'єкти не однакові, кінець процедури;
- якщо така процедура є, то застосувати її;

– перевірити чи залишилися розбіжності у об'єктах;

– якщо відмінностей немає, то відповідь позитивна – об'єкти однакові, кінець процедури;

– якщо відмінності є, перейти до початку ЦПВП.

При цьому якщо на безлічі об'єктів якимось чином задана процедура встановлення подібності (схожості), то виникає можливість перенесення процедур, що були успішними для усунення відмінностей на одному об'єкті, на безліч об'єктів, подібних до раніше відомих.

Як правило, подібність на об'єктах формується зважаючи на подібності їхніх примарних структур. Аналіз засвідчує (рис. 2) що об'єкти 1, 3, 4, 5 подібні між собою, а об'єкти 2 та 6 утворюють інший клас подібних об'єктів.

Розгляд ЦПВП дозволяє зрозуміти відмінність метапроцедур від звичайних процедур, що втілюються в програмах вирішення конкретних завдань. У якості об'єктів можуть виступати як об'єкти фізичного світу, так і факти, події чи ситуації. У цьому випадку в ролі визнаних структур можуть виступати складніші об'єкти, що можуть мати свою внутрішню структуру.

*Процедура «обґрунтований вибір із множини альтернатив (ОВМА)».* При управлінні екологічною безпекою доводиться на певному етапі вибирати одне з альтернативних рішень. Наприклад, вирішувая питання забезпечення екологічної безпеки, ви можете розглянути безліч різних альтернативних планів. Серед них може значитися оцінка радіаційного забруднення, поводження з відходами, очищення повітря, ґрунтів, водного середовища тощо. Це безліч альтернатив передбачає для особи, яка приймає рішення, завдання вибору. Як воно здійснюється? Навряд чи можна теоретично врахувати всі нюанси прийняття рішення. На цей процес впливають різні чинники. Якщо не має відповідних ресурсів або обладнання, то деякі альтернативи, пов'язані

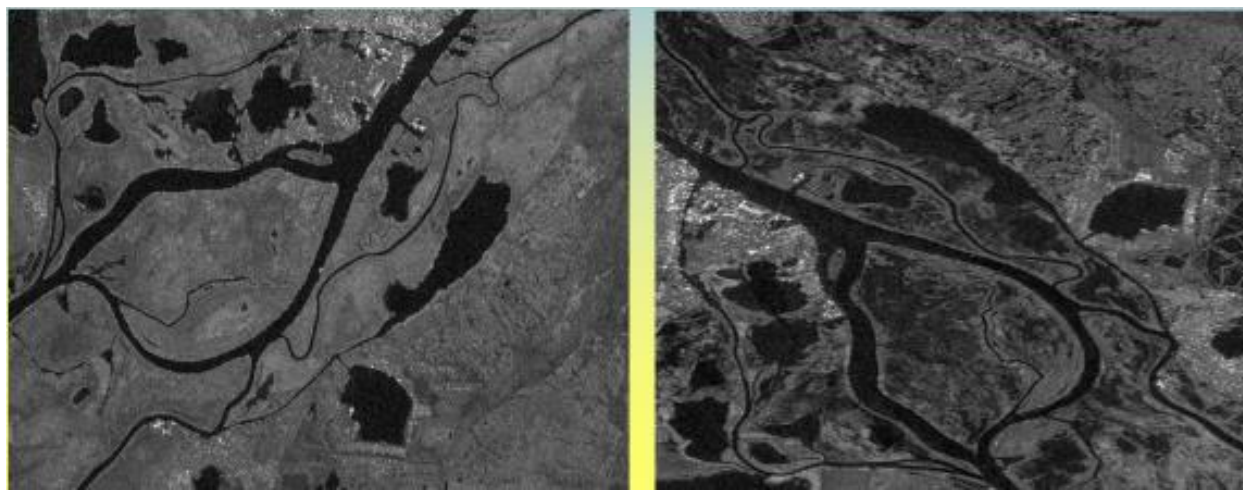


Рис. 1. Космічні зображення території спостереження

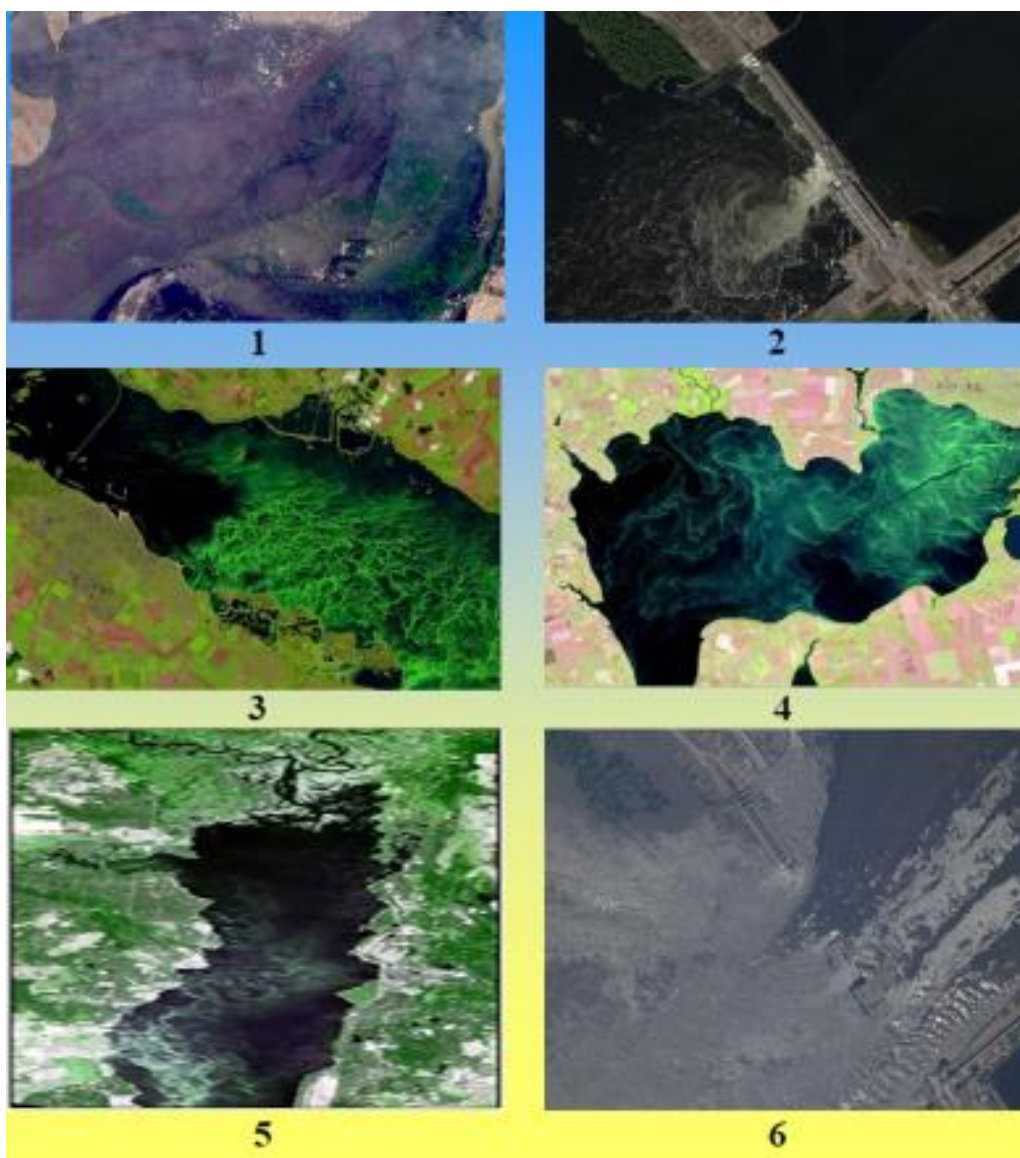


Рис. 2. Космічні зображення різних об'єктів спостереження

зі здійсненням екологічного моніторингу, відкидаються відразу. Таким чином, все залежить від того контексту, в рамках якого відбувається вибір.

*Процедура аргументації (А).* Процес аргументації у інтелектуальній системі спирається на аргумент. При цьому аргументи бувають двох типів: аргументи «за» та аргументи «проти» (або аргументи та контраргументи). Якщо є деяке положення  $H$ , яке треба аргументувати, вибирається безліч аргументів, релевантне  $H$ . Термін «релевантне» широко вживається в психології, лінгвістиці. Але в різних науках цей термін інтерпретується по-різному. Для фахівців у галузі штучного інтелекту найбільше підходить тлумачення терміна «релевантний», яке прийнято в лінгвістиці: « $X$  називається релевантним  $Y$ , якщо  $X$  пов'язано з  $Y$  і збільшує наші знання про  $Y$  або його значення в деякій ситуації». Саме так в інтелектуальній системі підтримки прийняття екологіч-

них управлінських рішень ми розумітимемо термін «релевантний».

Припускаємо, що аргументи та контраргументи зважені деякими вагами важливості. Як і у випадку ЦПВП у метапроцедурі  $A$  призначення значень ваги важливості справа суб'єктивна. Одній особі, яка приймає рішення даний аргумент або контраргумент може здатися дуже важливим, а інша навіть не прийме його до уваги, або вважає, що він не є релевантним  $H$ . Але якщо такі ваги  $q$  призначені, метапроцедура  $A$  може бути описана наступною послідовністю кроків:

- вибрати множину  $M_1$  аргументів, релевантних  $H$ ;
- підрахувати  $\sum q_i$  відібраних аргументів;  $i \in M_1$ ;
- відібрати множину контраргументів  $M_2$ , релевантних  $H$ ;
- підрахувати  $\sum q_i$  відібраних контраргументів,  $i \in M_2$ ;

– знайти  $h = \sum q_i - \sum q_i, i \in M_1, i \in M_2$ ;

– порівняти  $h$  с априорно заданим  $m$ , якщо  $h \geq m$ , то прийняти  $H$  (вважати його підтвердженням), якщо  $h < m$ , то відкинути  $H$  (вважати його непідтвердженням);

– процедура  $A$  закінчена.

Значення  $m$  таке ж суб'єктивне, як і значення ваги важливості. У системах штучного інтелекту  $m$ , як і  $h$  призначаються априорно, а потім коригуються у процесі роботи системи.

Навчання (або адаптація) у метапроцедурі  $A$  відбувається за рахунок коригування значень ваг важливості та порога прийняття рішення  $H$ .

З урахуванням метапроцедури  $A$  можливо визначити наступні кроки формування ОБМА:

– сформулювати безліч альтернатив  $N1$ ;

– провести процедуру  $A$  для кожної альтернативи з  $N1$ ;

– сформулювати безліч прийнятих альтернатив  $N2$ ;

– якщо в  $N2$  один елемент, то вибір здійснено, ОБМА закінчено;

– якщо  $N2$  не один елемент, то повторити другий крок даної процедури зі збільшеним значенням  $m$ .

Альтернатива вважається активізованою, якщо відповідна їй умова стає істинною.

*Процедура «процедура логічного висновку (ЛВ)».*

Ця процедура часто замінює процедуру аргументації. Суть процедури ЛВ пояснює таке визначення:

Твердження  $g$  виводиться із твердження  $v$  і системи аксіом  $S$  за допомогою фіксованої множини правил виведення  $R$ , якщо існує ланцюжок  $v, v_1, v_2, \dots, v_n, g$ , в якій кожен елемент, крім першого, або є аксіомою, або виходить з попередніх елементів ланцюжка шляхом застосування правил виведення з  $R$ .

Різновидом ЛВ є правдоподібний логічний висновок (ПЛВ). Якщо ЛВ як результат застосування правил виведення з  $R$  є детермінованим, то ПЛВ призводить до того чи іншого результату лише з деякою часткою достовірності. Кожне правило в процедурі ПЛВ забезпечується власною вагою правдоподібності (або коефіцієнтами впевненості). Це призводить до того, що остаточний висновок (результат виведення) є лише правдоподібним.

Ось приклад ПЛВ:

$v$  «Район спостереження є екологічно небезпечним»

$g$  «Є завдання зробити район екологічно безпечним»

$v_1$  «Сьогодні отримуємо дані екологічного моніторингу»

$v_2$  «Сьогодні застосовуємо природоохоронні заходи»

$v^1$  «Плануємо в подальшому здійснювати екологічний моніторинг»

$v^2$  «Сьогодні застосовуємо природоохоронні заходи».

Можливі два ланцюжки ПЛВ  $v, v_1, v_2, g$  і  $v, v^1, v^2, g$ . Перша реалізується при реалізації  $v_1$  та  $v_2$ ,

а друга –  $v^1, v^2$ . Цілком можливий і третій ланцюжок  $v, v_1, v^2, g$ ; коли реалізується  $v_1$ , але з реалізується  $v_2$ . ПЛВ, що тут розглядається, це прогноз на майбутнє. Такий прогноз завжди багатоваріантний. При збільшенні часу прогнозу дерево можливих висновків матиме дедалі більше гілок. Побудувавши таке дерево, можна оцінити найперспективніші шляхи розвитку подій та вибрати для себе найбільш вигідний варіант.

Також слід зауважити, що регноз (розгляд минулого) також має розгалужений (а не лінійний) характер. Лінійність (один певний ланцюжок) виникає лише в граничному випадку, коли про перебіг процесу у минулому все до кінця відомо. Але цьому випадку немає потреби ні ЛВ, ні тим більше ПЛВ. Все відомо і так.

*Процедура каузальних залежностей (ПКЗ).*

Практика свідчить, що нелінійність прогнозу та регнозу доставляє в прогнозуючих та діагностичних процедурах масу неприємностей. З дозволом їх має справу метапроцедура ПКЗ.

ПКЗ завжди тісно пов'язана з ПЛВ і часто не відокремлюється від неї. Але корисно окремо виділити її, бо вона є ефективною в інтелектуальних системах і може використовуватися самостійно, без метапроцедур ПЛВ. Каузальні залежності можуть мати різний характер. Найпростішими з них є залежності «причина-слідство» (при прогнозі) та «слідство-причина» (при регнозі). Іншим прикладом каузального зв'язку може бути зв'язок з логічною виведеності ( $X$  логічно впливає з  $Y$ ). Але є й багато інших каузальних зв'язків, які треба враховувати під час роботи інтелектуальних систем (супроводити, впливати, перешкоджати тощо).

*Процедура «навчання класифікації на прикладах (НКП)».* Для того, щоб застосовувати НКП необхідно мати безліч прикладів і контрприкладів об'єктів, фактів, подій або ситуацій, що відносяться до деякого певного класу і не відносяться до нього.

Виконання НКП складається з наступних кроків:

– знайти подібність серед прикладів, описати цю подібність як деякого твердження;

– перевірити, чи не задовольняє якийсь представник із групи контрприкладів сформульованому твердженню;

– якщо такого представника із групи контрприкладів немає, то прийняти побудоване твердження за класифікуюче (вирішальне) правило; першу частину процедури НКП завершено;

– якщо є контрприклад, що задовольняють знайденому твердженню, то знайти для кожного такого контрприкладу його відмінність від кожного з прикладів, описати цю різницю у вигляді деякого твердження;

– об'єднати твердження про схожість на групі прикладів із твердженням про відмінності між прикладами та контрприкладом, перейти до другого кроку НКП.

Після завершення першої частини процедури НКП починається її друга частина, послідовність кроків якої має такий вигляд:

– для кожного прикладу з екзаменаційної вибірки перевірити його приналежність до класу, що формується, за допомогою класифікуючого правила, отриманого в першій частині НКП;

– якщо всі приклади з екзаменаційної вибірки класифікуються правильно (їх правильна класифікація на приклади та контрприкладі відома апріорно до початку роботи НКП), то друга частина роботи НКП завершено;

– якщо для деяких елементів екзаменаційної вибірки результат класифікації неправильний, то додати ці елементи до груп прикладів і контрприкладів (відповідно до апріорних знань про них) і знову повторити першу частину НКП.

Іспит правильності роботи НКП можна повторювати неодноразово, якщо екзаменаційна вибірка досить велика.

## 2. Типологія інтелектуальних систем управління екологічною безпекою.

Формалізовані мета процедуру дозволяють дати наступну класифікацію інтелектуальних систем управління екологічною безпекою (табл. 1).

У теперішній час також виникають нові типи систем штучного інтелекту, які можуть знайти застосування при управлінні екологічною безпекою, що свідчить про перспективність цього напрямку. Наприклад, зараз активно формується клас інтелектуальних систем, призначених для підвищення рівня управління технологічними процесами з виробництва, що сприяє безпеці об'єктів критичної інфраструктури. Також підвищується інтелектуальний рівень систем прийняття управлінських рішень тощо.

*Інтелектуальні інформаційні системи (ІС).*

Клас систем ІС – це клас давно відомих інформаційно-пошукових систем (ІПС), що впроваджувалися в різних галузях та галузях знань від початку

появи обчислювальних машин. Інтелектуалізація таких систем знадобилася, коли пошук за запитом став здійснюватися не на основі універсальних класифікацій документів, нормативів, стандартів, статистичних даних що зберігаються, а на основі аналізу документів та видачі документів релевантних запиту.

В ІС використовуються метапроцедури ЦПВП або ПЛВ. Метапроцедура ЛВ використовується для поповнення змісту запиту або для поповнення змісту документа. Загальна структура ІС показано на рис. 3.

Інтелектуальні бази даних (ІБД). Інтелектуальні бази даних близькі до ІС. Їхня основна відмінність від ІС полягає в стандартизації форми подання інформації, що зберігається в пам'яті. Блок-схема ІБД, переважно збігається з рис. 3. Відмінність полягає в тому, що в ІБД немає потреби в аналізаторі запиту. У вирішувачі замість ЦПВП використовується процедура аргументації.

*Системи поповнення та формування баз знань (СПФБЗ).* Системи поповнення та формування баз знань поступово займають дедалі більшого місця у сімействі інтелектуальних систем управління екологічною безпекою. Це визначається тим, що з багатьох завдань забезпечення екологічної безпеки необхідно мати формалізоване опис предметної області, у яких вирішується це завдання. Генерація такого опису і є основною метою СПФБЗ. Типова структура СПФБЗ показано на рис. 4. Блок спілкування з експертами є специфічним, що зустрічається лише в інтелектуальних системах цього типу. У блоці спілкування з експертами містяться різні процедури, що реалізують ту чи іншу стратегію спілкування з конкретними експертами. Дуже часто в ньому зберігаються спеціальні психологічні процедури, що тестують, за допомогою яких оцінюється тип експерта і підбираються найбільш зручні для нього процедури спілкування.

Таблиця 1

Класифікація інтелектуальних систем управління екологічною безпекою

з/п	Тип інтелектуальних систем управління екологічною безпекою	ЦПРС	ОВМА	А	ЛВ	ПКЗ	НКП
1	Інтелектуальні інформаційні системи (ІС)	+			+		
2	Інтелектуальні бази даних (ІБД)			+	+		
3	Системи поповнення та формування баз знань (СПФБЗ)			+	+	+	+
4	Системи текстової обробки (СТО)				+	+	
5	Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішення (ІСППР)	+	+	+	+		
6	Інтелектуальні навчальні системи (ІНС)		+	+	+		+
7	Інтелектуальні експертні системи (ІЕС)	+	+	+	+	+	
8	Інтелектуальні САПРи (ІСАПР)	+	+	+			
9	Інтелектуальні системи автоматизації наукових досліджень (САНД)	+	+	+	+	+	

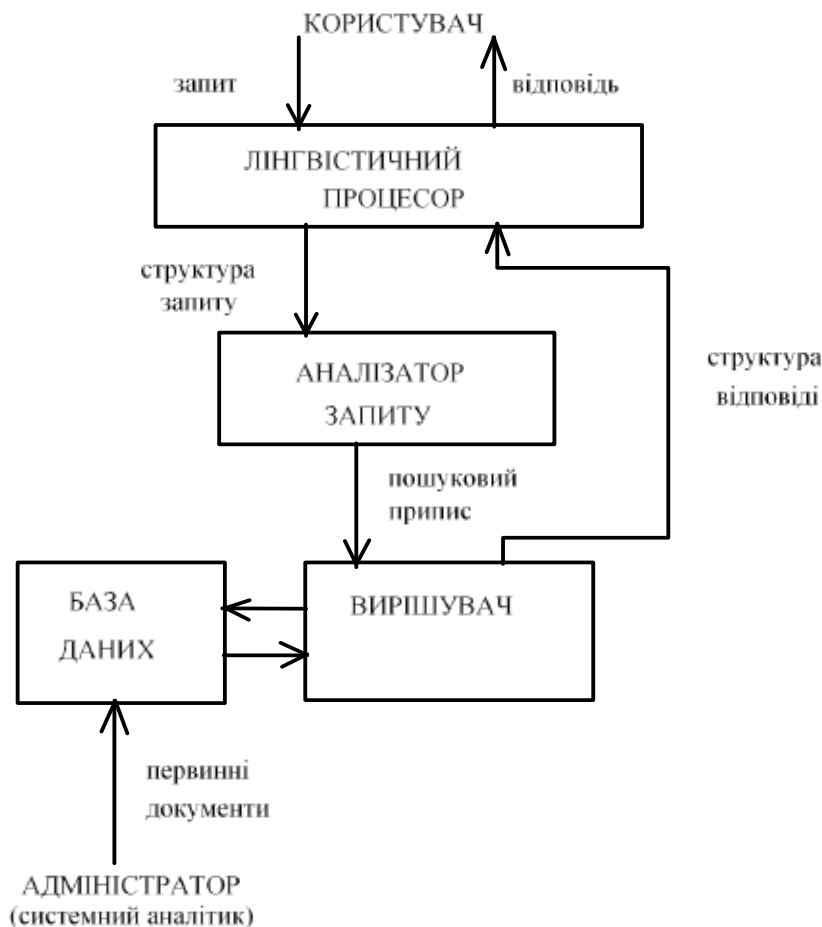


Рис. 3. Блок-схема інтелектуальної інформаційної системи

*Системи текстової обробки (СТО).* Під системами текстової обробки розуміється дуже широкий спектр різних систем. Не всі вони стосуються систем штучного інтелекту. Інтелектуальність систем, що входять до СТО, пов'язана з тим, що ці системи тією чи іншою мірою «розуміють» текст природною мовою, з якою вони працюють. В системі текстової обробки використовується лінгвістичний процесор із спеціальною системою переформулювання. На рис. 5 показано основні етапи роботи такого процесора. На рівні морфологічного аналізу для всіх слів, що входять до тексту, визначається їх клас (дієслово, іменник, прислівник тощо) і знаходяться всі граматичні характеристики цих слів (відмінок, відмінювання, час і т.п.). Ця інформація надходить на рівень поверхневого синтаксичного аналізу. На цьому рівні відбувається побудова поверхневої синтаксичної структури фраз, що входять до тексту. вона нагадує ті структури, які будуються під час уроків російської у школі.

*Інтелектуальні системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень (ІСППР).* Ці системи нині розвиваються дуже бурхливо. Це пояснюється низкою причин. Центральним завданням у системах такого роду є оцінка можливих альтер-

натив та вибір однієї з них як прийняте управлінське рішення.

*Інтелектуальні навчальні системи (ІНС).*

Практика свідчить, що автоматизовані навчальні системи стали створюватися, щойно з'явилися комп'ютери. Спочатку вони були примітивними, використовувалися для контролю успішності чи базувалися на методі програмованого навчання. Навчальні системи поступово вдосконалювалися, запозичували все нове, що у системах, призначених для інформаційного обслуговування, управління, проектування. Починаючи з другої половини 80-х в навчальні системи стали проникати елементи штучного інтелекту.

Лінгвістичний процесор здійснює природно-мовний інтерфейс з учнем і перетворює вхідну інформацію у внутрішнє уявлення системи. При цьому враховується психологічний тип, до якого даний учень ставиться. Для того, щоб визначити тип учня, ІНС на початку роботи з ним за допомогою спеціальних психологічних тестів визначає його тип і потім використовує це знання у двох цілях: для вибору форми діалогу, що найбільш підходить для цього типу, і для вибору темпу навчання та характеру видачі завдань.

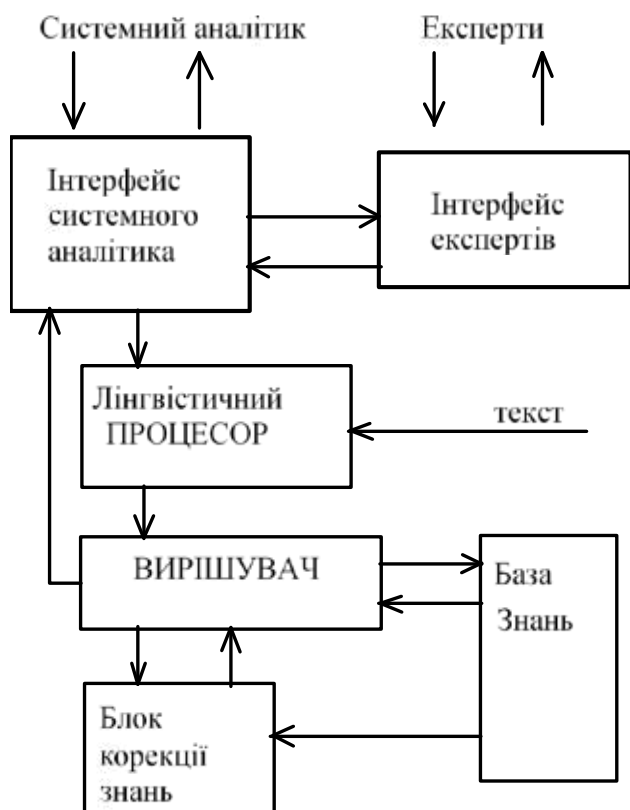


Рис. 4. Блок-схема системи поповнення та формування баз знань

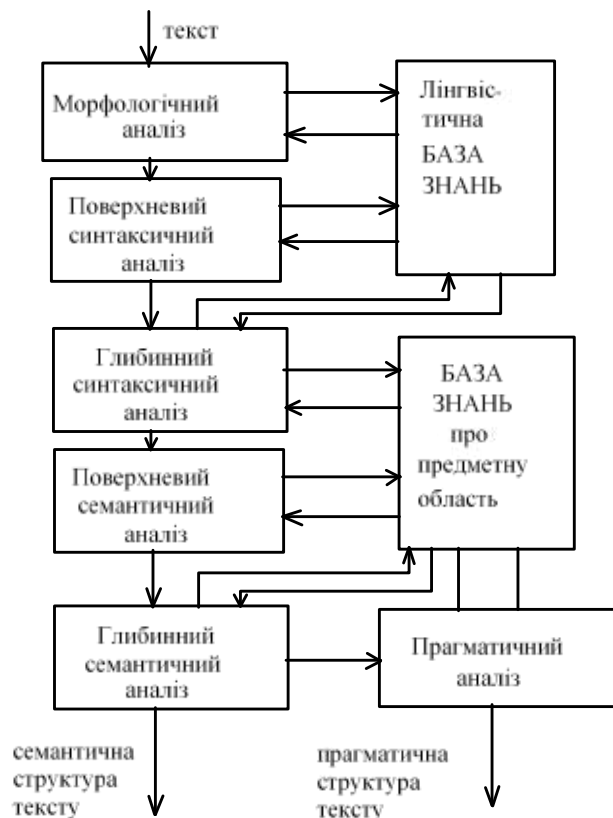


Рис. 5. Блоксхема системи текстової обробки

#### Інтелектуальні експертні системи (ІЕС).

Практика свідчить, що ІЕС найпоширеніший тип систем штучного інтелекту. Тим більше дивно, що цього класу систем немає точного опису, що дозволяє відокремити ІЕС від інших типів. Швидше за все, у найближчому майбутньому цей клас систем розпадеться на кілька самостійних видів інтелектуальних систем. Серед них, напевно, будуть присутні діагностичні системи, які встановлюють певний факт, а часто й причину появи цього факту; моніторингові системи, що здійснюють стеження за певними параметрами чи ситуаціями, а також керуючі системи. Але поки що ІЕС розглядаються як єдиний клас інтелектуальних систем.

Інтелектуальні системи автоматизації проектування (САПР) з'явилися ще бурхливого розвитку інтелектуальних систем. На першому етапі їх основними завданнями були розрахунки, необхідні проектувальнику та звільнення його від стомлюючої та загрожуючі багатьма помилками роботи з підготовки документації на вироби, що проектуються. Такі САПР працювали на ЕОМ, які мали зручний інтерфейс персональних комп'ютерів. Інтелектуалізація САПР йшла за двома основними напрямками: розвивався природно-мовний інтерфейс, підтримуваний розвиненими засобами графічного відображення. За другим напрямком в САПР включалися блоки з багатим набором можливостей. Результатом розвитку

першого напрямку інтелектуалізації САПР стала поява у її структурі лінгвістичного процесора, бази відеознань та блоку прямого маніпулювання. Другий напрямок інтелектуалізації змусив включити до САПР вирішувач, блок оцінки альтернатив та блок компанування.

Особлива увага останнім часом у САПР приділяється системі візуальної підтримки проектування. Ця система містить не тільки розвинені засоби машинної графіки, в якій наочно відображаються процеси компанування та розбирання, висвічуються окремі деталі або проектні документи, а й засоби, що дозволяють проектувальнику безпосередньо на екрані проводити певні маніпуляції. За допомогою екранної «руки» («маніпулятора»), керованої за допомогою мишки або клавіатури, проектувальник може безпосередньо на екрані будувати різні варіанти технічних рішень, візуально оцінювати їх, збирати і розбирати, вибирати масштаби і т.п. Такі системи прямого маніпулювання створюють ілюзію для проектувальника реального процесу проектування або конструювання.

Інтелектуальні системи автоматизації наукових досліджень (САНД).

Системи автоматизації наукових досліджень на відміну від САПР розвиваються повільнішими темпами. Першими такими системами були системи, призначені для обробки експериментальних результа-

тів, одержуваних (при дослідженні) у швидко протікають процесів. Здебільшого це були процеси, якими цікавилися фізики. Після цього з'явилися САНД для дослідників-хіміків. А потім САНД стали впроваджуватися і в інші експериментальні дослідження (біологія, геологія, метеорологія та багато інших природничо-наукових дисциплін) З кінця 80-х років САНД з'явилися в гуманітарних науках (насамперед в археології, а потім в історії, філології тощо). п.). В САНД зараз активно використовується нова технологія роботи з тривимірними зоровими сценами, названа технологією віртуальної реальності (віртуальних світів). Для створення відчуття віртуальної реальності як реальності істинної використовуються спеціальні технічні засоби: відеошолом і «рукавички даних». Відеошолом, що одягається на голову, містить вбудовані всередину шолома дисплей і технічні системи, що відстежують напрям погляду користувача. Залежно від повороту голови та руху очей змінюється те, що бачить користувач. У більш складних (поки що чисто експериментальних) випадках імітується переміщення людини у тривимірній сцені. І тому використовуються системи стереоскопічного зору, спеціальні системи зміни масштабів об'єктів сцени, системи зміни освітленості тощо.

В галузі природокористування, забезпечення екологічної безпеки засоби технології віртуальної реальності мають велике майбутнє. На думку багатьох дослідників, віртуальні реальності в ІНС, САПР та САНД дадуть грандіозний стрибок у підвищенні ефективності використання подібних систем.

**Висновки.** У праці подана характеристика інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних управлінських рішень та запропоновано розв'язання наукового завдання, спрямованого на типологію інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Розглянуто формалізацію метапроцедур в інтелектуальній системі екологічного управління: про-

цедура цілеспрямованого пошуку на основі відмінності-подібності, процедура обґрунтованого вибору із множини альтернатив», процедура аргументації, процедура логічного висновку, процедура каузальних залежностей, процедура навчання класифікації на прикладах.

Формалізовані дев'ять типів інтелектуальних систем в управлінні екологічною безпекою довкілля та природних ресурсів за допомогою автоматизованих систем управління природоохоронної діяльності: інтелектуальні інформаційні системи; інтелектуальні бази даних; системи поповнення та формування баз знань; системи текстової обробки; інтелектуальні системи підтримки прийняття рішення; інтелектуальні навчальні системи; інтелектуальні експертні системи; інтелектуальні системи автоматизованої підтримки прийняття рішень; інтелектуальні системи автоматизації наукових досліджень.

Існуючі методи контролю параметрів довкілля не дозволяють повною мірою окреслити особливості антропогенного впливу. Використання космічних знімків, а також їх комплексна обробка дає можливість здійснити та повніше відобразити характер впливу шкідливих процесів на природне довкілля. Окрім того, завдяки існуючим сучасним спеціальним програмним комплексам можна визначити не тільки характерні особливості шкідливих речовин, але й рівні їх концентрації та різні зони впливу.

Аналіз існуючого науково-методичного апарату створення систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень показав недосконалість його можливості використання для здійснення ефективного управління екологічною безпекою в реальному часі. Підвищення ефективності системи управління екологічною безпекою пропонується здійснювати шляхом використання штучного інтелекту з застосуванням аерокосмічних систем екологічного моніторингу.

### Література

1. Nils J. Nilsson. The Quest for Artificial Intelligence. – 1. – Cambridge University Press, 2009. – 578 с. – ISBN 978-0521116398.
2. Stuart J. Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3. – Pearson, 2015. – ISBN 978-9332543515.
3. Бондар О.І., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С., Печений В.Л. Парадигма обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки. Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, -Випуск 4(49), 2023, с.144-152.
4. Дурняк Б., Бабічев С., Ясінська-Дамрі Л. Застосування згорткових нейронних мереж у системах класифікації великих даних. Комп'ютерні технології друкарства. 2022. № 1 (47). С. 8–20.
5. Засоби штучного інтелекту. / Р. А. Ткаченко, Н. А. Кустра, О. М. Павлюк, В. В. Поліщук; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 204 с. : – ISBN 978-617-607-692-6.
6. Концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки. Бондар О.І., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С., Печений В.Л. Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, -Випуск 3(48), 2023, с.7-16.
7. Макс Тегмарк. Життя 3.0: время искусственного интеллекта. – Киев: Наш формат, 2019. – 432 с. – ISBN 978-617-7682-99-7.
8. Огірко І.В., Ясінський М.Ф., Ясінська-Дамрі Л.М. Жорсткі і м'які математичні моделі та їх застосування. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2015. № 1 (15). С. 102–117.
9. Системи штучного інтелекту: навчальний посібник. / Н. Б. Шаховська, Р. М. Камінський, О. Б. Вовк. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2018. – 392 с. – ISBN 966-941-197-6.
10. Степашко В. С. Елементи теорії індуктивного моделювання. Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні: монографія. Київ: Наукова думка, 2010. С. 4.

## МОЖЛИВОСТІ ЕКОЛОГО-ЕКСПЕРТНО-АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМИ «АДС»

Адамова Г.В.

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»  
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків  
abolmasova@niiep.kharkov.ua

Автомобільний транспорт і, відповідно, дороги є однією зі сфер, яка має значний комплексний вплив на всі складові навколишнього середовища. Для забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг пропонується розглядати даний вплив за допомогою єдиного системного ієрархічного підходу, що надасть змогу більш повно та комплексно врахувати всі чинники впливу від системи «автомобіль-дорога-середовище» (АДС) враховуючи їх просторовий (територіальний) розподіл. Оцінка впливу за допомогою експертно-аналітичних процедур забезпечить вибір більш дієвих (ефективних) заходів для зменшення негативного впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля та здоров'я населення. Для цього було проведено декомпозицію процесу впливу системи «АДС» на складові навколишнього природного середовища (НПС), що дозволило розглянути це питання у вигляді складових елементів, з'єднаних у вигляді ієрархічної структури.

Вперше отримано вагові коефіцієнти та пріоритети вкладу кожного з елементів розробленої ієрархії системи «АДС» у вплив на довкілля шляхом експертно-аналітичної оцінки за методом аналізу ієрархій Т. Сааті з використанням програми «PASSEA-ANP1.4», розробленої в УКРНДІЕП. Загальна узгодженість думок експертів для всієї схеми складає 0,05379, що задовольняє вимогам МАІ. На основі цієї оцінки визначено найбільш вразливі складові НПС, дієвість та пріоритетність комплексних заходів щодо зменшення впливу системи «АДС» (ділянка дороги М-29) на довкілля.

Проведення оцінки впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля за допомогою еколого-експертно-аналітичних досліджень (ЕЕАД) з використанням розробленої ієрархічної структури дають можливість розробити конкретні рекомендації щодо вдосконалення будівництва та експлуатації доріг з мінімізацією їхнього негативного впливу. Такий підхід важливий не лише для забезпечення екологічної стійкості та безпеки дорожнього руху, але й для збереження природних ресурсів та підвищення якості життя людей. *Ключові слова:* експертно-аналітичні дослідження, ієрархічна структура, дієві заходи захисту, декомпозиція, система «АДС».

### Determining the effectiveness of measures to mitigate impact in the “CRE” system through expert-analytical studies. Adamova H.

Road transport and, consequently, roads are one of the spheres that have a significant complex impact on all components of the environment. To ensure the ecological safety of roads, it is proposed to consider this impact using a unified systematic hierarchical approach, which will allow for a more comprehensive consideration of all factors influencing the “car-road-environment” (CRE) system, taking into account their spatial distribution. Impact assessment through expert-analytical procedures will enable the selection of more effective measures to reduce the negative impact of road traffic on the environment and public health. For this purpose, the process of the “CRE” system’s impact on the components of the environment was decomposed, allowing this issue to be considered as constituent elements connected in the form of a hierarchical structure.

For the first time, weight coefficients and priorities of the contribution of each element of the developed “CRE” system hierarchy to environmental impact were obtained through expert-analytical assessment using the Analytic Hierarchy Process method by T. Saaty, using the “PASSEA-ANP1.4” program developed at the Ukrainian Scientific Research Institute for Environmental Problems. The overall consensus of experts for the entire scheme is 0.05379, satisfying the requirements of the AHP. Based on this assessment, the most vulnerable components of the natural environment were identified, as well as the effectiveness and priority of comprehensive measures to reduce the impact of the «CRE» system (section of the M-29 road) on the environment.

Conducting an assessment of the impact of road operation on the environment using expert-analytical studies using the developed hierarchical structure allows for the development of specific recommendations for improving road construction and operation while minimizing their negative impact. This approach is important not only for ensuring ecological sustainability and road safety but also for preserving natural resources and improving the quality of life for people. *Key words:* expert-analytical studies, hierarchical structure, effective protective measures, decomposition, “CRE” system.

**Постановка проблеми.** У сучасному світі питання екології та екологічної безпеки стають все актуальнішими. Автомобільний транспорт і, відповідно, дороги є однією зі сфер, яка має значний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини. Експлуатація доріг здійснює комплексний вплив на стан повітря, поверхневих вод, ґрунту, біоти, умов проживання людей, тому для забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг необхідний системний підхід.

**Актуальність дослідження.** В умовах нинішнього військового стану всі дороги, мости, інфраструктурні об'єкти – це об'єкти спеціального призначення, які зараз вже видозмінені до умов війни і, відповідно, кількість навантаження на НПС змінилась. Наразі це відслідкувати неможливо, тому питання екологічного значення щодо контролю відбудови, перебудови та експлуатації цих інфраструктурних об'єктів буде надалі тільки зростати. Оскільки експлуатація автомобільних доріг здійс-



нює широкий та багатокомпонентний вплив на НПС доцільно розглядати його за допомогою єдиного системного ієрархічного підходу, що надасть змогу більш повно та комплексно врахувати всі чинники впливу від системи «автомобіль-дорога-середовище» (АДС) враховуючи їх просторовий (територіальний) розподіл. Такий підхід до оцінки впливу забезпечить вибір більш дієвих заходів (рекомендацій) щодо повного уникнення чи зменшення впливу при будові, реконструкції автомобільної дороги або ж його мінімізації на дорозі, що вже експлуатується.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** На сьогодні безперервно відбувається робота над відбудовою критично важливих зруйнованих інфраструктурних об'єктів. Це є необхідним кроком, щоб країна в умовах війни продовжувала працювати, отримувати необхідні вантажі, логістику, медичну допомогу і т.д. Безперечно, після її завершення, почнеться і масштабне будівництво нових автомобільних доріг та мостів, а також реконструкція та ремонт існуючих. Поряд з цим необхідно пам'ятати про негативний вплив цих споруд на НПС, яке на цей час і так зазнає великого навантаження. Запропонований новий системний підхід до комплексної оцінки впливу експлуатації автомобільної дороги на НПС може бути використаний як рекомендації для більш якісної оцінки внеску кожного виду впливів факторів забруднювачів так і відповідно для зменшення цього впливу шляхом визначення дієвих заходів, а також більш ефективного застосування заходів контролю та моніторингу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Використання методів багатокритеріальної екологічної оцінки для вирішення проблемних питань у екологічній сфері стають все популярнішими. Серед цих методів дослідження особливої уваги заслуговують експертно аналітичні методи, що призначені для прогнозування якісних і кількісних характеристик, розвиток яких, через відсутність достатньої і достовірної статистики, повністю або частково не підлягає математичній формалізації [1].

Для вирішення складно-структурованих завдань експертно-аналітичне оцінювання передбачає підбір експертів. Питання формування складу експертно-аналітичної групи для проведення досліджень із зазначенням, зокрема, характеристик, які необхідно врахувати під час вибору фахівців детально розглянуто в [2-4].

Серед методів багатокритеріальної оцінки, для отримання більш обґрунтованих результатів порівняння, з ранжуванням альтернатив за перевагою, та кількісними оцінками цих переваг, доцільніше використовувати метод аналізу ієрархій (МАІ Томаса Сааті). Крім того, зазначений груповий підхід, заснований на аналітичному ієрархічному процесі, вирішує проблему узгодженості думок експертів [1]. Використання процедури МАІ для еко-

логічної оцінки об'єктів та, зокрема, обґрунтованого вибору найкращих технологічних заходів захисту довкілля детально описані в [5-6]. Також застосування експертно-аналітичного оцінювання за МАІ дуже широко використовується, зокрема в Україні, для забезпечення екологічної безпеки держави, що висвітлено в наукових працях [7-9].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна.** У Законі України «Про оцінку впливу на довкілля» в якому, зокрема, розглядається необхідність проведення процедури ОВД під час будівництва та реконструкції автомобільних доріг, не надано чітких рекомендацій щодо методик її проведення, тому це питання залишається відкритим. Також за рахунок комплексності, системності та узгодженості нового запропонованого підходу до завдань вивчення та контролю зменшення впливу системи «АДС» на НПС їх можна буде вирішувати більш ефективно як в нашій країні так і за її межами.

Вперше отримано вагові коефіцієнти та пріоритети вкладу кожного з елементів розробленої ієрархії системи «АДС» у вплив на довкілля шляхом експертно-аналітичної оцінки за методом аналізу ієрархій Т. Сааті. На основі цієї оцінки визначено дієвість та пріоритетність існуючих та перспективних заходів щодо зменшення впливу системи «АДС» на довкілля.

**Мета дослідження:** застосування експертно-аналітичного підходу для дослідження впливу системи «АДС» на довкілля та визначення за його допомогою ефективних (дієвих) заходів зменшення впливу.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Проведення оцінки впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля за допомогою ЕЕАД з використанням розробленої ієрархічної структури дозволить виокремити складові НПС, які зазнають найбільшого впливу та визначити і в подальшому розробити найбільш дієві заходи зменшення такого впливу, необхідні саме для конкретної дороги або її ділянки, що забезпечить більш ефективне використання бюджетних коштів, які будуть виділятися у післявоєнний час на відбудову дорожньої інфраструктури нашої країни. Окрім цього, запропонований комплексний системний підхід доцільно використати в навчальному процесі підготовки фахівців екологів автомобільної галузі.

**Викладення основного матеріалу.** Використання комплексного експертно-аналітичного підходу із застосуванням МАІ є оптимальним при вирішенні поставлених науково-практичних завдань із забезпечення екологічної безпеки автомобільних доріг. Окрім цього суттєвою перевагою використання МАІ під час проведення дослідження є наявність в методі способу перевірки узгодженості оцінок експертів.

У загальному формалізованому виді експертно-аналітичної процедури, що включають МАІ, складаються з наступних послідовних кроків [6]:

– Крок 1 – декомпозиція проблеми, що розглядається, у вигляді ієрархії;

– Крок 2 – побудова матриць домінування (суджень) шляхом попарного порівняння елементів ієрархії та присвоєння бальних оцінок;

– Крок 3 – синтез системи та визначення пріоритетів (чим більше отриманий пріоритет, тим краща альтернатива за обраними критеріями).

Так, було проведено декомпозицію процесу впливу системи «АДС» на складові НПС (рис. 1), що дозволило розглянути це питання у вигляді складових елементів, з'єднаних у вигляді ієрархічної структури. Такий підхід спрощує процес аналізу, а також дає можливість попарного порівняння елементів між собою та числового представлення величини впливу кожного елементу ієрархічної структури на досягнення поставленої мети, заданої на нульовому рівні [10].

Далі на основі декомпозиції було розроблено ієрархічну структуру оцінювання комплексного впливу експлуатації автомобільної дороги на складові довкілля (рис. 2) [10-11], яка, зокрема, дозволить визначити дієвість заходів зменшення цього впливу.

Варто зазначити, що ієрархія побудована таким чином, щоб для нижнього рівня елементів отримати пріоритети (вагові коефіцієнти), які найкращим можливим способом відповідають меті, яка встановлена на нульовому рівні ієрархії, з урахуванням усіх проміжних елементів і у відповідності із зв'язками за рівнями системи.

Для проведення еколого-експертно-аналітичного дослідження впливу системи «АДС» (у нашому випадку ділянка дороги М-29, характеристика якої детально розглянута в [10-11]) на складові НПС та визначення дієвості заходів щодо зменшення цього впливу, використовувався метод попарних порівнянь, що є найбільш простим та доступним у застосуванні.

Важливим є те, що попарне порівняння можна проводити при великій кількості елементів, а також в тих випадках, коли відмінність між ними настільки незначна, що виключає можливість їх ранжування [1].

Результати оцінки впливу системи «АДС» на складові НПС та визначення дієвості заходів щодо зменшення цього впливу на навколишнє природне середовище суттєво залежать від постановки питань.

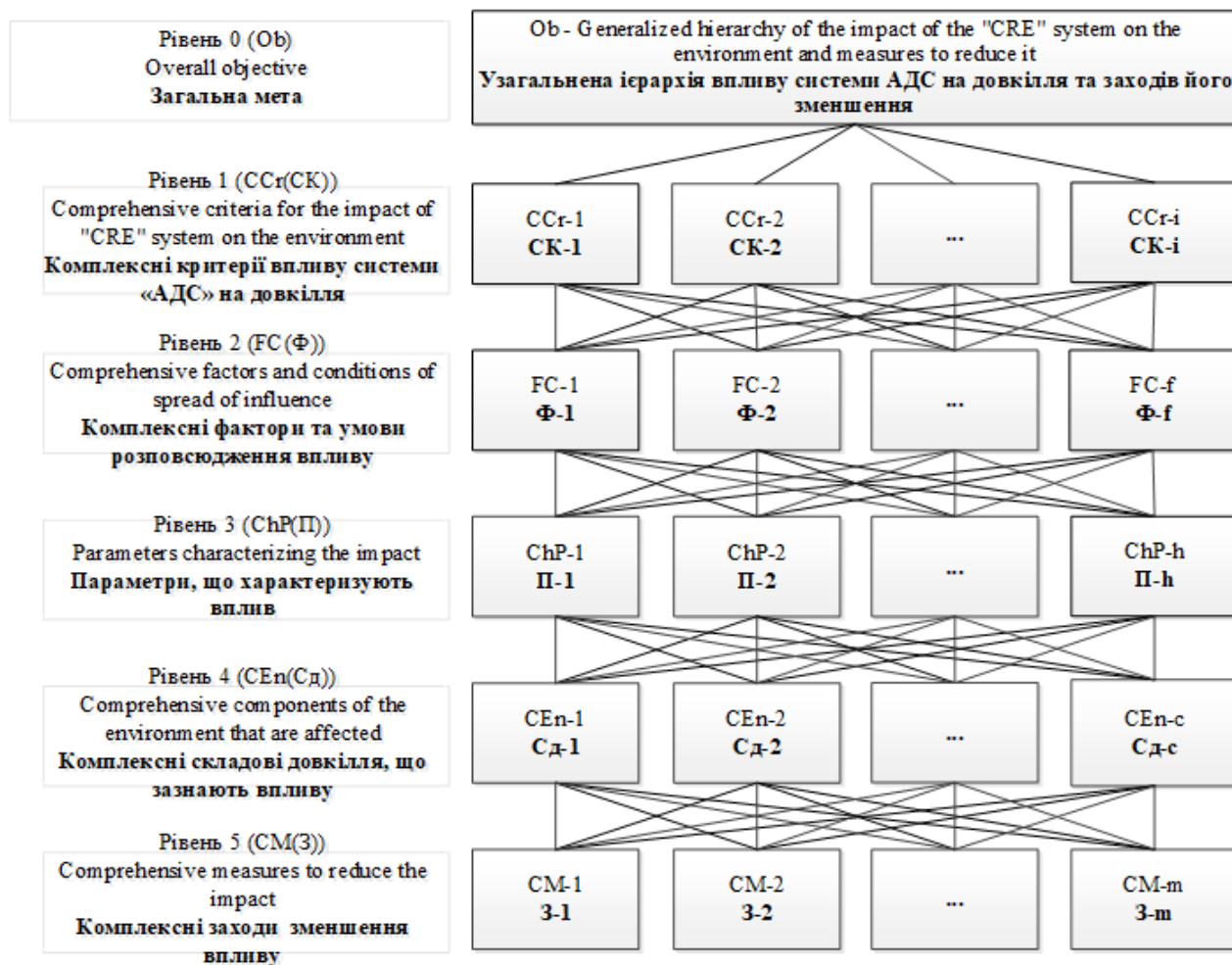


Рис. 1. Декомпозиція впливу системи «АДС» на довкілля та заходів його зменшення [10]

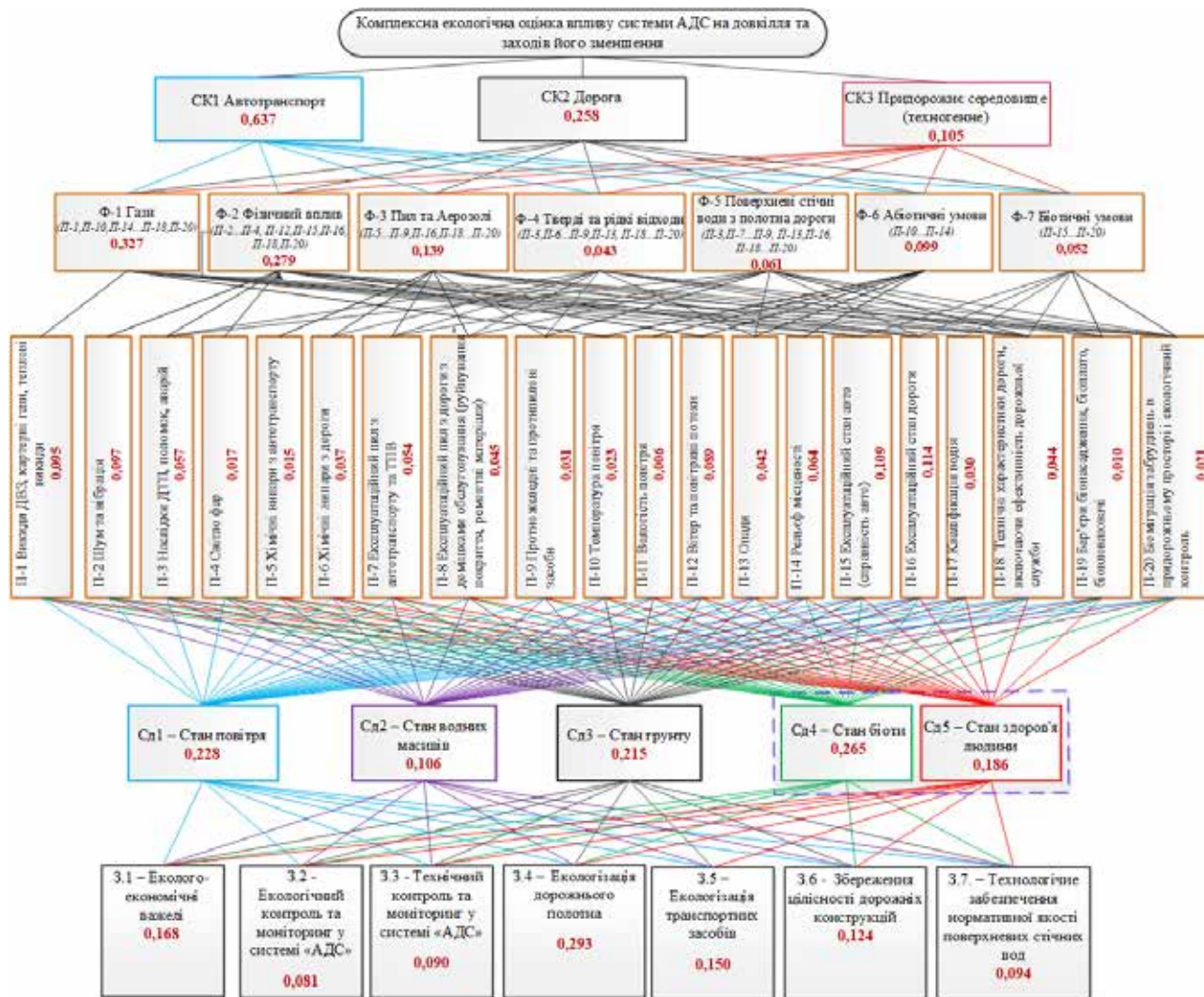


Рис. 2. Ієрархічна структура комплексної оцінки впливу системи «АДС» на складові НПС та заходів щодо зменшення цього впливу (з результатами еколого-експертних оцінок) [10-11]

Для дослідження впливу експлуатації автомобільної дороги на довкілля було застосовано наступні питання, що відповідають основним вимогам МАІ, рис. 1 та рис. 2:

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 1: «Яка зі складових системи «АДС» більш за все впливає на стан навколишнього природного середовища (для конкретної дороги або її ділянки)?»

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 2: «Який з факторів впливу в системі «АДС» може створити більшу загрозу для оцінюваних складових навколишнього природного середовища?»

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 3: «Який з порівнюваних параметрів рівня 3 матиме найбільший вплив на НС під час експлуатації автомобільної дороги?»

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 4: «Яка зі складових

навколишнього природного середовища може зазнати більш суттєвого безпосереднього впливу під час експлуатації автомобільної дороги?»

Постановка завдання експертам для попарного порівняння елементів рівня 5: «Який із заходів рівня 5 буде більш дієвим з точки зору зменшення негативного впливу на кожну з оцінюваних складових довкілля?».

За результатами експертно-аналітичного оцінювання за ієрархічною структурою, що наведена на рис. 2 отримано вагові коефіцієнти кожного з її елементів. Значення узагальнених вагових коефіцієнтів у відсотках, які наведені в дужках (рис. 2), були отримані з застосуванням експертно-аналітичних процедур з використанням програми «PASSEA-ANP1.4», розробленої в УКРНДІЕП. Загальна узгодженість думок експертів для всієї схеми складає 0,05379, що задовольняє вимогам МАІ. Перевірка адекватності розробленої ієрархії та детальний аналіз результатів еколого-експертно-

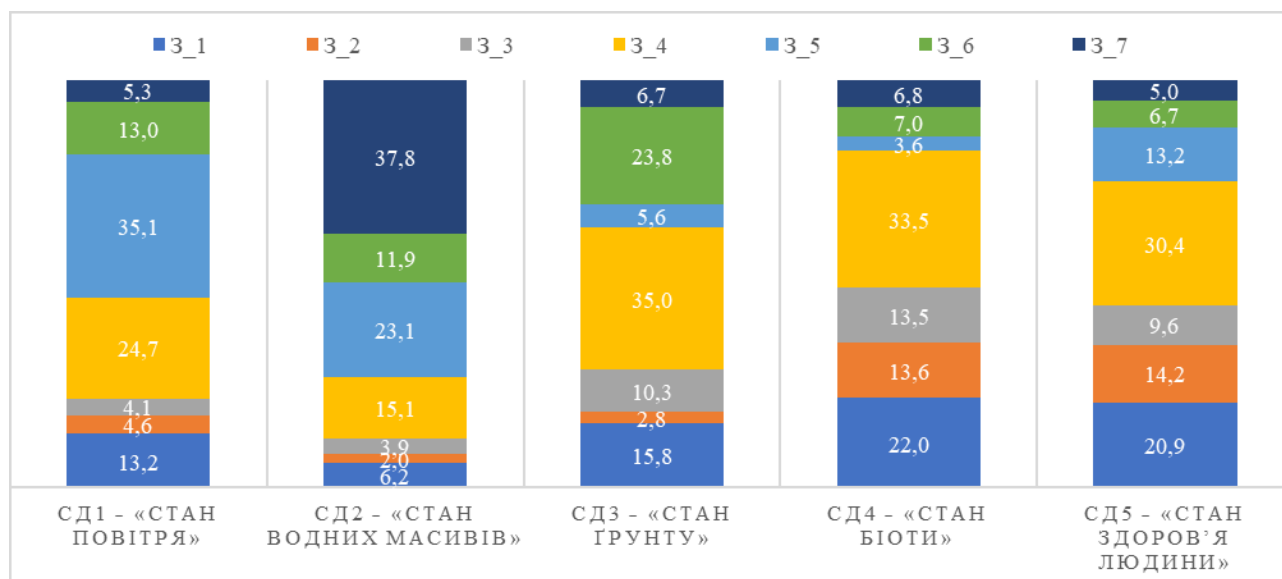


Рис. 3. Дієвість комплексних заходів зі зменшення впливу від експлуатації автомобільної дороги на складові довкілля

аналітичних досліджень за кожним рівнем ієрархії були розглянуті в [10-11].

Так, було визначено пріоритетність показників складових довкілля, що зазнають впливу від дороги: внесок на Сд4 «Стан біоти» складає 26,5 % загального впливу, на Сд1 «Стан повітря» – 22,8 %, Сд3 «Стан ґрунту» – 21,5 %, Сд5 «Стан здоров'я людини» – 18,6 %, та Сд2 «Стан водних масивів» – 10,6 %.

В результаті проведеного ЕЕАД було визначено дієвість (ефективність) комплексних заходів (рис. 3) у зменшенні впливу від експлуатації автомобільної дороги на кожен окрему складову довкілля.

Таким чином, важливо наголосити, що застосування узагальненої та узгодженої ієрархічної структури при оцінці впливу експлуатації автомобільних доріг на НПС з використанням МАІ у вигляді експертно-аналітичної процедури на ПЕОМ дозволяє не лише розподіляти пріоритети заходів задля забезпечення екобезпеки автомобільної дороги, але й зменшити рівень впливу від системи «АДС» на складові довкілля до мінімуму з більш ефективним використанням бюджетних коштів за рахунок визначення більш уразливих складових НПС та більш дієвих заходів зменшення впливу на них.

**Головні висновки.** Запропонований підхід допоможе приймати більш обґрунтовані та оптимальні рішення щодо забезпечення екологічної безпеки в системі «АДС».

Так, за допомогою еколого-експертно-аналітичних досліджень з використанням розробленої ієрархічної структури визначено, що найбільш дієвими

заходами для зменшення впливу експлуатації досліджуваної ділянки автомобільної дороги М-29 на складові навколишнього середовища є:

- для Сд1 «стан повітря» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (24,7 %) та «екологізація транспортних засобів» (35,1 %) від загального внеску;
- для Сд2 «стан водних масивів» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (15,1 %), «екологізація транспортних засобів» (23,1 %) та «збереження цілісності дорожніх конструкцій» (11,9 %) від загального внеску;
- для Сд3 «стан ґрунту» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (35,0 %) та «збереження цілісності дорожніх конструкцій» (23,8 %) від загального внеску;
- для Сд4 «стан біоти» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (33,5 %) та «еколого-економічні важелі» (22,0 %) від загального внеску;
- для Сд5 «стан здоров'я людини» – комплексні показники заходів «екологізація дорожнього полотна» (30,4 %) та «еколого-економічні важелі» (20,9 %) від загального внеску.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати наукового дослідження можуть бути використані екологами дорожньої служби, екологічними організаціями та місцевими територіальними громадами задля забезпечення збалансованого розвитку автомобільної мережі як інфраструктури, збереження НПС, розвитку добробуту місцевих громад та природних територій.

#### Література

1. Гончаренко І.О. Підвищення екологічної безпеки об'єктів поводження з твердими побутовими відходами: дис. ... кандидата технічних наук (доктора філософії):21.06.01/ УКРНДІЕП. Харків. 2020.

2. Гевко І.Б. Методи прийняття управлінських рішень: Підручник. К.: КОНДОР, 2018. 187 с.
3. П.І. Бідюк, О.Л. Тимошук, А.С. Коваленко, Л.О. Коршевнюк. Системи і методи підтримки прийняття рішень. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2020. 259с. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42360/1/Bidiuk-et-al\\_SMPPR\\_PSBY20.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42360/1/Bidiuk-et-al_SMPPR_PSBY20.pdf)
4. NAMED Taherdoost. Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP); A Step by Step Approach. *International Journal of Economics and Management System*. IARAS. 2017. URL:<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02557320>
5. Чумаченко С.М. Тесленко О.М. Михайлова А.В. Використання методів експертної оцінки для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2017, № 12. с. 44-51.
6. Аніщенко Л. Я. Комплексна оцінка впливів і управління екологічною безпекою протяжних гідротехнічних споруд: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01 / Укр. НДІ екол. пробл. Харків, 2011. 36 с.
7. Телюра Н.О. Підвищення екологічної безпеки евтрофованих водних об'єктів шляхом впровадження пріоритетних технологій водовідведення в населених пунктах: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / Н.-д. установа «Укр. НДІ екол. проблем». Харків, 2019. 20 с.
8. Гриценко А.В., Аніщенко Л.Я., Свердлов Б.С., Пісня Л.А. Перспективи впровадження процедури стратегічної екологічної оцінки в Україні. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. Харків, 2017. Вип. 39. С 14-30.
9. Чумаченко С.М. Тесленко О.М. Михайлова А.В. Використання методів експертної оцінки для оцінювання характеристик інтегрованих систем моніторингу та оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2017. Вип.12. С. 44-51.
10. Адамова Г.В. Комплексне еколого-аналітичне оцінювання впливу системи «АДС» на складники довілля в процедурі ОВД. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Т.1, № 102, 2023. С. 37-47. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.102.1.37>
11. Adamova H.V. Pisnya L.A. Environmental safety of operation of motor roads of Ukraine. Assessment methods and tools and cyber security. Challenges and threats to critical infrastructure. Collective monograph. *NGO Institute for Cyberspace Research*. Detroit, Michigan, USA. 2023. – 284-302 p. URL: [https://conference.cyberspace.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/Monograph\\_CHALLENGES-AND-THREATS.pdf](https://conference.cyberspace.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/Monograph_CHALLENGES-AND-THREATS.pdf)

## ECOLOGISATION OF THE FOOD INDUSTRY THROUGH THE INTRODUCTION OF VERMICULTURE TECHNOLOGY IN AGRICULTURE

Dyudyaeva O.A., Rutta O.V.

Kherson State Agrarian and Economic University  
Sritenska str., 23, 73006, Kherson  
dyudyaeva.olga@gmail.com, happyness8@ukr.net

Food plays an important role in the life of every person, but at the same time, it has a negative impact on the environment. The use of traditional technologies for the production of raw materials for food products and outdated production equipment leads to the ingress of hazardous substances and impurities into the final product or the formation of harmful substances during the production process and their release into the environment.

The article emphasizes the main factors that are at the forefront of greening the food industry. The food industry has a harmful impact on the environment, polluting the air, water and land resources with harmful emissions and production waste, and leads to soil degradation. Since the food industry is a link in the food chain, it causes the impact of hazardous and harmful substances that can accumulate in raw materials of plant and animal origin on human health through their ingestion. It has been proposed a comprehensive approach to greening the food industry and solving environmental problems of society through the transition to 'environmentally friendly' technologies on the example of vermiculture technology.

Using this technology, organic waste of plant origin can be effectively disposed of using earthworms, and transformed into complete animal proteins and biologically active substances, accelerating the process of humus formation in the soil, significantly improving the ecological condition of the soil.

The process of cultivating worms in an organic substrate produces a high-quality organic fertilizer (vermicompost or bio humus) containing a full range of macro- and microelements necessary for agricultural plants during their growing season.

The use of vermiculture technology in agriculture allows for continuous use of soils without reducing their fertility. The microorganisms in vermicompost contribute to the conversion of toxic forms of heavy metals into inactive compounds. This factor can be used to improve the environmental condition of land resources near large transport networks and around industrial cities.

The experience of the world's leading countries proves the effectiveness of using vermicomposting technology for bioorganic residues to improve the organic waste management system at the national, regional and community levels.

The vermicomposting technology does not require large areas, can be implemented on vermiculture farms of various sizes and configurations, which will contribute to the development of small and medium-sized businesses producing organic fertilizers. *Key words:* ecologisation, food chain, vermiculture technology, vermicomposting, bio humus, composting.

### Екологізація харчової галузі шляхом упровадження технології вермикюльтури в сільському господарстві. Дюдяєва О.А., Рутта О.В.

Харчування відіграє важливу роль у житті кожної людини, але, в той же час, має негативний вплив на навколишнє середовище. Використання традиційних технологій виробництва сировини для харчової продукції, застарілого виробничого обладнання призводить до потрапляння небезпечних речовин та домішок у кінцевий продукт або утворення шкідливих речовин під час виробничого процесу та потрапляння їх та інших відходів виробництва у навколишнє середовище.

У статті наголошено на основних чинниках, що є передовою екологізації харчової промисловості. Харчова промисловість спричиняє шкідливий вплив на навколишнє середовище, забруднюючи атмосферне повітря, водні і земельні ресурси шкідливими викидами та відходами виробництва, приводить до деградації ґрунтів. Так як харчова промисловість являється ланкою продовольчого ланцюга вона, вона спричиняє вплив небезпечних та шкідливих речовин, які можуть накопичуватись у сировині рослинного та тваринного походження, на здоров'я людини через потрапляння їх в організм.

Запропоновано комплексний підхід екологізації харчової промисловості та вирішення екологічних проблем суспільства через перехід на «дружні до екології» технології на прикладі технології вермикюльтури.

За допомогою цієї технології органічні відходи рослинного походження, використовуючи дощових черв'яків, можна не тільки ефективно утилізувати, а й трансформувати в повноцінні тваринні білки і біологічно активні речовини, прискорити процес утворення гумусу в ґрунті, значно покращує екологічний стан ґрунту.

Процес культивування черв'яків в органічному субстраті дозволяє отримувати високоякісне органічне добриво (вермікомпост, або біогумус), яке містить повний набір макро- і мікроелементів необхідних для сільськогосподарських рослин під час їх вегетації.

Застосування технології вермикюльтури в сільському господарстві дозволяє використовувати ґрунти безперервно, не знижуючи їх родючості. Мікроорганізми, що знаходяться в вермікомпостах, сприяють переводу токсичних форм важких металів у малорухомі сполуки. Цей фактор можна використати з метою поліпшення екологічного стану земельних ресурсів біля великих транспортних мереж, навколо промислових міст.

Досвід провідних країн світу доводить щодо ефективності використання технології вермікомпостування біоорганічних решток з метою поліпшення системи поводження з органічними відходами на рівні держави, окремих регіонів та громад.

Технологія вермікомпостування не потребує великих площ, може реалізовуватись на верміфермах різних розмірів та конфігурації, що сприятиме розвитку малого та середнього бізнесу з виробництва органічних добрив. *Ключові слова:* екологізація, харчовий ланцюг, технологія вермикюльтури, біогумус, компостування.

**Statement of the problem.** The anthropogenic burden of human activity on the environment and the deterioration of its condition are among the most important problems facing society today. The intensification of industry and agriculture leads to the accumulation of heavy metals and other harmful substances in the soil. They have a toxic effect on living organisms, including humans, as they enter the human body with food.

**Relevance of the study.** The greening of food production is a process that concerns not so much the production, operation and disposal as the development and implementation of new technologies and new products. It is at the stage of decision-making on the transition to modern technologies and the production of environmentally friendly (safe) products that the impact on individual components of the environment, including living organisms, is analyzed and the effectiveness of environmental and preventive measures is assessed. An integrated approach to greening the industry by considering individual production stages, production in general, use and disposal processes, including environmental factors, ensures an effective solution to the pressing environmental problems of society.

**Relation of the author's work to important scientific and practical tasks.** The research is relevant in the context of increasing the environmental responsibility of society in relation to human activity and its impact on the environment in terms of the transition to 'environmentally friendly' technologies in food production, as well as improving the environmental awareness of the population regarding healthy and safe nutrition. Finding ways to reduce negative impacts on the environment and human health.

**Analysis of recent research and publications.** The issues of food safety, production and consumption of environmentally friendly products are in the focus of consideration and search for solutions by scientists and industry experts not only in Ukraine but also far beyond its borders. Food plays an important role in the life of every person, but at the same time, it has a negative impact on the environment. The use of traditional technologies for the production of raw materials for food products and outdated production equipment leads to the ingress of hazardous substances and impurities into the final product or the formation of harmful substances during the production process and their release into the environment [1]. In addition, the greening of the food industry should be associated not only with solving the problems of waste removal and neutralization and the negative effects of production, but also with preventing their occurrence.

The issue of greening the food industry is relevant due to a number of factors. Firstly, the food industry, like any other industry, has a harmful impact on the environment, polluting the air, water and land resources with harmful emissions and production waste. Secondly, as a link in the food chain, the food industry can have a direct or indirect impact on human health through the ingestion

of hazardous substances. Such substances can accumulate in raw materials of plant and animal origin. Thirdly, food products may pose a threat to human health due to the use of additives, including dyes, preservatives, emulsifiers and other substances used in technological processes [2, 3].

The use of technologies that reduce the concentration or completely prevent the ingress of harmful substances from contaminated raw materials into finished products or into certain components of the environment will help reduce the negative impact on human health and the anthropogenic burden on the environment.

The development of science and industry, issues of food and nutrition security, the need to find new food resources, the emergence of new food additives, etc. outline the requirements of society to strengthen regulation and environmental assessment of various factors, including environmental factors that are hazardous to health. The development of the chemical industry leads to an increasing number of substances entering the food chain, sometimes with difficult control or uncontrolled, which in turn leads to a danger to human health and the overall environmental well-being of the environment.

**Identification of previously unresolved parts of the general problem to which this article is devoted.**

The article has emphasized the need for an integrated approach to solving the issues of greening the food industry in combination with all components of sustainable development (environmental, social and economic). Greening of food production through the transition to 'environmentally friendly' technologies (for example, using vermiculture technology) will reduce the negative impact on the environment, improve the condition of natural resources (land, water), and the consumption of ecological products. In addition, this will help improve the management of organic waste and the development of small and medium-sized enterprises producing ecological fertilizers.

The results of the research have presented in the article prove that effective greening of food production is possible with the joint cooperation of scientists, farmers, ecologists, producers and authorities.

**Novelty.** The main purpose of the study is to green the food industry as a way to improve the environment and consumption of ecological products, to solve urgent environmental problems at different levels of government.

**Methodological or general scientific significance.**

The obtained research results demonstrate the prospects for greening the food industry as a set of solutions to improve the state of the environment and all its components.

**Outline of the main material.** Today, the food industry is one of the main sectors of Ukraine's economy, including exports. A number of external and internal factors significantly complicate the process of its development. These include the war, the high cost of technical and technological re-equipment of production, and the

lack of a unified state strategy for comprehensive greening, which would provide for the greening of not only the production component but also the entire food chain [3]. Imperfection, and in some cases, the absence of a system of state support and financing of environmental programmes at individual enterprises and the introduction of environmental technologies. This applies to agricultural enterprises that are switching to environmental technologies, including organic ones, in order to grow environmentally friendly raw materials for the food industry. This also includes the introduction of environmental technologies at processing enterprises to produce environmentally friendly and safe food products.

Food processing companies have a negative impact on the environment, which is explained by the low level of implementation of low-waste and zero-waste technologies due to their high cost. In addition, such enterprises often have a low level of wastewater treatment and generate a large amount of production waste. The food industry has the greatest impact on water resources, being one of the leading water consumers among other industries (it ranks first among other industries in terms of water consumption per unit of output). This level of consumption leads to a large amount of wastewater generation, which is highly polluted and hazardous to the environment. Processing plants often consume more water than they process raw materials. At the same time, wastewater entering water bodies depletes oxygen reserves, which leads to the death of living organisms in water bodies. Wastewater pollutes the environment with harmful substances such as nitrogen dioxide, ammonia, hydrochloric acid, soot, difluorochloromethane, phenol, etc., which contribute to the greenhouse effect [4].

The use of environmentally friendly raw materials, the introduction of waste-free and low-waste technologies, optimization of technological processes, modernization of air emission and wastewater treatment systems, and the introduction of modern technologies for the disposal of production waste are steps that will contribute to the greening of the industry, the production of environmentally safe food products of high quality with minimal consumption of natural resources and the maintenance of a sustainable balance in the natural environment [5].

The food industry is one of the priority and strategically important sectors of Ukraine's economy. Firstly, and most importantly, food products are essential commodities, so the state of its development affects the level of food security in the country. Second, the systematic development of the industry ensures social stability in the country and its economic growth [6].

In recent years, the domestic food industry has also confirmed its export potential. Thus, as of September 2022 (six months after the start of the full-scale military invasion), every second company in the industry (53%) did not stop its foreign economic activity, and only 15% of food industry exporters were unable to resume export activities.

But in recent decades, the food industry in Ukraine, as well as in the global world, has faced two major challenges: the need to provide high-quality and environmentally safe food products to the world's population, which could reach 8.5 billion by 2030, and the need to protect the environment. The use of innovative technologies, including those aimed at improving the environmental characteristics of food products, is one of the ways to green the food industry.

This also applies to the development of the agricultural sector, which is the primary link in the food chain. The most harmful are food products made from raw materials grown in areas near transport routes and near large industrial facilities. More than 70% of all harmful substances enter the human body through food. The problem of food contamination with toxins that have an immunosuppressive effect on humans and can cause malignant tumours is very acute. The use of medicines and antibiotics used in veterinary practice leads to the presence of these substances in 15-25% of animal products. The use of pesticides and agrochemicals (fertilizers and plant protection products) in agriculture leads to excessive accumulation of nitrates and heavy metals in plant material. However, with the orderly use of agrochemicals and pesticides, reduction of chemicalization of technological processes in agriculture, it is possible to reduce the content of residual pesticides in food.

A high level of safety and quality of agricultural products provides conditions for their unimpeded entry into international consumer markets and increased competitiveness of domestic products [7].

The competitiveness of environmentally friendly products in the market depends on the use of modern 'environmentally friendly' technologies, such as organic technologies; on the system of control of agricultural products at all stages of the food chain (production, marketing); on the introduction of safety standards for agricultural and food products in accordance with international standards; on proper information support for producers and consumers; and on the use of modern methods of packaging and labeling of products [8-10].

The greening of food production and the modern environmental orientation of the development of the domestic agricultural sector can be effectively implemented through a combination of the social component of society's development for a healthy nation, the economic motivation of the producer, his responsibility and new aspects of the interest of agricultural business.

The introduction of modern principles and methods of management at all stages of agro-industrial production and consumption, including the introduction of environmental technologies, plays an important role in improving the environmental performance of agricultural raw materials and food products [11]. The first important step towards greening food production, as mentioned above, is the cultivation of environmentally friendly agricultural raw materials and their use for the production of environmentally friendly food products.



The production of environmentally friendly agricultural raw materials and food products is possible using various agroecological approaches, one of which is the replacement of agrochemicals with organic fertilizers produced using vermiculture technology [12].

Vermiculture is a modern biotechnology that allows organic waste of plant origin to be not only efficiently utilized but also transformed into high-grade animal proteins and biologically active substances. Earthworms are a key and essential component of vermiculture technology. They play an extremely important role in agriculture (Figure 1).

It is believed that the most productive soils are those where earthworms are present and breed. In a day, an earthworm passes through an amount of soil equal to its body weight. By passing soil through its intestines, the worm can 'eat' its way through dense soil. The extensive network of tunnels in the soil left behind by the worm can be up to 7,000 km/ha. This increases the area of contact between the soil and the air, and ensures the penetration of oxygen and water into the lower soil layers. After the soil passes through the worms' gastrointestinal tract, the content of assimilable nutrients in the soil increases, thereby stimulating the process of humus formation tenfold. Worms actively consume plant residues (up to 200% of their weight) [13]. In addition, earthworms are able to accumulate heavy metals in their bodies, which significantly affect and improve the ecological condition of the soil.

The use of a number of chemicals in agriculture causes the depletion of a number of natural resources. Therefore, renewable natural sources of animal raw materials, such as earthworms, are of particular importance. Earthworms are very promising objects, the use of which improves the environmental performance of agricultural raw materials by using biologically active substances of natural origin and reducing the chemical burden on the environment.

They:

– contain a very wide range of biologically active compounds;

– can be easily cultivated using a variety of organic wastes on an industrial scale, as well as in private settings;

– multiply rapidly;

– have a high coefficient of bioconversion of waste organic matter into their own biomass (up to 10%).

Vermiculture is carried out on vermiculture farms, which can be either industrial or private facilities and do not require large production areas (Figure 2).

The essence of vermicomposting is the ability to use earthworms to produce an environmentally friendly fertilizer from various organic substances – vermicompost, which contains a full range of macro- and microelements necessary for agricultural plants during their growing season. The conversion of manure and other organic waste by earthworms into complete protein and humus fertilizer is a natural process of self-regulation of the environment.

The process of bio humus formation as a result of worms processing organic waste continues throughout the year. In autumn, the working population of worms is removed from the pits and the finished substrate is selected. A new layer of 'food' 25-30 cm thick is placed on the vacant space and the worm population is returned. The place of their placement is watered, protected from the sun and drying out, and a new annual technological cycle begins. An important condition for vermiculture technology is the creation of favorable conditions for the breeding and reproduction of earthworms and microorganisms in the soil, which contribute to the natural restoration of soil fertility, which is necessary for the production of environmentally friendly agricultural raw materials and food products, as well as the protection of the environment from pollution by harmful substances [14].

Thus, the purpose of earthworm cultivation is:

– maximum conversion of organic waste into organic fertilizer (vermicompost, bio humus);

– increasing the biomass of earthworms as the most valuable source of proteins, peptides, enzymes and physiologically active substances;



Fig. 1. The appearance of earthworms in the soil



Fig. 2. Different types of vermiculture farms

– earthworms accelerate the decomposition of organic matter, which allows for the short-term conversion of organic waste into humus-rich fertilizer in an environmentally friendly way [15, 16].

The introduction of bio humus into the soil not only increases crop yields, but also increases the total number of bacteria, which intensifies microbial processes in the soil and improves the absorption of essential nutrients by plants. The positive impact of bio humus on crop yields is due to the fact that it contains the nutrients necessary for plants in a well-balanced and easily digestible mobile form. It also improves the safety and quality of agricultural raw materials, which is extremely important for the health and life of the population. In addition, the overall ecological state of the environment is improved.

The use of vermiculture in agriculture allows the soil to be used continuously without reducing its fertility. The microorganisms in vermicompost help to convert toxic forms of heavy metals into inactive compounds. This is important when applying vermicompost to soils around large cities, industrial facilities, as well as in conditions of widespread use of mineral fertilizers and pesticides, and will contribute to the improvement of these soils and the environment in general.

Another important aspect of using vermiculture technology in solving the problem of waste management

(bioorganic). Today, in most European countries and the world's leading countries, the waste management system through reuse, recycling, composting, etc. allows solving urgent environmental issues of society and the environment. Composting is considered a separate type of recycling in the waste management hierarchy, when bioorganic residues are converted into humus-like substances.

The European Union has set an ambitious target of reducing the amount of waste sent to landfill to 75% of the amount in 1995 in 2010, 50% in 2015 and just over a third by 2020. Achieving this target means reducing all waste by 8 million tones. Moreover, the share of household waste that is organic and recycled or composted has increased from 18% to 45% in the twenty years since 1995.

In the European Union, the United States of America, Turkey and other countries, the requirements and regulation of the use of vermicompost as an organic fertilizer are governed by approved requirements at the level of states, municipalities and communities.

Ukraine is also actively involved in the process of recycling bio waste through composting and the use of its processing product (bio humus) in agriculture. This improves the ecological state of the environment, stimulates the introduction of organic technologies in

the agricultural sector and food production, and contributes to the greening of the industry. Today, a large number of producers are already operating in Ukraine, either composting organic waste, producing organic fertilizers based on vermicompost or growing environmentally friendly agricultural raw materials and producing environmentally safe food products. Information on producers of vermicompost and organic fertilizers is available on the website of the certification body in Ukraine, Organic Standard (<https://organicstandard.ua/ru/services/handbooks-and-catalogs>).

**Conclusions and prospects for using the research results.** The greening of food production and agricultural raw materials, as one of the important components of the food chain, is the main challenge of an environmentally conscious society. It is based, along with the rational use of natural resource potential, on the requirements to reduce the negative impact on the environment and to obtain environmentally friendly (organic) food products.

The negative impact of agriculture, which is the first link in the food chain, is observed in soil depletion, soil pollution due to the use of agrochemicals and plant protection products, accumulation of harmful substances in agricultural raw materials and contamination of food products. Therefore, an important task of greening the industry is to reduce the number of harmful substances (nitrates, pesticides, hormones, antibiotics, etc.) in agricultural raw materials of plant and animal origin and their ingress into processed food products.

The transition to and use of 'environmentally friendly' technologies is one of the steps towards greening the food industry.

Vermiculture is an environmentally friendly technology that uses earthworms to not only effectively dispose of organic waste but also transform it into high-grade animal proteins and biologically active substances, accelerating the process of humus formation in the soil tenfold. Earthworms are able to accumulate heavy metals and other toxic substances in their bodies, which significantly improves the ecological condition of the soil.

The process of cultivating worms in an organic substrate produces high-quality organic fertilizer (vermicompost or bio humus), which contains a full range of macro- and microelements necessary for agricultural plants during their growing season.

The use of vermiculture technology in agriculture allows for continuous use of soils without reducing their fertility. The microorganisms in vermicomposts contribute to the conversion of toxic forms of heavy metals into inactive compounds. Using this fact, we can significantly improve the ecological condition of land resources, especially near large transport networks, around large industrial cities, and in the context of an increase in the number of mineral fertilizers and pesticides introduced to the fertilizer market.

Using the experience of leading European and global countries, the vermicomposting technology of bio-organic residues can improve the organic waste management system, which will also help to address pressing environmental issues of society and the environment.

The vermicomposting technology does not require large areas and can be implemented on vermicomposting farms of various sizes and configurations, which will help develop small and medium-sized organic fertilizer businesses.

## References

1. Бескупська О. В. Основні передумови та принципи екологізації харчової промисловості. *Економіка та управління підприємствами*. 2016. Випуск 11. С. 272–275.
2. Амонс С. Е., Красняк О. П. Екологізація аграрного виробництва як основа формування системи продовольчої безпеки України. *Економіка та суспільство*. 2023. Випуск № 47.
3. Дембіцька С. В., Логоша В. Г., Цимбалюк В. А. Вдосконалення харчової промисловості як спосіб мінімізації впливу на навколишнє середовище. *Сучасні міждисциплінарні дослідження: історія, сьогодення, майбутнє*: матеріали ІХ Міжнародної конференції, м. Київ, 31 грудня 2014 року. Київ: Видавництво «Аграр Медіа Груп», 2014. С. 13–17.
4. Ушкаренко Ю. В. Особливості впливу підприємств харчової промисловості на навколишнє середовище. *Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства*: збірник конференції, 24–25.03.2016 р., м Тернопіль. URL: [http://econf.at.ua/publ/konferencija\\_2016\\_03\\_24\\_25/sekcija\\_2\\_tekhnologiji\\_i\\_priroda/osoblivosti\\_vplivu\\_pidpriemstv\\_kharchovoji\\_promislovosti\\_na\\_navkolishne\\_seredovishhe/40-1-0-873](http://econf.at.ua/publ/konferencija_2016_03_24_25/sekcija_2_tekhnologiji_i_priroda/osoblivosti_vplivu_pidpriemstv_kharchovoji_promislovosti_na_navkolishne_seredovishhe/40-1-0-873) (дата звернення: 30.04.2024 р.).
5. Искарова Н. Развитие эколого-ориентированного бизнеса как фактор повышения международной конкурентоспособности отечественной экономики. *Финанси, облік, банки*. 2014. № 1(20). С. 122–128.
6. Сичевський М. П. Харчова промисловість як основа продовольчої безпеки та розвитку держави. Київ : Аграрна наука, 2019. 388 с.
7. Кравченко Ю. М., Антощенко В. В. Екологічна безпечність та якість сільськогосподарської продукції та її конкурентоспроможність в умовах міжнародної інтеграції. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2019, Вип. 202. С. 84–92.
8. Сава А. П., Сидорук Б. О. Конкурентоспроможність екологічно безпечної сільськогосподарської продукції в контексті сталого розвитку сільських територій. *Сталий розвиток економіки*. 2013. № 1. С. 180–186.
9. Амонс С. Е. Стан та перспективи розвитку виробництва органічної продукції в Україні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 3 (22). С. 221–236.
10. Андреева Н. М., Купінець Л. С. Органічне виробництво як складова механізму екологізації економіки та забезпечення продовольчої безпеки України. *Органічне виробництво і продовольча безпека*. Житомир : Вид-во «Полісся». 2014. С. 51–55.

11. Багорка М. О., Сергієнко А.А. Екологізація виробництва аграрних підприємств як інноваційна складова їх розвитку. Основні напрями та механізми екологізації аграрного виробництва. *Економічні студії*. 2021. № 3(33). С. 10–16.
12. Зайцева В. Г., Нестеренко О. В., Чернишенко Г. О., Самохвалова А. І. Вермикюльтура, її значення у вирішенні екологічних проблем та поліпшенні умов сільського господарства. *Науковий вісник будівництва*. 2020. Т. 101, № 3, С. 222–228.
13. Мельник І. П. Дощові черв'яки: наукові основи вирощування і практичне використання. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. 444 с.
14. Максим В., Соломонко Д., Литвин Р., Степанюк О. Економічна ефективність переробки органічних відходів тваринництва на біогумус. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*. Серія: Економічні науки. 2021. Т. 23, № 97. С. 34–39.
15. Мерзлов С. В., Машкін Ю. О. Нарощування біомаси черв'яків за різних концентрацій феруму в субстраті. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2015. № 1. С. 103–106.
16. Мерзлов С. В., Мельниченко О. М., Машкін Ю. О., Бількевич В. В. Ріст біомаси каліфорнійських черв'яків і накопичення у ній кобальту за різних концентрацій металу в поживному середовищі. *Web of Scholar*. 2017. № 5(14). С. 10–12.

## ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО СИСТЕМАТИЗАЦІЇ ФОРМ ПРЕДСТАВЛЕННЯ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТА ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Машков О.А., Маркіна Л.М., Присяжний В.І., Власенко О.В.,  
Ковтунов О.В., Оводенко Т.С., Печений В.Л., Куракова Н.О.  
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
mashkov\_oleg\_52@ukr.net

Розглянуті інноваційні підходи до систематизації досліджень у галузі захисту навколишнього середовища, окреслені застосування різних методів, зокрема: експерименти, моделювання, статистичний аналіз та інші.

Означені та систематизовані форми можливих науково-практичних результатів у галузі технологій захисту навколишнього середовища.

Зазначені основні види даних з різних джерел для створення цілісного розуміння стану навколишнього середовища. Розглянуті критерії удосконалення наукових результатів у галузі технологій захисту навколишнього середовища, принципів сталого розвитку під час формулювання та впровадження заходів захисту навколишнього природного середовища.

Окреслені відповідні управлінські завдання, що сприятимуть втіленню інноваційних рішень та використання в процесі досліджень творчих та інноваційних підходів до розроблення нових технологій та методів, спрямованих на поліпшення стану навколишнього середовища. Такий інноваційний підхід допомагає не лише систематизувати, але й поліпшити ефективність заходів у галузі захисту навколишнього середовища.

Висвітлені форми можливих модельно-репрезентативних, лінгвістичних та емпіричних наукових теорій, як методологічні підсумки теоретичних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища.

Як наслідок досліджень, уперше отримано (розроблення, створення, формування тощо) або удосконалення (уточнення, доповнення, обґрунтування, підтвердження, узагальнення тощо) наукових знань про оточуючу дійсність без конкретного їх спрямування на практичне використання.

Отримані наукові результати розглянуті в якості критеріїв удосконалення наукової складової в галузі технологій захисту навколишнього середовища, зокрема такі критерії: протиріччя; математична строгість; прогностичних можливостей; недосконалості результатів; оцінки наукових праць у галузі технологій захисту навколишнього середовища.

Означені висновки щодо першочергової ролі держави у створенні сприятливого середовища для впровадження екологічних інновацій. *Ключові слова:* інновації, систематизація, наукові дослідження, захист навколишнього середовища, методологічні результати, критерії оцінки наукових праць.

**Innovative approach to the systematisation of the forms of presentation of scientific results of fundamental and applied research in the field of environmental protection. Mashkov O., Markina L., Prysiazhnyi V., Vlasenko O., Kovtunov O., Ovodenko T., Pechenyi V., Kurakova N.**

Innovative approaches to the systematization of research in the field of environmental protection are considered, the application of various methods, in particular: experiments, modeling, statistical analysis and others, is outlined.

The forms of possible scientific and practical results in the field of environmental protection technologies are identified and systematized.

The main types of data from different sources are indicated to create a holistic understanding of the state of the environment. The criteria for improving scientific results in the field of environmental protection technologies, the principles of sustainable development in the formulation and implementation of environmental protection measures are considered.

The author outlines the relevant management tasks that will facilitate the implementation of innovative solutions and the use of creative and innovative approaches to the development of new technologies and methods aimed at improving the environment in the research process. This innovative approach helps not only to systematize but also to improve the effectiveness of environmental protection measures.

The article highlights the forms of possible model-representative, linguistic and empirical scientific theories as methodological results of theoretical research in the field of environmental protection technologies.

As a result of the research, scientific knowledge about the surrounding reality was obtained for the first time (development, creation, formation, etc.) or improved (clarification, supplementation, justification, confirmation, generalization, etc.) without their specific direction for practical use.

The obtained scientific results are considered as criteria for improving the scientific component in the field of environmental protection technologies, in particular, the following criteria: contradictions; mathematical rigor; prognostic capabilities; imperfections of results; evaluation of scientific works in the field of environmental protection technologies.

The conclusions regarding the primary role of the state in creating a favorable environment for the introduction of environmental innovations are outlined. *Key words:* innovations, systematization, scientific research, environmental protection, methodological results, criteria for evaluating scientific works.

**Постановка проблеми.** Одним із вирішальних чинників успішної реалізації соціально-економічних реформ Президента та Уряду, внутрішньої стабілізації та подальшого розвитку економіки України, зміни геополітичного значення України в світовій спільноті, створення інвестиційно сприятливого клімату в Україні є перехід до еколого-економічно та соціально збалансованих методів природокористування та відтворення природних ресурсів [1-3].

Зміст інновацій під час модернізації системи природокористування України передбачає впровадження нових фінансово-економічних та регуляторних механізмів реалізації екологічної політики та нової системи екологічного моніторингу, а саме [4-7]:

- реформування діючої системи фондів охорони навколишнього природного середовища із врахуванням зарубіжного досвіду;

- вдосконалення економічного механізму природокористування та природоохоронної діяльності;

- впровадження системи комплексних природоохоронних дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, скид забруднюючих речовин у водні об'єкти, розміщення відходів відповідно до Директиви 2008/1/ЄС «Про комплексне запобігання і контроль забруднення»;

- розроблення нового та вдосконалення діючого природоохоронного законодавства із врахуванням вітчизняного та зарубіжного досвіду;

- переорієнтація міжнародної технічної допомоги Україні з «досліджень і пропозицій» на капітальні видатки (інвестиції);

- удосконалення в Україні правових основ та відповідних інституцій по впровадженню екологічного підприємництва;

- модернізація системи моніторингу з застосуванням аерокосмічних технологій на систем штучного інтелекту.

**Визначення та формулювання цілей статті (постановка завдання).** Для здійснення таких інноваційних заходів запропонована систематизація форм представлення наукових результатів фундаментальних та прикладних досліджень у галузі захисту навколишнього середовища.

Якщо виконуються наукові дослідження в галузі захисту навколишнього середовища за різними напрямками, наприклад, з використанням різних теоретичних підходів з математики, фізики, механіки, астрономії, інформатики і кібернетики, хімії, біології, геології, технічних наук, сільськогосподарських наук, географії, юридичних наук, національної безпеки, державного управління тощо варто зазначити, що єдиного конкретного трактування понять «наукове положення» або «науковий результат» не існує не тільки в таких галузях науки, але й у межах однієї спеціальності. Можна визначити різноманіття підходів до визначення актуальності, новизни, практичної значимості результатів досліджень у галузі екології та захисту навколишнього середовища.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У галузі технологій захисту навколишнього середовища наукові дослідження, в загальному вигляді, спрямовані на одержання і теоретичну систематизацію наукових знань, а також створення наукових знань щодо нових, ефективніших можливостей застосування теорії для вирішення практичних завдань. Наукові дослідження з проблем реалізації природоохоронної інноваційної політики в сфері екології здійснюють відомі вітчизняні вчені Шматков Г.Г., Петрук В.Г., Загвойська Л.Д., Шевцова Г.З., Зав'ялова Т.В., Мальований М.С. та інших [8-13].

Незважаючи на вже відомі наукові дослідження проблем інноваційних процесів у технологіях захисту довкілля, окремі аспекти потребують подальшого вивчення, зокрема, питання впровадження та використання інновацій в природокористуванні та природоохоронній діяльності, механізмів просування новітніх технологій, а також створення передумов переходу до більш ефективної економіки, стимулювання технологічних інновацій – представляють актуальний напрямок дослідження [14-20].

**Виклад основного матеріалу дослідження. Систематизація форм можливих наукових результатів у галузі технологій захисту навколишнього середовища.**

Визначення теоретичних та прикладних досліджень. Результати теоретичних досліджень у галузі екології можуть бути представлені як емпіричні, лінгвістичні, модельно-репрезентативні, проблемні, евристичні, методологічні, наукові теорії. В свою чергу, результати прикладних досліджень у галузі екології можуть бути представлені, зокрема, у таких формах: модельно-репрезентативні, проблемні, евристичні, методологічні.

Результатами теоретичних досліджень є одержання вперше (розроблення, створення, формування тощо) або удосконалення (уточнення, доповнення, обґрунтування, підтвердження, узагальнення тощо) наукових знань про оточуючу дійсність без конкретного спрямування їх на практичне використання, що можуть виступати в таких формах:

**Форми можливих емпіричних результатів теоретичних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:**

- дані експериментів, спостережень, практичної діяльності – одиничні свідчення органів чуттів, показань приладів або установок, що безпосередньо відображають явища дійсності. обов'язковою ознакою таких форм є наявність статистичного ряду одиничних даних. Окрім того, результати експериментів та спостережень одержують завдяки цілеспрямованому спостереженню або експерименту за допомогою спеціальних методів, а дані практичної діяльності – шляхом накопичення досвіду (наприклад, статистика організаційної діяльності);

- наукові факти – узагальнені та теоретично інтерпретовані дані експериментів, спостережень,

практичної діяльності. Наукові знання в галузі екології можуть бути віднесені до цієї форми, якщо вони: одержані за допомогою спеціальних статистичних методів; стосуються деякої наукової проблеми; підтверджені низкою одержаних, незалежно один від одного, рядів даних; виражені за допомогою термінів певної теорії;

– *емпіричні закони* – зв'язки між явищами дійсності, що безпосередньо виявлені в результаті аналізу даних експериментів, спостережень, практичної діяльності. Характерні ознаки такої форми знань – охоплення досить вузької групи явищ та опис за допомогою понять, що відображають чуттєвий досвід.

Форми можливих лінгвістичних результатів теоретичних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:

– *наукові терміни* слова або словосполучення, що покликані точно (бажано однозначно) позначати поняття про властивості об'єктів та їх співвідношення за допомогою спеціальних визначень у межах певних наукових теорій. Отже, під час створенні або розвитку певної наукової теорії в галузі екології можуть ставитися завдання визначення саме наукових термінів;

– *мови наукових теорій* – системи виразів, що будуються з сукупностей наукових термінів та символів певного алфавіту за деякими правилами.

Наукові терміни можуть бути подані у вигляді чотирьох рівнів загальності:

– *емпіричні терміни* – позначають конкретні явища з предметної області теорії, що безпосередньо зафіксовані в чуттєвому досвіді;

– *часткові теоретичні терміни* – в абстрактному та узагальненому вигляді позначають певні групи явищ з предметної області теорії;

– *загальні теоретичні терміни* – терміни середнього рівня абстрактності, що виступають зв'язуючою ланкою між частковими та фундаментальними термінами наукової теорії;

– *фундаментальні теоретичні терміни* – в найбільш абстрактному й загальному вигляді – позначають основні, найважливіші властивості, відношення та зв'язки явищ з предметної області теорії.

Форми можливих модельно-репрезентативних результатів теоретичних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:

– *описи об'єктів дослідження* – теоретичні описи фрагментів дійсності (кола явищ, предметів тощо), що виділені як відносно автономні цілісності та підлягають науковому дослідженню;

– *абстрактні об'єкти* – об'єкти, що відображають окремі, істотні для певної наукової теорії, властивості реальних або введених в її межах об'єктів.

Кожен абстрактний об'єкт у науковій теорії відображається за допомогою відповідного наукового терміну;

– *теоретичні закони* – висловлювання, що відображають закономірності, тобто необхідні, стійкі

відношення та зв'язки, що повторюються, між об'єктами дійсності. Теоретичний закон має відповідати таким формальним ознакам: його істинність є науково доведеною; він відображає множину відношень та зв'язків певного типу між об'єктами дійсності в узагальненому вигляді; таке відображення здійснюється за допомогою наукових термінів. Теоретичні закони, аналогічно теоретичним термінам, поділяють на три рівні загальності – фундаментальні, загальні, часткові;

– *принципи* – вихідні, найбільш загальні твердження, що є основою певної системи наукових знань. У наукових теоріях принципами часто називають їх фундаментальні закони;

– *аксіоми* – вихідні, найбільш загальні твердження певної наукової теорії, що приймаються в межах як істинні без доведення та є основою доведення інших тверджень;

– *теореми* – похідні твердження наукової теорії, що одержуються з аксіом за допомогою правил, принципів висновку;

– *емпіричні твердження* – висловлювання, що виведені як наслідки теоретичних тверджень та передбачають конкретні явища дійсності, наявність яких може бути перевірена за допомогою спостереження, експерименту, практичної діяльності;

– *типології наукових фактів* – системи, в яких наукові факти без теоретичного обґрунтування та пояснення згруповано у деякі загальні типи, а також задано відношення між ними;

– *моделі* – об'єкти, що у заданий спосіб відображають вибрані властивості, відношення та зв'язки об'єктів з фрагмента дійсності, що досліджується. З цього погляду, моделі є системами, що поєднують абстрактні об'єкти та теоретичні твердження, перш за все, теоретичні закони.

Форми можливих проблемних результатів теоретичних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:

– *фундаментальне наукове завдання* – виявлена та сформульована необхідність одержання або удосконалення (уточнення, доповнення, обґрунтування тощо) наукових знань щодо об'єкту дослідження. Кожне формулювання наукового завдання має відповідати вимогам коректності:

– існування об'єкта дослідження;

– можливість існування наукових знань, що передбачається одержати або удосконалити;

– наявність та істинність наукових знань, на основі яких формулюється наукове завдання; принципова можливість рішення наукового завдання на даному етапі розвитку науки.

Фундаментальні наукові завдання можна поділяти за можливостями їх рішення на внутрішні завдання та наукові проблеми:

– *внутрішні завдання* – необхідність одержання або удосконалення наукових знань, що є елементами певної їх системи, зокрема, наукової теорії;

– наукова проблема – необхідність створення нової наукової теорії або корінної зміни наявної теорії, що, фактично, також означає створення нової теорії.

Форми можливих евристичних результатів теоретичних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:

– наукове припущення – висловлювання, що фіксує попередній здогад про можливі основні, найбільш загальні властивості, відношення або зв'язки деякого фрагмента дійсності і слугує вихідним пунктом побудови наукової теорії;

– наукова гіпотеза – обґрунтоване ймовірне припущення про властивості, відношення або зв'язки деякого фрагмента дійсності, що вимагає підтвердження. Необхідними формальними ознаками наукової гіпотези є:

– пояснення причин певної сукупності явищ; логічна несуперечливість;

– узгодженість з наявними науковими теоріями і фундаментальними законами;

– можливість дослідної перевірки. Наукові гіпотези є основою розроблення теоретичних законів, тому, відповідно до ієрархії останніх, доцільно використати класифікацію гіпотез за ступенем загальності – на фундаментальні, загальні й часткові;

– теоретична концепція – система найзагальніших поглядів на деякий фрагмент дійсності, що визначає певний спосіб його розуміння. Теоретичні концепції є основою розроблення систем фундаментальних теоретичних тверджень, зокрема, наукових теорій.

Форми можливих методологічних результатів теоретичних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища: методологічні результати наукових досліджень можна характеризувати як філософські, загальнонаукові, конкретнаукові.

Філософські методологічні засоби наукових досліджень:

– філософські категорії – поняття, що фіксують властивості, відношення та зв'язки, об'єктивної дійсності та пізнання вцілому;

– філософські пізнавальні принципи, що ґрунтуються на філософських законах і категоріях;

– філософські пізнавальні підходи – системи найзагальніших правил та принципів наукового дослідження.

Загальнонаукові методологічні засоби наукових досліджень:

– загальнонаукові поняття, що фіксують властивості, відношення, зв'язки певних широких класів об'єктів і їх пізнання та можуть застосовуватися в багатьох галузях науки;

– загальнонаукові правила дослідження – приписи, що регламентують його здійснення;

– методологічні принципи наукового мислення, що відображають умови, правила й вимоги, за якими має відбуватися розвиток наукових знань;

– загальнонаукові підходи до дослідження, прикладами яких є алгоритмічний, системний, кібернетичний, інформаційний, діяльнісний підходи;

– загальнонаукові процедури дослідження – порядки пізнавальних дій, що застосовують загальнонаукові правила, прийоми та принципи наукового дослідження;

– загальнонаукові алгебри та логічні числення, що часто пов'язують основні елементи наукових теорій;

– загальнонаукові методи дослідження – системи загальнонаукових правил, прийомів та процедур наукового дослідження, що ділять на методи філософського і нефілософського походження.

Конкретнаукові методологічні засоби наукових досліджень:

– конкретнаукові поняття, що фіксують властивості, відношення, зв'язки окремих класів об'єктів та їх пізнання в межах окремих галузей науки або наукових дисциплін;

– спеціальні правила, прийоми дослідження;

– спеціальні підходи до дослідження окремих класів об'єктів;

– спеціальні процедури та алгоритми дослідження,

– спеціальні алгебри й логічні числення, пристосовані до рішення конкретних завдань;

– спеціальні критерії вибору, наприклад, критерії прийняття рішень;

– спеціальні методи дослідження в певних галузях науки;

– спеціальні методики – процедури застосування загальнонаукових і спеціальних методів наукового дослідження для вирішення конкретних пізнавальних завдань.

Форми наукових теорій як результатів теоретичних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:

– власне наукова теорія – система наукових знань, істинність якої на даний час науково доведена, що у вигляді сукупності взаємопов'язаних моделей відображає закономірності функціонування та розвитку певного фрагмента дійсності (об'єкта теорії);

– гіпотетична теорія – система наукових знань, що відрізняється від доведеної наукової теорії тим, що гіпотетична теорія є системою не науково доведених, а лише певним чином обґрунтованих ймовірнісних наукових знань.

Результатами прикладних досліджень є одержання вперше (розроблення, створення, формування тощо) або удосконалення (уточнення, доповнення, обґрунтування, підтвердження, узагальнення тощо) наукових знань щодо можливостей застосування результатів фундаментальних досліджень для вирішення конкретних завдань у будь-яких сферах діяльності. Результати прикладних досліджень можуть виступати у таких формах:

Форма можливих модельно-репрезентативних результатів прикладних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:



– *схеми практичної діяльності* – схеми, що визначають механізм організації певної практичної діяльності, побудова відповідних систем та здійснення процесів у них.

**Форма можливих проблемних результатів прикладних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:**

– *прикладні наукові завдання*, кожне з яких є виявленою та сформульованою необхідністю одержання або удосконалення (уточнення, доповнення, обґрунтування тощо) наукових знань про об'єкт дослідження, спрямованих на рішення конкретних практичних завдань.

**Форма можливих евристичних результатів прикладних досліджень у галузі технологій захисту навколишнього середовища:**

– *концепції практичної діяльності*, кожна з яких є системою найзагальніших поглядів на можливий розвиток певної галузі суспільної діяльності у вигляді її основних принципів та перспективних напрямів.

**Форми можливих методологічних результатів прикладних досліджень:**

– *метод* – це система прийомів та правил здійснення певної практичної діяльності;

– *методика* є конкретизацією одного або кількох методів на основі процедури, що дозволяє вирішувати конкретні завдання практичної діяльності;

– *правила*, під якими розуміють процедури, що регламентують здійснення певної практичної діяльності;

– *методологічні принципи* – загальні положення, виходячи з яких здійснюється певна практична діяльність;

– *підходи* – методологічні установки загального характеру, що дозволяють відобразити певний об'єкт конкретизуючи, що це відображення є прийнятними, зручними для вирішення практичних завдань;

– *процедури*, що являють собою порядки дій для рішення практичних завдань;

– *алгоритми* – системи формалізованих правил, що гарантують за кінцеве число кроків вирішення практичних завдань з їх певного класу;

– *рекомендації* – поради, побажання та пропозиції щодо здійснення практичної діяльності;

– *критерії* – ознаки, на основі яких здійснюється оцінка певних об'єктів;

– *норми, стандарти* – значення, яким мають відповідати показники певної практичної діяльності, що використовуються для контролю правильності протікання її процесів та якості її результатів.

**Критерії удосконалення наукових результатів у галузі технологій захисту навколишнього середовища.**

Під час вивчення отриманих наукових результатів у якості критеріїв їх удосконалення доцільно розглядати наступне:

1. *Критерій протиріччя*. Необхідно визначити як поєднуються між собою: простота пояснень та складність розгляданого об'єкту; економічність у засобах отримання результатів та „багатство” змісту результатів; логічна строгість та новизна або сміливість ідей; оригінальність концепцій та послідовність в їх побудові.

2. *Математична строгість*. Необхідно визначити в якій мірі обґрунтовано обрані початкові або вихідні дані, зроблені припущення, обрано математичний апарат досліджень, яка точність отриманих результатів.

3. *Критерій прогностичних можливостей*. Необхідно визначити, що використовується з відомого та які можливості прогнозування впровадження наукових результатів.

4. *Критерій недосконалості результатів*. Необхідно визначити у якому напрямку зроблено не все, де доцільніше зосередити зусилля в майбутньому.

**Критерії оцінки наукових праць у галузі технологій захисту навколишнього середовища.**

З метою загальної оцінки наукових праць у галузі технологій захисту

навколишнього середовища можна використовувати такі критерії:

1. *Проблемність*. В об'єкті дослідження має відобразитися дещо невідоме, що має практичну спрямованість. Має бути селекція дійсних проблем від уявних та правильність постановки проблеми.

2. *Емпіричність передумов*. Для теоретичних побудов доцільно визначити чи є фундамент з фактів, які дозволяють робити теоретичні узагальнення.

3. *Конкретність істини*. Результати мають бути обмежені умовами, в яких виконуються дослідження. Гіпотези також мають бути повною мірою перевірені.

4. *Новизна результатів*.

5. *Відтворюваність результатів*. Інші дослідники також можуть отримати такі ж результати за відповідних умов. При цьому визначається ступінь розходження між оцінкою результатів, отриманих авторами та іншими дослідниками.

**Висновки дослідження.** Інноваційний розвиток та модернізація системи природокористування України передбачає визначення реперних точок розвитку галузі та шляхів її реалізації.

Запропоновані напрямки модернізації системи природокористування визначено на основі системного підходу у відповідності та зв'язком з Національним планом дій з охорони навколишнього природного середовища України на період до 2025 року.

Основними засадами (стратегією) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Для здійснення інноваційних заходів модернізації системи природокористування пропонується систематизація форм представлення наукових результатів фундаментальних та приклад-

них досліджень у галузі захисту навколишнього середовища.

Застосування запропонованих форм можливих наукових результатів, критеріїв удосконалення нау-

кових результатів та оцінки наукових праць дозволить удосконалити оціночні критерії фундаментальних та прикладних досліджень у галузі захисту навколишнього середовища.

### Література

1. Чинники управління природними активами в Україні / Домінанти сталого розвитку регіонів України: Колективна монографія / За ред. акад. НАН України Б.В. Буркинського. Одеса: ІПРЕЕД НАН України. 2020. 620 с.
2. Матеріали слухань у Комітеті Верховної Ради України з питань екологічної політики на тему: «Вплив воєнних дій на довкілля в Україні та його відновлення до природного стану» (10 листопада 2022 року) / Ред.: Ю. Ю. Овчинникова. Київ: Комітет Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування, 2023. 184 с.
3. Odrekhivskyy, M., Kohut, U., Kochan, R., Karpinskyi, V. & Bernas M. Problems of environmental innovation systems design. *19th International multidisciplinary Geconference SGEM 2019. Ecology, Economics, Education and Legislation, 30 June – 6 July, 2019, Albena, Bulgaria*. Vol. 19, Is.: 5.3, 587–594.
4. Дорожня карта використання науки, технологій, інновацій для досягнення цілей сталого розвитку. Ухвалено колегією Міністерства освіти і науки України протокол від 22.12.2023 № 3. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclef-indmkaj/https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/2024/01/03/Dorozhnya.karta.vykoryst.nauky.tekhnolohiy.ta.innovatsiy-03.01.2024-1.1.pdf>
5. Чаплінський В. Р. Інноваційна активність в Україні, тенденції та перспективи розвитку. *Ефективна економіка*. 2020. № 12. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=8435> (дата звернення: 10.01.2024). DOI: 10.32702/2307-2105-2020.12.100
6. Басараб В., Новосад Д., Павлова О., Шабала О. Упровадження соціальних та екологічних інновацій міст Західної України. *Галицький економічний вісник*, 2021. № 4 (71), С. 43–49.
7. Закон України про науково та науково-технічну діяльність № 870- IX від 03.09.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-19#Text>
8. Наукова та науково-технічна діяльність в Україні у 2022 році: науково-аналітична доповідь / Т.В. Писаренко, Т.К. Куранда та ін. К.: УкрІНТЕІ, 2023. 94 с.
9. Розробка та впровадження системи зменшення техногенного навантаження територій і населення екологічно кризових регіонів України. М.М. Рожко, Е.М. Білецька, Г.Г. Шматков, Г.М. Ерстенюк *Екологія і природокористування*, 2014. № 18, С. 97–110.
10. Петрук В. Г., Машков О. А., Абідов С. Т., Гура К. Ю. Методологія інтегрованого управління екологічною безпекою природоохоронних систем. *Екологічні науки*. 2021. № 2. С. 153–161.
11. Загвойська Л. Д. Подолання нексусу системних криз: відповідь екологічної економіки. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2023. Том 33 № 1. С. 52-59. DOI: <https://doi.org/10.36930/40330108>
12. Mandryk O., Maliovanyi M., Orfanova M. Екологічна освіта для сталого розвитку. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 2019. № 1 (19). С. 130-139.
13. Науково-інноваційний супровід збалансованого природокористування: матеріали III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої пам'яті та 95-річчю з Дня народження професора С.Т. Вознюка, 29–30 вересня 2022 р., м. Рівне, Україна. Рівне: НУВГП, 2023. 199 с.
14. Проблеми та перспективи розвитку інноваційної діяльності в Україні: виклики воєнного часу: тези доп. XIV Міжнар. бізнес-форуму (Київ, 23 берез. 2023 р.) / відп. ред. А. А. Мазаракі. Київ: Державний торг.-екон. університет, 2023. 197 с.
15. Odrekhivskyy, M., Kohut U. & Horbal N. Research of ecosystems and problems of environmental innovation systems design. Strategies for sustainable socio-economic development and mechanisms their implementation in the global dimension. Collective monograph. Edited by M. Bezpartochnyi, in 3 Vol. VUZF University of Finance, Business and Entrepreneurship. Sofia: VUZF Publishing House “St. Grigorii Bogoslov”, 2019. Vol. 3, 152–164.
16. Андрієнко М. В., Шако В. С. Механізми реалізації державної екологічної політики на регіональному рівні. *Інвестиції: практика та досвід*. 2017, № 18, 47–53.
17. Система управління інноваційними процесами. URL: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/view.php?id=357319&chapterid=124476>.
18. Стасюк Ю.М. Інноваційний розвиток та трансфер технологій як фактори стійкого економічного зростання. *Інформаційні технології, керування процесами та інноваційними проектами*. CIMS-2023. 02.06.2023. URI: <https://fti.dp.ua/conf/2023/06027-0637/>
19. Россоха В.В. Інноваційно-технологічне забезпечення розвитку сільського господарства: монографія. Київ: ННЦ «ІАЕ», 2023. 176 с.
20. Інноваційні технології навчання в умовах модернізації сучасної освіти: монографія / за наук. ред. д. пед. н., проф. Л. З. Ребухи. Тернопіль: ЗУНУ, 2022. 143 с.

## ANALYSIS OF THE RELEVANCE OF ASTROECOLOGICAL RESEARCH

Khomiak I.<sup>1</sup>, Onyschuk I.<sup>1</sup>, Khomiak O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zhytomyr Ivan Franko State University  
Velyka Berdychivska str., 40, 10005, Zhytomyr

<sup>2</sup>Freiberg University of Mining and Technology  
Fuchsmühlenweg, 9b, Freiberg, Germany

ecosystem\_lab@ukr.net, oxanakhomiak@gmail.com

The article discusses the need to separate astroecology into a separate independent science. Such an accentuation will allow us to expand the scope of knowledge about life as a cosmic phenomenon and cleanse the modern general ecology from an exclusively earthly vision of life. The theories of general ecology must be filtered by the methods of astroecology. There is a mutual exchange of data between astroecology and terrestrial applied ecology, which enriches both sciences and increases the effectiveness of their projects. This, first of all, concerns the problems of restoration of disturbed ecosystems, ecological medicine, environmental safety, and agriculture. The article was written based on a review of publications in leading astrobiological journals and based on the experience of my own astroecological research. Astroecology should be to single out from astrobiology because it studies the relationships of biosystems with the environment as separate phenomena, and not only as separate characteristics of these biosystems. This will allow us to determine the main patterns of biota's relationship with the environment outside the Earth, which will give us new ecological theories and cleanse the general ecology of the earthly vision of life. The main functions of modern astroecology are to expand the sphere of knowledge, which will increase our chances of survival; creation of new ecological theories and critical analysis of old ones; uncovering mechanisms of adaptation to extraterrestrial environments that will facilitate our space expansion and prepare for future contact with extraterrestrial biota. General ecology must be built on theories filtered by astroecology because it encompasses the relationships with biota in space larger than one planet. Astroecology is enriched by the knowledge obtained in human-explored outer space and on our planet. When using the knowledge obtained on Earth, there is a two-way enrichment of classical terrestrial ecology and astroecology. Astroecology contributes to the progress of ecological science and improves the methods of applied ecology. This concerns, first of all, the problems of restoration of disturbed ecosystems, ecological medicine, environmental safety, and agriculture. *Key words:* astrobiology, ecological safety, space expansion.

### Аналіз актуальності астроекологічних досліджень. Хом'як І.В., Онищук І.П., Хом'як О.І.

У статті обговорюється необхідність виділення астроекології в окрему самостійну науку. Такий акцент дозволить розширити сферу знань про життя, як космічне явище та очистити сучасну загальну екологію від виключно земного бачення життя. Теорії загальної екології повинні бути відфільтровані методами астроекології. Між астроекологією та земною прикладною екологією відбувається взаємний обмін даними, що збагачує обидві науки та підвищує ефективність їхніх проєктів. Це, насамперед, стосується проблем відновлення порушених екосистем, екологічної медицини, екологічної безпеки, сільського господарства. Стаття написана на основі огляду публікацій у провідних астробіологічних журналах та на основі досвіду власних астроекологічних досліджень. З астробіології слід виокремити астроекологію, тому що вона вивчає зв'язки біосистем із середовищем як окремі явища, а не лише як окремі характеристики цих біосистем. Це дозволить визначити основні закономірності взаємовідносин біоти з навколишнім середовищем поза Землею, що дасть нам нові екологічні теорії та очистить загальну екологію від земного бачення життя. Основні функції сучасної астроекології – розширення сфери знань, що підвищить наші шанси на виживання; створення нових екологічних теорій і критичний аналіз старих; розкриття механізмів адаптації до позаземного середовища, які сприятимуть нашому космічному розширенню та підготують до майбутнього контакту з позаземною біотою. Загальна екологія повинна будуватися на теоріях, відфільтрованих астроекологією, оскільки вона охоплює відносини з біотою в просторі, більшому за одну планету. Астроекологія збагачується знаннями, отриманими в дослідженому людиною космосі та на нашій планеті. При використанні знань, отриманих на Землі, відбувається двостороннє збагачення класичної земної екології та астроекології. Астроекологія сприяє прогресу екологічної науки і вдосконалює методи прикладної екології. Це, насамперед, стосується проблем відновлення порушених екосистем, екологічної медицини, екологічної безпеки, сільського господарства. *Ключові слова:* астробіологія, екологічна безпека, космічна експансія.

### Introduction

**Statement of the problem.** Ecology was born in the bosom of natural sciences at the height of the Scientific Revolution. Over time, theorists and practitioners of natural sciences have realized the importance of describing the relationships between environment and biota. Information about these connections accumulated more and more, and biology, overloaded with it, formed a separate section – ecology. However, other sections of biology continued to supplement their highly special-

ized sciences with ecology, where it was a multidisciplinary science. In certain branches of biology, the share of ecological research is so large that it is difficult to separate them from ecology, despite their own history and independent development. Astrobiology is one of the most tightly integrated sections of biology with ecology. Virtually every astrobiological study, hypothesis, or theoretical review is essentially ecological [9]. We get a question – should astroecology continue to develop as an independent science?

**Research relevance.** In our time, the volume of research into extraterrestrial space has reached its historical maximum. This is not only a consequence of their popularization. The results of extraterrestrial space research are growing, both qualitatively and quantitatively. For example, according to the "Government Space Defense" report, spending on the space sector was a record 103 billion dollars in 2022. This growth does not even come close to meeting the needs arising from the expansion of the "sphere of knowledge" and the growth of the "surface of the questions". For this reason, we have to be as efficient as possible.

**The connection of the author's work with important scientific and practical tasks.** At first glance, it seems that the wide using of ecological research methods and principles in astrobiology excludes the need to separate astroecology from it. It seems that astrobiology is already astroecology. To answer this question, we have to analyze the structure of astrobiology more deeply. We consider it more broadly than just exobiology or xenobiology. It will include both life on other natural space objects, as well as the influence of cosmic factors on biosystems and Earth's biota. The last two lines of research are indeed classically ecological, but the future study of extraterrestrial biota (exobiology or xenobiology) is much larger. In many publications devoted to this direction, ecological aspects are present but occupy only a small part of the entire array of research. For example, the search for biosignatures, and astrogeology that related to the search for traces of life in rocks of extraterrestrial origin, will be only partially ecological. Therefore, astroecology covers only a part of astrobiology. In some research, it completely dominates, and in others research only a small part of it is present.

**Analysis of the latest research and publications.** Astroecological research can be interdisciplinary and multidisciplinary in nature [11]. The focus of typical astroecology is not the objects of biota itself, but its relationships with the environment. So, when we look for the remains of life in a meteorite or an extraterrestrial rock, it is not an astroecological study in the classical sense [10]. It will be astroecology only when we are interested in the environmental conditions in the area of existence of this meteorite or rock, and how the found biota interacted with it or adapted to it.

**Scientific novelty.** For the first time, we made a detailed analysis of the journalistic activity of scientists in the field of astroecology.

**Methodological or general scientific significance.**

In certain branches of biology, the share of ecological research is so large that it is difficult to separate them from ecology, despite their own history and independent development. Astrobiology is one of the most tightly integrated sections of biology with ecology. Virtually every astrobiological study, hypothesis, or theoretical review is essentially ecological. At first glance, it seems that the wide using of ecological research methods and principles in astrobiology excludes the need to separate

astroecology from it. It seems that astrobiology is already astroecology. To answer this question, we have to analyze the structure of astrobiology more deeply. We consider it more broadly than just exobiology or xenobiology. It will include both life on other natural space objects, as well as the influence of cosmic factors on biosystems and Earth's biota. The last two lines of research are indeed classically ecological, but the future study of extraterrestrial biota (exobiology or xenobiology) is much larger. In many publications devoted to this direction, ecological aspects are present but occupy only a small part of the entire array of research. For example, the search for biosignatures, and astrogeology that related to the search for traces of life in rocks of extraterrestrial origin, will be only partially ecological. Therefore, astroecology covers only a part of astrobiology. In some research, it completely dominates, and in others research only a small part of it is present.

**Purpose and objectives of the study.** The purpose of the study is to determine the role and place of astroecology in modern science. Accordingly, the following tasks were set: 1) Analyze publications in the main astrobiological journals; 2) Determine the impact of astroecology on astrobiology and general ecology.

**Materials and methods of research.** Research materials are publications in leading astrobiological journals: "Astrobiology", "International Journal of Astrobiology" and "Life Sciences in Space Research". Common statistical methods were used for the analysis.

**Research results.** Take, for example, periodical peer-reviewed journals in which 50% or more of the publications are devoted to astrobiology (table 1). We can determine whether a publication belongs to astroecology by how the authors define the object of research. If the subject of research is the relationship of this biota with the environment, then such articles can be considered astroecological. If the subject of research is biota or the search for its traces and not its connections with the environment, then such a publication can be considered purely astrobiological. If it is not the subject of research but is mentioned in the results of the research or their discussion, then such a publication only contains elements of astroecological research. The distribution of publications into groups is based on the subjective opinion of the author. If a survey were conducted among a larger number of professional environmental researchers, the results below may change in one direction or another.

We have analyzed 26 scientific journals that contain astrobiological publications for the year 2022. From this list, 3 journals were selected, in which the share of classic astrobiological publications exceeded 50% (Table 1). These are "Astrobiology" (61.54%), "International Journal of Astrobiology" (56.76%), and "Life Sciences in Space Research" (56.6%). The rest of their publications were related to space but did not focus on studies of biota beyond Earth. These were studies of instruments for observing certain parameters of outer space, and questions of education, history, and philoso-

Table 1

## The share of astroecological publications in the leading astrobiological journals

Name of the journal	Total number of publications	Astrobiological publications		Astroecological publications		Publications with elements of astroecology	
		Quantity (pcs.)	Share (%)	Quantity (pcs.)	Share (%)	Quantity (pcs.)	Share (%)
Astrobiology	13	8	61,54	2	15,38	2	15,38
International Journal of Astrobiology	37	21	56,76	8	21,62	4	10,81
Life Sciences in Space Research	53	30	56,60	11	20,75	4	7,55

phy. The share of identified astroecological publications, where the subject of research is the interaction of living organisms with the environment, ranged from 15.38% to 20.75% of the total number and from 25% to 38.09% of the number of astrobiological articles. Some researchers did not set themselves the main goal of studying the interrelationships of biota with organisms, but they mentioned this aspect in the articles. Such partly astroecological publications occupy from 7.55% to 15.38% of the total number and from 13.33% to 25% of the number of astrobiological publications. If we combine these categories together, their share will range from 28.3% to 32.43% of the total number and from 50% to 57.14% of the number of astrobiological publications.

**Discussion.** A large proportion of astrobiological research is related to terrestrial biota. First of all, we are talking about the study of extremophiles, the stability of Earth's ecosystems, global environmental changes and related extinctions, the relationship between man and the biosphere, life expectancy, and its preservation in extreme conditions. For example, our "Laboratory of Ecosystem Theory" studies the dynamics of the settlement of disturbed lands by plants. Our work is aimed at finding general patterns in the dynamics of the restoration of natural vegetation. This can be a theoretical basis for building algorithms for terraforming colonized planets. Such research of ours can be considered astroecological, because we study how species adapt to a certain lifeless environment and how they themselves change this environment, making it suitable for other groups of species.

The studies of extremophiles take into account their species diversity, genetics, morphological, biochemical, and biophysical responses to environmental conditions, and more [3]. Astroecological research in this direction is aimed at finding endurance limits for life in space [4]. At the same time, this region suffers the most from the earthly vision of life. What are extreme environmental conditions? We often consider them as such if they deviate significantly from the zone of optimum for humans or most living organisms on Earth. However, what is extreme for us or most species around us may be optimal for alien life [2]. Therefore, to define limits for life we need to form a universal definition of life in the universe [6].

Attempts to discover the causes of great extinctions keep turning our attention to extraterrestrial factors. For example, Yukio Isozaki [7] writes about this in his article "Paleozoic Extinctions in Cosmoclimatological Context: "Non-Bolide" Extraterrestrial Causes for Global Chilling". He emphasizes that recently paleobiologists and astrobiologists are increasingly returning to extraterrestrial causes of global extinctions. In his opinion, this is not a return to the old model associated with the fall of a large meteorite. It is a concept generated from new astrophysical discoveries that considers scenarios related to processes both within the solar system and beyond. It includes the direct and indirect influence of the Sun and other objects of the Solar System on the Earth's climate, echoes of supernova explosions, migration of dark matter, and, of course, classic falls of large meteorites. The direct impact was manifested through changes in the atmosphere or the amount of energy passing through it. Indirect influence was carried out through tectonic activity, which changed the physical and chemical properties of the atmosphere. We find similar ideas in other authors [1]. For example, the established 27.5 million-year cycle of catastrophic changes in the Earth's environment [13] is compared with the  $32 \pm 3$  million-year cycle of vertical oscillations of the Solar System around the midplane of the Galaxy [14]. Some researchers believe that an increase in the flux of cosmic rays in the area of the plane of the Galaxy can lead to significant climatic changes [5].

Both for determining the extremes of conditions and for determining the threats of extinction, the central object of astrobiological research remains the human being [12]. For astrobiologists, man is a living creature equal in popularity to extremophile microorganisms. A large number of astrobiological publications are devoted to the effect of space flight directly on the human body or its simulation on animals. The absolute majority of these works are ecological. On the one hand, this is explained by the fact that medicine mostly deals with problems of human maladaptation to environmental conditions. For example, when a person loses the ability to fully function in certain environmental conditions. On the other hand, the causes of diseases can be both internal (hereditary-genetic, physiological) and external or environmental (biotic, abiotic and socio-psychologi-

cal) factors. The emergence of man beyond the surface of the Earth naturally puts the problem of adaptation in the first place. That is why a large part of astrobiological and space-medical research is astroecological. For example, in 2022, the journal "International Journal of Astrobiology" had 10% of such articles, and the journal "Astrobiology" – 6%. In this calculation, there were difficulties in determining in which category to assign the June 2022 special issue of the journal "Astrobiology". The journal "Life Sciences in Space Research" has the largest share of medical astroecological articles – 78%. There is a whole section "Health and biology in the space environment" and number 35 was completely devoted to the effect of radiation on the organism.

The ecologism of astrobiological research is manifested in the connection between the space environment and the biota of our planet, which covers the issues of life endurance limits, sudden catastrophic changes in the environment, the impact on organisms of being in an artificial environment outside the borders of the home planet, and the impact of space weather on the vitality. In addition, the ecological aspects of astrobiology are manifested in the questions of the origin of life on Earth and beyond. This is quite a popular topic in modern astrobiology [11]. For example, the journal "Astrobiology" published 25 such articles in 2022. On average, there were 2.1 publications per issue. Only one of the issues did not have any publication on the origin of life, and the maximum number of such articles reached 4 per issue. As a rule, these are 1 or 3 articles per issue (33.3% of issues). Most of these articles are closer to chemistry than to ecology. After all, they consider the connection

of the abiotic process of the formation of prebiotics with the environment, and ecology examines the connection of supra-organismic biosystem levels with it. Ecology begins when we consider the formation of the first ecosystems or the likely vectors of evolution, rather than the prerequisites for the emergence of life.

**Conclusions.** Astroecology should be to single out from astrobiology because it studies the relationships of biosystems with the environment as separate phenomena, and not only as separate characteristics of these biosystems. This will allow us to determine the main patterns of biota's relationship with the environment outside the Earth, which will give us new ecological theories and cleanse the general ecology of the earthly vision of life. The main functions of modern astroecology are to expand the sphere of knowledge, which will increase our chances of survival; creation of new ecological theories and critical analysis of old ones; uncovering mechanisms of adaptation to extraterrestrial environments that will facilitate our space expansion and prepare for future contact with extraterrestrial biota. General ecology must be built on theories filtered by astroecology because it encompasses the relationships with biota in space larger than one planet. Astroecology is enriched by the knowledge obtained in human-explored outer space and on our planet. When using the knowledge obtained on Earth, there is a two-way enrichment of classical terrestrial ecology and astroecology. Astroecology contributes to the progress of ecological science and improves the methods of applied ecology. This concerns, first of all, the problems of restoration of disturbed ecosystems, ecological medicine, environmental safety, and agriculture.

### References

1. Bostrom N., Ćirković M. Global catastrophic risks. *Oxford: Oxford university press*. 2011. P.554.
2. Carré L., Zaccai G., Delfosse X., Girard E., Franzetti B. Relevance of earth-bound extremophiles in the search for extraterrestrial life. *Astrobiology*. 2022. Volume 3. P. 322-367.
3. Cockell C. S., Harrison J. P., Stevens A. H. A low-diversity microbiota inhabits extreme terrestrial basaltic terrains and their fumaroles: implications for the exploration of Mars. *Astrobiology*. 2019. Volume 19. P.284-299.
4. Cockell C. S., Samuels T., Stevens A. H. Habitability is binary, but it is used by astrobiologists to encompass continuous ecological questions. *Astrobiology*. 2022. Volume 1. P. 7-13.
5. Gies D.R., Helsen J.W. Ice age epochs and the sun's path through the galaxy. *Astrophys*. 2005. № 626. P.844-848.
6. Hall L.S., Krausman P. R., Morrison, M. L. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin*. 1997. № 25. P.173-182.
7. Isozaki Y. Paleozoic Extinctions in cosmoclimatological context: «Non-Bolide» Extraterrestrial Causes for Global Chilling. *Paleontological Research*. 2022. № 1. P.14-24.
8. Khomiak Ivan, Khomiak Oksana. The influence of substrate particle size on the potential for spontaneous spread of biota across the landmass of rocky planets. Global science: prospects and innovations. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2024. P. 314-319.
9. Khomiak Ivan, Khomiak Oksana. Using artificial intelligence for express-analysis of the biotic potential of alien habitat. Modern research in science and education. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Chicago, USA. 2024. P.203-208.
10. Khomiak Ivan, Vasylenko Olha. Using the rules of natural recovery of ecosystems for the process of revegetation and terra forming. *Ekologiai racjonalne zarzadzanie przyrodą: edukacja, nauka i praktyka: materiały z międzynarodowej konferencji naukowo-praktycznej*. Łomża–Żytomierz, 15.11.2023r. 2023. S.199-203.
11. Malaterre C., Jeancolas C., Nghe P. The origin of life: What is the question? *Astrobiology*. 2022. P.851-862.
12. Onyschuk I.P., Khomiak I.V. The use of the complex action of environmental factors in the process of space colonization. *Ecological sciences*. 2022. № 3(42). P.107-110.
13. Rampino M. R., Caldeira K., Zhual Y. A pulse of the Earth: A 27.5-Myr underlying cycle in coordinated geological events over the last 260 Myr. *Geoscience Frontiers*. 2021. № 6. P.101-245.
14. Rampino M. R., Stothers R. B., Smoluchowski R., Bahcall J. N., Matthews, M. S., Geological periodicities and the Galaxy. *In the Galaxy and the Solar System*, University of Arizona press. 1986. P.241-259.

---

# ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

---

УДК 504.5:(53.087.47+53.082.75)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.6>

## ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗКОНТАКТНИХ СЕНСОРІВ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ІМПЕДАНСУ

Ольшевський С.В., Бех І.І., Каберник В.О.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Володимирська, 60, 01033, м. Київ

solaristics@gmail.com, sun@univ.kiev.ua

Досліджені напрямки вдосконалення сучасних моніторингових систем водних ресурсів завдяки розширенню сенсорної бази та фізичних показників якості води. Експериментально встановлено, що інтегральна електропровідність не дозволяє відокремлення різних типів забруднювачів водного середовища і не розкриває повною мірою шляхи їх індивідуальної міграції та локації витоків. Запропоновано додати до переліку фізичних показників якості водних ресурсів частотні спектри електрохімічного імпедансу води. За допомогою числового моделювання означено високу чутливість форми годографу електрохімічного імпедансу до концентрації іонів електроліту у водному розчині в межах значень  $10^2$  до  $10^5$  ppm і слабка чутливість до рухливості іонів у межах значень від  $10^{-4}$  до  $10^{-1}$  м<sup>2</sup>/В·с. Це дає змогу використовувати частотні спектри для здійснення моніторингу індивідуальної концентрації різних забруднювачів у реальному часі, а визначену з таких спектрів іонну рухливість використовувати як маркер конкретного типу речовини. На основі аналізу механізмів формування частотного спектру електрохімічного імпедансу виділено характерні точки на годографі імпедансу, кількісні характеристики яких дозволяють отримувати значення цільових показників якості води в результаті попереднього оброблення сигналу безконтактного сенсора вбудованим контролером. Використання саме інтелектуальних сенсорів, оснащених такими контролерами з відповідним програмним забезпеченням відкриває перспективи знизити навантаження на канали зв'язку, відмовившись від необхідності передавання великих масивів вимірних даних бездротовими мережами. Виведено прості математичні формули для визначення рухливості і концентрації іонів забруднювача, які дозволяють значною мірою спростити алгоритми цифрового оброблення сигналу сенсорів електрохімічного імпедансу і завдяки цьому знизити собівартість таких сенсорів. *Ключові слова:* водойми, водні ресурси, електрохімічний імпеданс, іони електроліту, хімічний аналіз води.

**Improvement of environmental monitoring systems for water resources through the application of contactless electrochemical impedance sensors. Olszewski S., Bekh I., Kabernyk V.**

The article is devoted to the study of ways to improve modern water resource monitoring systems by expanding the sensor base and the list of physical water quality indicators. It was experimentally established that the integral electrical conductivity does not provide the ability to separate different types of water pollutants and does not fully reveal the ways of their individual migration and leakage locations. It is proposed to add the frequency spectra of the electrochemical impedance of water to the list of physical indicators of water quality. Numerical modeling has shown that there is a high sensitivity of the shape of the electrochemical impedance hodograph to the concentration of electrolyte ions in the aqueous solution in the range of  $10^2$  to  $10^5$  ppm values and weak sensitivity to ion mobility in the range of  $10^{-4}$  to  $10^{-1}$  m<sup>2</sup>/V·s. This provides grounds to use the frequency spectra for real-time monitoring of the individual concentration of various pollutants, and to use the ionic mobility determined from these spectra as a marker of a specific type of substance. Based on the analysis of the mechanisms of formation of the frequency spectrum of electrochemical impedance, characteristic points on the impedance hodograph were identified, the quantitative characteristics of which allow obtaining the values of the target water quality indicators as a result of pre-processing the signal from a contactless sensor by an embedded controller. The use of intelligent sensors equipped with such controllers with appropriate software opens up prospects to reduce the load on communication channels by abandoning the need to transmit large arrays of measured data over wireless networks. Simple mathematical formulas were derived for determining the mobility and concentration of pollutant ions, which significantly simplify the algorithms for digital processing of electrochemical impedance sensor signals and thereby reduce the cost of such sensors. *Key words:* water bodies, water resources, electrochemical impedance, electrolyte ions, chemical water analysis.

**Постановка проблеми.** Сучасні методи контролю стану водних ресурсів провідною мірою орієнтовані на створення автоматизованих моніторингових систем, робота яких ґрунтується на централізованому обробленні масиву даних, що постачаються розподіленою мережею сенсорів різного типу [1-6]. В таких системах, як правило, використовують спеціалізовані

сенсори для безпосереднього вимірювання основних показників стану водних ресурсів. Для поверхневих вод список таких показників містить понад 10 найменувань фізико-хімічних характеристик і порядку 10 для морської води. Спільними показниками для водних ресурсів обох типів є каламутність, електропровідність, температура води і вміст кисню.

Природа цих показників дозволяє їх безпосереднє кількісне вимірювання на об'єкті автономними реєстраторами, оснащеними відповідними датчиками. Реєстрація цих показників має ту перевагу, що може бути здійснена в автоматизованому режимі. Інші показники, наприклад такі, як вміст нітратів, калію чи амонійного азоту, хімічне і біохімічне споживання кисню, потребують лабораторних досліджень відібраних за стандартною методикою проб. Однак, серед тих показників, контроль яких не потребує втручання людини, є мало інформативні щодо конкретної причини їх змін. Так, загальна електропровідність води є важливим показником стану всіх водних ресурсів і легко вимірюється сучасними цифровими кондуктометрами промислового виробництва. Проте її кількісна характеристика залежить від цілої низки первинних факторів. Тобто аналіз зміни електропровідності дозволяє дуже опосередковано пов'язувати її з можливими джерелами шкідливого впливу на стан водних ресурсів. Ще складніше за цим показником достовірно встановлювати можливу локалізацію цих джерел. А використання стандартних кондуктометричних сенсорів для морської води взагалі має невід'ємну технічну проблему. Морська сіль, розчинена в воді є сильним електролітом. В середовищі такого відбувається інтенсивна корозія металевих електродів кондуктометричних датчиків безпосередньо під час вимірювань. Внаслідок такої корозії металеві електроди повністю розчиняються в морській воді, а датчики виходять з ладу. На думку авторів позбутись проблеми безповоротної втрати кондуктометричних датчиків мережових моніторингових систем дозволить перехід на безконтактні сенсори. Водночас, зняття неоднозначності кількісної характеристики води може бути досягнуте переходом від реєстрації загальної електропровідності води на вимірювання її електрохімічного імпедансу такими безконтактними сенсорами. Метою проведення досліджень властивостей безконтактних сенсорів електрохімічного імпедансу є визначення методу вимірювання концентрації невідновлених речовин в водному розчині і їх часткової ідентифікації за певними фізичними характеристиками.

**Актуальність дослідження.** Вдосконалення методів контролю забруднення водних ресурсів – це актуальне наукове завдання екологічного моніторингу. А в розрізі дослідження впливу воєнних дій на довкілля, воно набуває ще й соціально-політичного характеру. Вирішення такого завдання розширить можливості прогностичного моделювання еволюції навколишнього середовища, формування об'єктивної доказової бази для виставлення судових претензій до країни-агресора, розроблення заходів, пов'язаних із забезпеченням здоров'я населення та відновленням зруйнованих внаслідок воєнних дій екосистем.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Наукова

праця спрямована на вирішення завдань, визначених урядом України у сфері зміцнення екологічної безпеки України, Законом України «Про Пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» № 3715-VI (Пріоритет 6: широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища) та Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № 2697-VIII та постановою Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 року № 336 «Про затвердження Порядку розроблення плану заходів управління річковим басейном». – Основні засади дослідження означені пунктами Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У звіті Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA) [1] розглянуто використання онлайн-моніторингу якості води як індикатора забруднення питної води. Підготовлений документ представляє програмне забезпечення WaterSentinel для систем раннього виявлення можливих катастроф, пов'язаних із забрудненням водопостачання. WaterSentinel аналізує дані з датчиків якості води в режимі реального часу для визначення відхилень від нормальних значень. Система використовує статистичні алгоритми для ідентифікації аномалій у вимірюваннях, що можуть вказувати на потенційне забруднення. Розглядаються різні типи речовин, які можна виявити, включно з хімічними, біологічними та радіоактивними забруднювачами. Звіт описує архітектуру WaterSentinel, компоненти та вимоги до даних. Обговорюються методи розгортання та інтеграції системи в існуючі системи моніторингу якості води. Наголошується на важливості раннього попередження для швидкого реагування та мінімізації наслідків для здоров'я населення у випадку забруднення питного водопостачання. Загалом стаття висвітлює переваги та обмеження технології онлайн моніторингу якості води.

У збірці [2] висвітлюються результати досліджень потенційних переваг та вимог до впровадження систем автоматизованого моніторингу якості води з високою частотою вимірювань та можливістю передачі даних у режимі реального часу. В умовах зростання загроз від зміни клімату, забруднення та фрагментації довкілля існує нагальна необхідність у даних про стан водозборів для ефективного прийняття рішень щодо їх збереження. Хоча традиційні методи моніторингу якості води залишаються актуальними, впровадження мереж зв'язаних датчиків може значно підвищити обсяг і своєчасність надходження даних. У збірці розглядаються як потенційні переваги таких систем, зокрема оперативне отримання великих обсягів даних, можливість швидкого реагування та адаптивного моніторингу, так і пов'язані з ними обмеження: витрати на обслуговування датчиків, мережеві витрати, вимоги до зберігання та



управління даними, а також технологічні обмеження. Наводяться два практичні приклади впровадження, що ілюструють важливість даних реального часу для прийняття рішень у управлінні водними ресурсами, а також для наукових досліджень.

Отже, збірка узагальнює сучасний стан та перспективи використання технологій автоматизованого моніторингу, висвітлюючи можливі шляхи їх розширеного впровадження для підвищення ефективності прийняття рішень та захисту прісноводних екосистем.

Ціла низка робіт присвячена розгляду перспектив застосування саме бездротових сенсорних мереж (БСМ) для моніторингу якості води.

Приміром, у статті [3] висвітлені такі переваги БСМ, як віддалений моніторинг у режимі реального часу з мінімальним людським втручанням та відносно низькою вартістю. В ній розглядаються ключові проблеми та виклики при використанні БСМ для цього застосування, у тому числі з питаннями енергоспоживання, безпеки даних, покриття та з'єднання. Запропоновані архітектури вузлів БСМ для моніторингу якості води з точки зору відстежуванних параметрів, мікроконтролерів/мікропроцесорів, стандартів бездротового зв'язку, локалізації, реалізації безпеки даних, архітектури живлення та автономності. Порівнюються переваги та недоліки різних бездротових стандартів зв'язку, зокрема, ZigBee, Bluetooth, LoRaWAN та SigFox. У праці висвітлюються сучасні дослідження та розробки в сфері моніторингу якості води за допомогою БСМ, зазначаючи їх потенційні переваги, але також обмеження та проблемні місця. Наголошується на необхідності врахування питань енергоефективності, безпеки, покриття та з'єднання під час проектуванні майбутніх систем БСМ для цього застосування.

У статті [4] розглядається застосування Інтернету речей (IoT) та сенсорних технологій для вдосконалення систем моніторингу навколишнього середовища, здійснено ґрунтовний огляд останніх досягнень у використанні IoT та бездротових сенсорних мереж для моніторингу різних компонентів довкілля. Автори аналізують переваги застосування IoT та сенсорів для моніторингу якості повітря, води, ґрунту, а також для виявлення забруднення та стихійних лих. Аналізуються ключові виклики та обмеження існуючих систем, зокрема енергоспоживання, діапазон зв'язку, безпека даних тощо. Обговорюються новітні технології та рішення, спрямовані на подолання таких проблем, висвітлені перспективні підходи до моніторингу навколишнього середовища за допомогою IoT, зокрема використання гібридних мереж, енергоефективних протоколів, хмарних обчислень, машинного навчання та інтелектуального аналізу даних. Наводяться приклади успішного впровадження таких систем у різних галузях. Окрім того, запропоновані рекомендації щодо підвищення ефективності та масштабованості IoT-систем моні-

торингу довкілля, а також окреслює напрямки майбутніх досліджень у цій галузі.

У дослідженні [5] представлено систему моніторингу водного середовища на основі БСМ. Автори пропонують архітектуру та дизайн БСМ для збору даних про якість води в режимі реального часу. Запропонована система складається з кількох вузлів БСМ, обладнаних датчиками для вимірювання основних параметрів якості води, таких як температура, рН, окисно-відновний потенціал та інші. Вузли БСМ передають зібрані дані до центральної базової станції через бездротовий зв'язок стандарту ZigBee. База даних на базовій станції зберігає отримані дані якості води. Вони можуть бути проаналізовані локально або передані до віддаленого моніторингового центру через Інтернет за допомогою зв'язку GPRS. Це забезпечує можливість дистанційного відстеження стану водного середовища. У статті детально описується апаратна та програмна реалізація вузлів БСМ і базової станції. Розглядаються питання енергоспоживання, топології мережі та протоколів маршрутизації. Також представлені результати експериментальної перевірки роботи системи. Автори демонструють потенціал використання БСМ для ефективного та гнучкого моніторингу якості води з високою часовою та просторовою роздільною здатністю.

У праці [6] представлено SmartCoast – БСМ систему для моніторингу якості води. Автори пропонують архітектуру БСМ, яка складається з багатofункціональних вузлів сенсорів, здатних вимірювати ключові параметри якості води. Вузли БСМ SmartCoast оснащені датчиками для вимірювання температури, рН, електропровідності, розчиненого кисню, мутності, фосфатів та глибини води. Вони використовують стандарт бездротового зв'язку ZigBee для передачі даних до базової станції. Базова станція збирає дані від усіх вузлів мережі та передає їх на центральний сервер для обробки, аналізу та візуалізації. Система забезпечує моніторинг якості води в режимі реального часу з високою часовою та просторовою роздільною здатністю. У статті описуються апаратні та програмні компоненти вузлів БСМ SmartCoast, а також їх корпуси з водонепроникним захистом стандарту IP68. Обговорюються питання живлення, енергоспоживання та автономності роботи вузлів. Автори повідомляють про успішну експлуатацію пілотної системи SmartCoast для моніторингу прибережних вод.

Отже, актуальність і перспективність розвитку розподілених БСМ-систем моніторингу стану водних ресурсів у реальному часі не викликає сумнівів. Проте, варто наголосити, що ключовим компонентом всіх таких систем є мережа датчиків, які безпосередньо реєструють фізичні показники якості води. Від повноти даних, що постачаються цими датчиками, залежить достовірність прогнозів та ефективність прийняття рішень автоматизованими моніторинговими системами.

У науковому доробку [7] автори висвітлюють ключові технології для оцінювання безпеки моніторингових сенсорів, що використовуються в галузі водного господарства та гідроенергетики. Акцентується увага на важливості забезпечення надійності та точності сенсорів для ефективного моніторингу безпеки гідротехнічних споруд. Автори розглядають різні типи сенсорів, які застосовуються для моніторингу гребель, водосховищ, гідроелектростанцій тощо, включаючи датчики переміщення, тиску, температури, фільтрації та інші. Аналізуються фактори, які можуть впливати на точність вимірювань сенсорів, такі як умови навколишнього середовища, старіння матеріалів, електромагнітні завади. У статті представлені ключові методи оцінювання характеристик сенсорів, зокрема калібрування, випробування на стійкість до впливу факторів навколишнього середовища, виявлення відмов та аналіз причин. Пропонуються підходи до забезпечення надійності та стабільності роботи моніторингових систем на основі сенсорів. Крім того, розглядаються питання обробки та аналізу даних моніторингу з метою своєчасного виявлення потенційних загроз безпеці гідротехнічних споруд. Загалом стаття надає огляд ключових технологій для підвищення ефективності моніторингу безпеки об'єктів водного господарства та гідроенергетики за допомогою сенсорних систем.

У Статті [8] наведені новітні розробки та впровадження системи моніторингу ґрунтових вод з використанням smart-сенсорів. Автори представляють інноваційний підхід до збору та аналізу даних про стан ґрунтових вод з використанням бездротових сенсорних вузлів. Система складається з багатьох розподілених сенсорних вузлів, здатних вимірювати різноманітні параметри, такі як рівень води, температура, провідність та концентрація різних забруднювачів. Дані з сенсорів надсилаються до центрального вузла через бездротову мережу зв'язку. Центральний вузол агрегує та аналізує дані, забезпечуючи можливість моніторингу в режимі реального часу. Представлено результати пілотної реалізації системи та продемонстровано її ефективність у забезпеченні своєчасного виявлення змін у якості ґрунтових вод. Запропонований підхід може допомогти у розробці більш ефективних стратегій управління водними ресурсами та захисту навколишнього середовища.

У європейських країнах поверхневі води контролюються постійними моніторинговими станціями державних органів відповідно до Водної рамкової директиви (2000/60/ЄС) та національного водного законодавства [9]. Крім того, водопостачальні компанії також контролюють поверхневі чи ґрунтові води поблизу водозабору для очищення питної води, а також питну та стічну води. Частина моніторингу здійснюється датчиками, однак вони використовуються лише для базових фізико-хімічних параметрів, таких як витрата, каламутність, рН, температура,

електропровідність та тиск. Окрім цих параметрів і залежно від конкретних вимог на кожному об'єкті, також можуть контролюватися в режимі онлайн інші параметри, такі як хлор, фторид, нітрати, кількість частинок або загальний органічний вуглець.

За останні роки, зважаючи на побоювання можливого навмисного чи випадкового забруднення, що може досягти кінцевого споживача, системи раннього попередження стали прийнятною альтернативою для керівників водогосподарських об'єктів. Система раннього попередження є інтегрованою системою для онлайн-моніторингу, збору даних, аналізу, інтерпретації та передачі даних моніторингу, які потім можуть використовуватися для прийняття рішень достатньо рано, щоб захистити здоров'я населення та навколишнє середовище та мінімізувати непотрібне занепокоєння й незручності для громадськості. Для цього невеликі та середні підприємства випускають на ринок нові датчики для виявлення хімічних і мікробіологічних сполук, вимірюючи одиничні або комбінацію параметрів одночасно. Крім того, через велику кількість зібраних даних необхідне зручне та надійне програмне забезпечення для обробки всіх згенерованих даних і надання чіткої інформації кінцевому користувачеві.

Основні недоліки на даний момент для ефективного впровадження датчиків полягають у тому, що, з одного боку, відсутні стандарти для тестування на забруднення питної води як в ЄС, так і в США, а з іншого боку, існують слабкі зв'язки між доступними технологіями датчиків і нормативними актами з якості води.

В огляді [10] всебічно розглядаються різноманітні типи сенсорів для визначення якості води, що активно досліджуються та комерціалізуються на сучасному етапі. Основна увага приділяється новітнім розробкам у галузі оптичних, електрохімічних та біологічних датчиків для виявлення та кількісного визначення ключових забруднювачів води, таких як важкі метали, поверхнево-активні речовини, патогенні мікроорганізми та інші органічні сполуки. Автор детально аналізує принципи роботи, переваги, обмеження та сфери застосування різних типів сенсорів. Окремо висвітлюються перспективні підходи з використанням нанотехнологій, біоміметичних матеріалів та мікрофлюїдних систем для підвищення чутливості, селективності, швидкодії та зменшення вартості датчиків якості води. Розглядається питання розробки багатофункціональних сенсорних платформ та систем для одночасного виявлення кількох цільових аналітів. Обговорюються також виклики та можливі шляхи підвищення надійності, стабільності та стійкості датчиків в умовах польового застосування.

Збірка [11] присвячена новітнім розробкам у галузі «розумних» датчиків та систем для моніторингу якості води в режимі реального часу. Книга охоплює широкий спектр тем, від фундаментальних

принципів роботи різних типів сенсорів до практичних застосувань у контролі забруднення води. Автори розглядають перспективні технології, такі як нанохімічні та біосенсори, безпроводні сенсорні мережі, роботизовані системи відбору проб води та інтелектуальні алгоритми обробки даних. Особлива увага приділяється питанням підвищення точності, чутливості, селективності та довговічності сенсорів в умовах польового застосування. Збірка містить конкретні приклади успішного використання «розумних» датчиків для моніторингу різних забруднювачів води, у тому числі важких металів, пестицидів, нафтопродуктів, токсичних речовин та патогенних мікроорганізмів. Наведені практичні рекомендації щодо вибору, розміщення, калібрування та обслуговування сенсорних систем.

Підводячи підсумок можна стверджувати, що має місце актуальна потреба в розподілених автоматизованих моніторингових БСМ-системах контролю стану водних ресурсів, провідною частиною яких є мережа сенсорів безпосереднього вимірювання в реальному часі фізико-хімічних показників якості води. Водночас, використані в створених сучасних системах датчики деяких фізичних показників, наприклад електропровідності води, не дозволяють отримати достатній рівень однозначності щодо причин погіршення цих показників. На наш погляд, доповнення стандартної кондуктометрії, сенсорами електрохімічно-імпедансної спектроскопії (EIS-сенсорами) суттєвим чином розширює можливості таких систем. Так класичний інтегральний показник загальної електропровідності не дозволяє отримати ні кількісних ні якісних даних щодо природи окремих компонент сумішевих забруднювачів. Водночас більш складний за формою сигнал EIS-сенсорів відкриває можливість диференційованого визначення концентрації і рухливості кожної компоненти забруднювачів. Однак в сучасних відкритих джерелах відомості про використання таких сенсорів в системах екологічного моніторингу водних ресурсів майже не зустрічаються.

**Новизна.** Напідставі результатів моделювання фарадеевського механізму переносу електричного струму в водних розчинах електролітів для були отримані залежності електрохімічного імпедансу водних розчинів від концентрації і рухливості носіїв заряду. Запропонована методика визначення концентрації дисоційованих молекул в воді за умови невизначеності їх хімічного складу та часткова ідентифікація домішкових речовин за характерними фрагментами спектрів електрохімічного імпедансу. Зазначено, що кількісний аналіз форми EIS-сигналу дозволяє незалежне вимірювання концентрації та рухливості носіїв заряду в випадку присутності у воді забруднювачів невстановленої природи.

**Викладення основного матеріалу.** Електропровідність рідин, зокрема електропровід-

ність води підтримується іонами розчинених в ній електролітичних речовин. Згідно з механізмом перенесення зарядів в рідинному середовищі за Фарадеєм при постійному струмі вона дорівнює:

$$Y_s = F \sum_i z_i \mu_i n_i \quad (1)$$

тут і далі  $z_i, \mu_i, n_i$  – заряд, рухливість та концентрація  $i$ -го компонента розчинених електролітів відповідно;  $F$  – константа Фарадея.

Такий мультиплікативний зв'язок електропровідності з трьома незалежними характеристиками речовини не дозволяє здійснювати однозначний контроль за кількістю і міграцією небезпечних забруднювачів в водних середовищах. Проблема неоднозначності визначення концентрації неідентифікованих речовин методами кондуктометрії не може бути знята навіть для випадку, коли концентрація цільової речовини в розчині суттєво переважає концентрацію решти домішок і їх присутністю можна знехтувати. Так на рис. 1 наведено результати лабораторних досліджень електропровідності розчинів різних солей лужних металів. Вимірювання проводили на приготовлених в лабораторії розчинах вуглекислого калію ( $K_2CO_3$ ), вуглекислого натрію ( $Na_2CO_3$ ) та йодиду калію (KI).

Електропровідність розчинів міряли промисловим кондуктометричним сенсором з платиновими електродами – DJS-10. Цифрове оброблення сигналу сенсора здійснювали стандартним ARDUINO-модулем, який входив в комплект поставки сенсора.

Отримані результати переконливо свідчать про непридатність кондуктометрії для контролю концентрації цільових сполук невстановленого хімічного складу в водних розчинах. Так для йодистого та вуглекислого калію за одного і того ж значення електропровідності в 1.6 См різниця в концентрації іонів калію в розчині складає  $\approx 100$  ppm.

Така різниця в результатах пояснюється тим фактом, що інтегральна електропровідність визначається не тільки перенесенням позитивних іонів калію але і перенесенням негативних іонів кислотного залишку. При цьому рухливість іонів вуглецевої кислоти приблизно 1.2 рази менша за рухливість іонів йоду.

Для окремого визначення концентрації та рухливості іонів цільових сполук пропонується додатково вимірювати імпеданс водних розчинів. Оскільки імпеданс вимірюють за допомогою змінної напруги, металеві електроди сенсорів для його реєстрації можуть бути ізольовані від розчину електроліту. Такі сенсори ще називають безконтактними сенсорами. Конструкція безконтактних сенсорів має ту перевагу, що запобігає руйнуванню сенсорів в агресивних розчинах. Реєстрацію електрохімічного імпедансу розчинів електролітів в широкому діапазоні частот зондувального сигналу називають Електрохімічно-імпедансною спектроскопією (EIS).

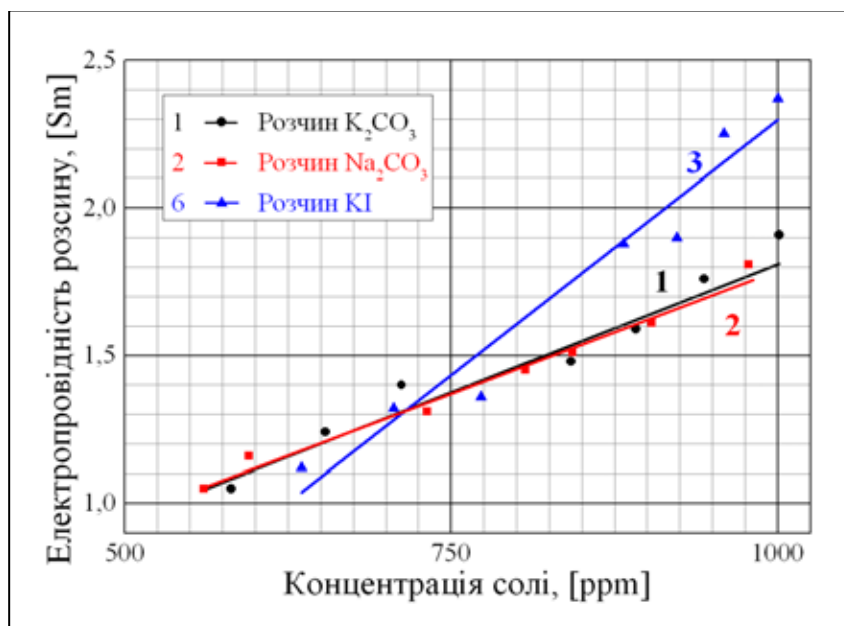


Рис. 1. Залежність електропровідності від концентрації водного розчину солей лужних металів. Криві 1, 2, 3 представляють залежності для розчину вуглекислого калію, вуглекислого натрію та йодиду калію – відповідно

EIS є достатньо поширеним методом аналізу електролітів. Проте його стандартні методики ґрунтуються на порівняльному аналізі експериментально вимірених ЕІ-спектрів досліджуваних речовин з еталонними спектрами. Вони потребують лабораторних умов, наявності відповідних баз даних і використання людського інтелекту. В зв'язку з цим метою даних досліджень є створення методів попереднього цифрового оброблення сигналу EIS-сенсорів, які на основі характерних особливостей форми ЕІ-спектрів визначатимуть окремо концентрацію і рухливість іонів забруднювачів в реальному часі. Саме ці дві диференціальні характеристики передаватимуться бездротовими каналами зв'язку до моніторингової системи. При цьому концентрація забруднювача правитиме за цільову характеристику стану водного середовища, а рухливість іонів буде маркером тої чи іншої речовини, за якою здійснюється контроль. Паралельні вимірювання інтегральної електропровідності води даватимуть додатковий контроль як стану водного середовища за стандартним показником, так і контроль достовірності отриманих результатів EIS і кондуктометрії.

Теорія імпедансу розчину електролітів в присутності фарадеевських реакцій за наявності масопереносу достатньо повно наведена в монографії [12]. Згідно з цією теорією, нелінійна залежність імпедансу розчинів електролітів від частоти поданої на електрохімічну комірку змінної напруги є наслідком сумісного протікання низки процесів. Це фарадеевське перенесення струму крізь рідинне середовище позитивними і негативними іонами розчинених електролітів. З цим процесом пов'язують омичний опір розчину. Саме його вимірюють

поширеними кондуктометричними сенсорами. Інший процес, це формування в околиці поверхні електродів подвійних шарів Нернста внаслідок окислювально відновлювальних (redox) процесів на поверхні електродів. З цим явищем пов'язують ємнісну компоненту імпедансу розчину. Процес перенесення електронів з поверхні електродів до redox-центрів в об'ємі розчинів пов'язують з імпедансом Фарадея. Для безконтактних сенсорів постачальниками електронів на поверхню електродів можуть бути негативні іони електролітів розчину, оскільки проникнення електронів з металевого електрода крізь діелектрик мало імовірно. Імпеданс Фарадея, в свою чергу, розглядають, як такий, що складається з переносу заряду, пов'язаного із кінетикою гетерогенного електрохімічного процесу за припущення, що redox-центри не адсорбуються на поверхні електрода і так званого імпедансу Варбурга (Warburg), який описує ускладнення транспорту маси redox-центрів до поверхні електрода внаслідок дифузійного характеру їх руху.

Загальний імпеданс електрохімічної комірки, в якій відбуваються всі перелічені процеси, може бути представлений еквівалентною електротехнічною схемою рис. 2, яку ще називають електричне коло Рендла.

Омичний опір розчину є величиною, оберненою до провідності  $Y_s$ . Для змінного струму вона дається співвідношенням:

$$Y_s = Fz\mu n + j\epsilon_{sl}\omega \quad (2)$$

тут і далі  $\epsilon_{sl}$  – діелектрична проникність розчину,  $\omega$  – частота змінної напруги, поданої на електрохімічну комірку,  $j$  – уявна одиниця.

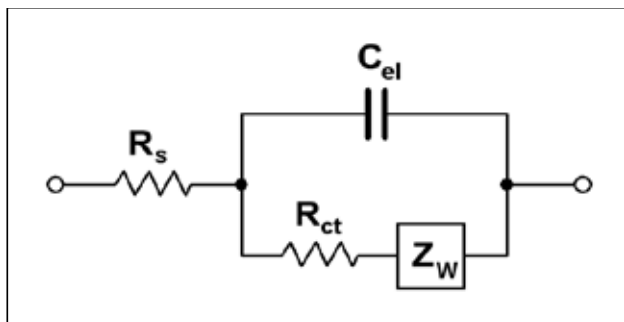


Рис. 2. Еквівалентна електротехнічна схема фарадеевської електрохімічної комірки.  $R_s$  – омичний опір розчину,  $C_{el}$  – електрична ємність приелектродних подвійних шарів Нернста,  $R_{ct}$  – омичний опір при-електродних подвійних шарів Нернста,  $Z_w$  – імпеданс Варбурга, пов'язаний з redox-процесами в при-електродному шарі

Ємність подвійного шару Нернста дається співвідношенням [13]:

$$C_{el} = \frac{\epsilon_{sl}\epsilon_0}{\delta_{dl}} \quad (3)$$

тут  $\epsilon_0$  – діелектрична проникність вакууму,  $\delta_{dl}$  – товщина подвійного шару Нернста. Згідно з [13]  $\delta_{dl} = \sqrt{\pi Dt}$ , де  $D$  – коефіцієнт дифузії редокс-центрів,  $t$  – характерний час життя подвійного шару.

Для змінної напруги частотою  $\omega$  він дорівнює  $\frac{2\pi}{\omega}$ . Враховуючи відоме співвідношення Ейнштейна, що зв'язує рухливість і коефіцієнт дифузії  $D = \frac{kT}{e} \mu$ , можна записати:

$$C_{el} = \sqrt{\frac{\epsilon_{sl}^2 \epsilon_0^2 e}{2\pi^2 \mu k T}} \omega^{1/2} \quad (4)$$

тут  $k$  – константа Больцмана,  $e$  – елементарний заряд,  $T$  – температура розчину.

Омичний опір подвійного шару Нернста і імпеданс Варбурга згідно з [12] можуть бути записані як:

$$R_{ct} = \frac{RT}{k^0 z^2 F^2 n} \quad (5)$$

$$Z_w = \sqrt{\frac{R^2 e}{2kF^4}} (1-j) \left( \frac{T\omega}{\mu z^4 n^2} \right)^{1/2} \quad (6)$$

тут  $k^0$  – константа швидкості редокс-реакцій,  $R$  – універсальна газова константа.

Всі співвідношення записані для електрохімічної комірки з одиничною площею поверхні електродів.

Для наведеної на рис. 2 еквівалентної схеми електрохімічної комірки Фарадея були проведені обчислення імпедансних спектрів в діапазоні частот від 0.001 до 1000 Гц при різних значеннях концентрації і рухливості носіїв заряду. Розрахунки імпедансу при зростанні концентрації розчину за сталої рухливості іонів електроліту проводили в межах значень кон-

центрації розчину від  $10^2$  до  $10^5$  ppm для значення рухливості  $10^{-4}$  м<sup>2</sup>/В·с. Розрахунки імпедансу при зростанні рухливості іонів електроліту за сталої концентрації розчину проводили в межах значень рухливості від  $10^{-4}$  до  $10^{-1}$  м<sup>2</sup>/В·с для значення концентрації  $10^2$  ppm.

Традиційно імпедансні спектри представляють у вигляді залежності реактивної складової імпедансу від активної складової. Таку форму представлення ЕІ-спектрів називають діаграмою Найквіста або годографом. Напрямок зростання аргументу годографу протилежний до напрямку зростання частоти змінної напруги.

В результаті розрахунків було отримано еволюцію форми годографу імпедансу електрохімічної комірки Фарадея внаслідок зміни концентрації носіїв заряду за сталої рухливості іонів електроліту у вигляді 3D-поверхні, представленої на рис. 3.

Перерізи цієї поверхні, паралельні площині імпедансів, представляють собою ЕІ-спектри у вигляді годографу для заданої концентрації носіїв заряду. Графік а) зображає еволюцію годографа від концентрації в однаковому масштабі відносних одиниць при різних концентраціях розчину електролітів. На графіку б) наведені годографи імпедансу активна і реактивна складові якого нормовані на своє максимальне значення при кожному значенні концентрації. Представлення а) зручне для аналізу чутливості імпедансу розчину до зміни відповідного фактору. Представлення б) відтворює зміну параметрів форми годографу від кількісних характеристик електроліту в розчині.

Як показали результати розрахунків, має місце сильна залежність і абсолютної величини імпедансу електрохімічної комірки від концентрації електроліту, і характерних ділянок його форми. Досліджуваний діапазон концентрації іонів електроліту можна умовно розділити на два інтервали. В межах концентрації від  $10^2$  до  $10^3$  ppm відбувається помітна зміна форми годографа із слабким зменшенням площі під ним. В межах концентрацій від  $10^3$  до  $10^5$  ppm форма годографа практично не міняється, в той час як площа під ним дуже швидко асимптотично прямує в 0.

Така поведінка імпедансу розчину електролітів може бути пояснена тим, що починаючи з певного значення концентрації носіїв заряду рідину можна розглядати як провідник, активним опором якого можна нехтувати порівняно з реактивним. В еквівалентній схемі (рис. 2) омичні опори  $R_s$  і  $R_{ct}$  треба замінити коротко замкненими з'єднаннями і форма годографу такої комірки визначатиметься виключно електричною ємністю подвійного шару Нернста, яка за нормальних умов залежить виключно від рухливості носіїв заряду і імпедансом Варбурга, в якому відношення реактивної компоненти до активної (кут нахилу прямої) також не залежить від концентрації носіїв заряду. Загальне зменшення площі під

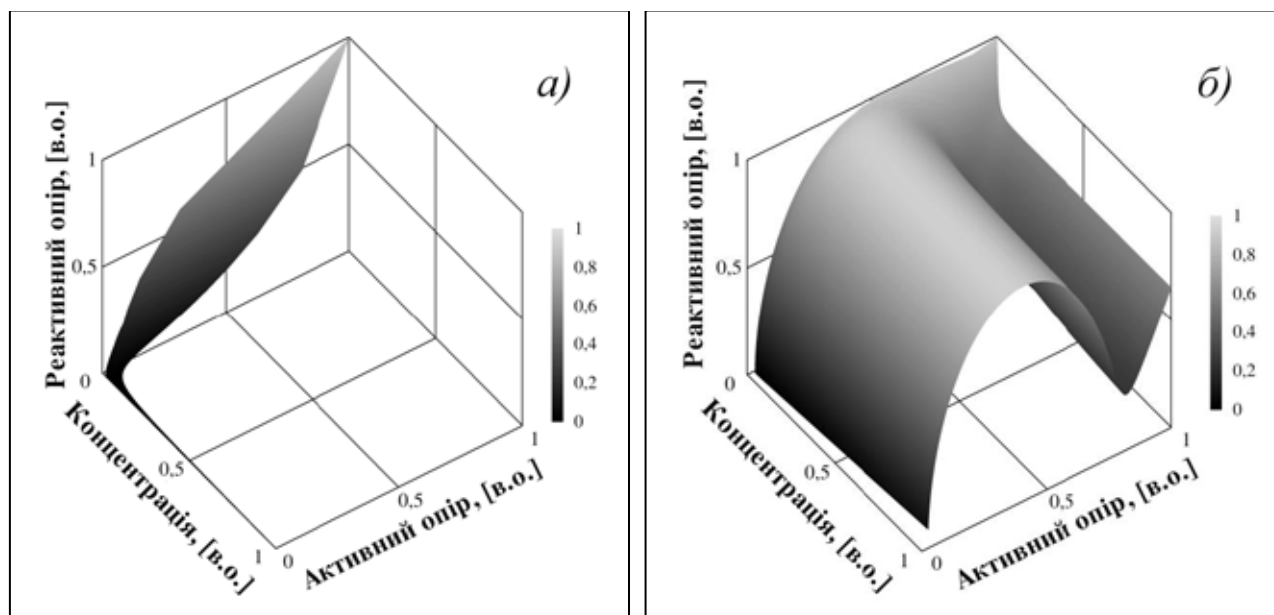


Рис. 3. Еволюція годографа імпедансу розчину електроліту при зростанні концентрації за сталої рухливості носіїв заряду в приведених до одиниці значеннях величин. Графік а) відповідає випадку нормування на максимум всього масиву перерізів. Графік б) – випадку нормування значень кожного перерізу на власні максимуми

годографом в даному випадку пояснюється тим, що модуль імпедансу Варбурга є обернено-пропорційним концентрації. За зростання її значення перенесення струму крізь подвійний шар Нернста визначною мірою забезпечується redox-центрами. Отже малою реактивною провідністю подвійного шару по відношенню до паралельно підключеного адмітансу Варбурга можна знехтувати. Тобто в області великих концентрацій адмітанс Варбурга шунтує ємність подвійного шару Нернста і площа під годографом зменшується обернено пропорційно концентрації носіїв заряду.

На рис. 4 представлено результати розрахунків еволюції годографу імпедансу електрохімічної комірки Фарадея при зростанні рухливості за сталої концентрації носіїв заряду. Графік а) зображає еволюцію годографа в однаковому масштабі відносних одиниць при різних значеннях рухливості іонів електроліту. На графіку б) наведені годографи імпедансу активна і реактивна складові яких нормовані на своє максимальне значення при кожному значенні рухливості.

Досліджуваний діапазон зростання рухливості іонів електроліту також має дві характерних ділянки. На інтервалі значень рухливості від  $10^{-4}$  до  $10^{-3} \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  має місце трансформація форми імпедансу електрохімічної комірки, подібна до тої, що відбувалась при зростанні концентрації. При цьому площа під годографом змінюється більш повільно ніж у випадку зростання концентрації. Що стосується ділянки в межах значень рухливості  $10^{-3}$  до  $10^{-1} \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  то на ній форма годографу не залежить від рухливості і не змінюється. При цьому ділянка годографа, пов'язана з імпедансом Варбурга, практично зникає. Площа

під кривою годографа також слабо чутлива до зміни рухливості. Така властивість може бути пояснена тим фактом, що із збільшенням рухливості омичний опір розчину і модуль імпедансу Варбурга прямують до нуля і вибувають з механізмів формування загального імпедансу. Фактично весь імпеданс електрохімічної комірки визначається паралельним  $RC$ -контуром, який складається з провідності і ємності подвійного шару Нернста. Провідність подвійного шару забезпечується перенесенням електронів і не залежить від рухливості redox-центрів, якими є іони електроліту. Ємність подвійного шару визначається виключно товщиною подвійного шару Нернста, а вона пропорційна корню квадратному від рухливості. Тобто залежність ємності а отже загального імпедансу такої  $RC$ -комірки від рухливості є слабкою. Загалом чутливість імпедансу до зміни рухливості значно менша ніж чутливість до зміни концентрації. Саме тому імпеданс як фізичну характеристику якості водних речурсів доцільніше використовувати для здійснення моніторингу саме концентрації забруднювачів а не для їх надійної ідентифікації.

Проте, встановлення характерних точок імпедансу розчину електролітів на годографі відкриває можливість отримання кількісної міри концентрації іонів електролітів в розчині і їх рухливості незалежно. Отже визначена рухливість іонів може бути маркером досліджуваної речовини, моніторинг концентрації якої здійснюють в реальному часі.

На рис. 5 наведено узагальнену діаграму Найквіста, на якій відмічені характерні точки, що дозволяють завдяки попередній цифровій обробці сигналу сенсора отримати відповідні величини.

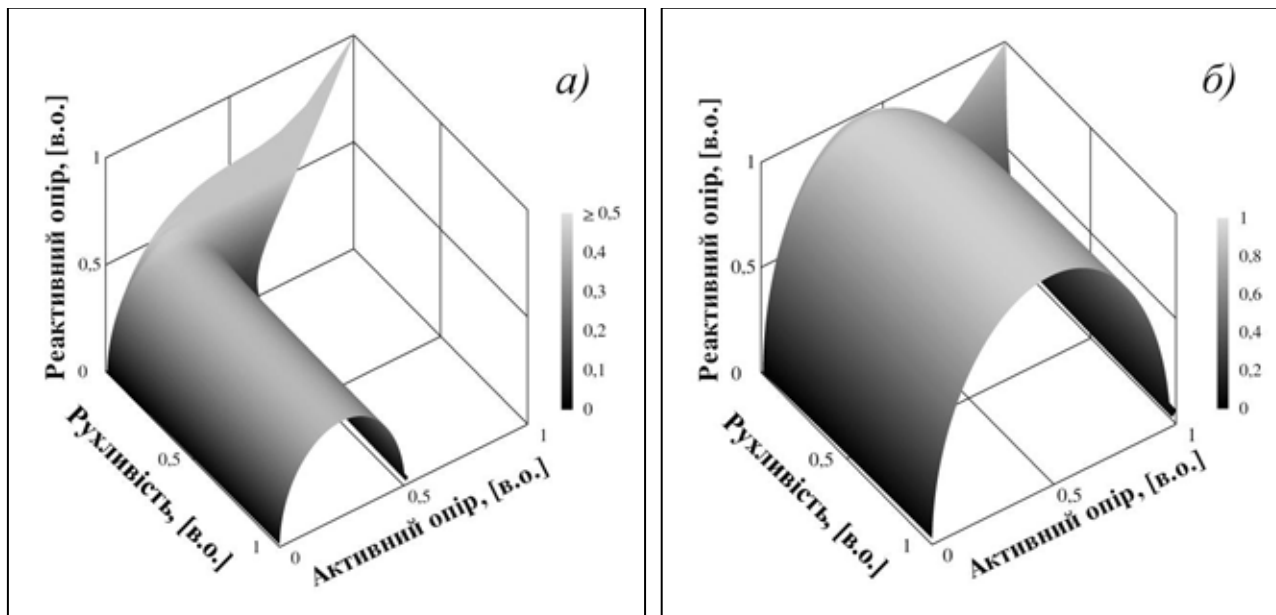


Рис. 4. Еволюція годографа імпедансу розчину електроліту при зростанні рухливості за сталої концентрації носіїв заряду в приведених до одиниці значеннях величин. Графік а) відповідає випадку нормування на максимум всього масиву перерізів. Графік б) – випадку нормування значень кожного перерізу на власні максимуми

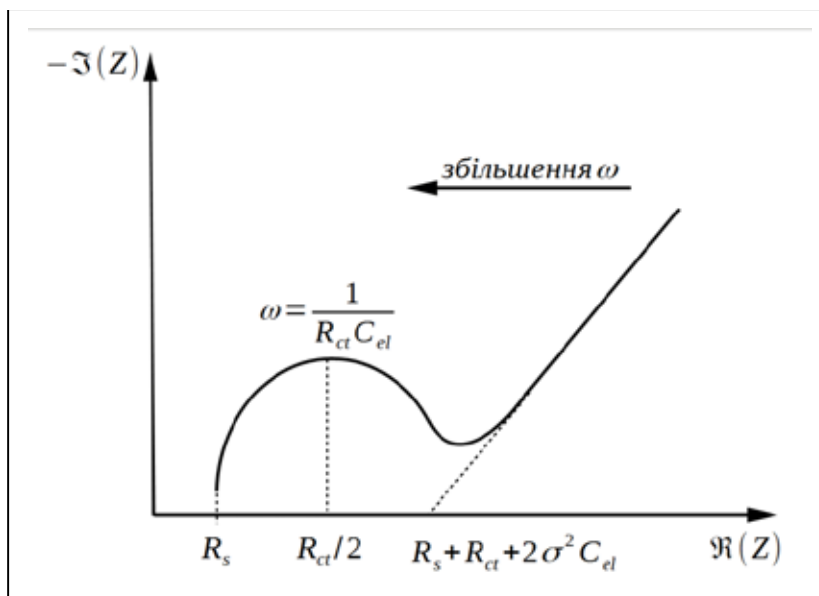


Рис. 5. Узагальнена діаграма Найквіста імпедансу електрохімічної комірки Фарадея

Узагальнена діаграма Найквіста має три характерних ділянки. Це ділянка, яку умовно можна назвати ділянкою Варбурга, оскільки вона визначається виключно імпедансом Варбурга. Вона розташована в область низьких частот. На практиці це, як правило частоти менші від 10–40 Гц. На діаграмі ділянка Варбурга представлена похилою прямою лінією під кутом 45° до осі координат.

Інша ділянка може бути названа ділянкою Нернста, оскільки вона відтворює імпеданс паралельного RC-контура, утвореного подвійним шаром

Нернста. На діаграмі вона розташована в високочастотній області звукового діапазону і вище: 10<sup>2</sup>–10<sup>4</sup> Гц. На діаграмі вона представлена фрагментом еліпса, півосі якого орієнтовані вздовж осей координат.

Так звана, перехідна ділянка гладко зв'язує ділянки Нернста та Варбурга і в частотному діапазоні імпедансу розташована між ними. Ця нелінійна ділянка не має теоретично визначеної апроксимаційної кривої і її характерні точки не беруть участь в запропонованих методах визначення концентрації і рухливості іонів електроліту.

Характерними точками годографа, на яких ґрунтується методика визначення концентрації та рухливості іонів електроліту є перетин вертикальної асимптоти, до якої прямує годограф в області високих частот, з віссю активних опорів. На рис. 5 вона позначена, як  $R_s$ . Ця точка відповідає значенню омичного опору розчину електролітів. Іншою характерною точкою є положення на осі активних опорів точки перетину півосей еліпсу, який апроксимує ділянку Нернста. На рис. 5 ця точка позначена як  $R_{ct}/2$  і відповідає половині значення омичного опору подвійного шару Нернста. Важливою особливістю цієї характерної точки є той факт, що частота зондувального сигналу для цієї точки збігається з резонансною частотою  $RC$ -контур, утвореного подвійним шаром Нернста:  $\omega = \frac{1}{R_{ct}C_{el}} \equiv \omega_{rc}$ ;

Останньою характерною точкою, яку легко визначити на основі теорії формування імпедансу розчинів електроліту, є точка перетину продовження прямої лінії ділянки Варбурга з віссю активних опорів. На узагальненій діаграмі вона позначена як  $R_s + R_{ct} + 2\sigma^2 C_{el}$ , де  $\sigma = \sqrt{\frac{R^2 T e}{2k\mu n^2 z^4 F^4}}$ .

Оскільки експериментальне вимірювання ділянки Варбурга пов'язане з достатньо складними вимірюваннями слабо змінюваних сигналів, а за певних значеннях рухливості іонів взагалі відсутня на годографі, для вимірювань в польових умовах остання характерна точка носить виключно академічний характер. В запропонованій методиці ця характерна точка не використовується. Виходячи із співвідношень (2, 5) можна показати, що:

$$n = \frac{RT}{k^0 z^2 F^2 R_{ct}} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{R_{ct} k^0 z F}{R_s RT} \quad (7)$$

Таким чином при обробленні сигналу безконтактного EIS-сенсора за накопиченими значеннями його відгуку на серію зондувальних гармонічних сигналів в діапазоні частот від  $10^2$  до  $10^5$  Гц необхідно обчислити реактивну і активну компоненти імпедансу робочого об'єму сенсора для кожної частоти вказаного діапазону. Розрахувати параметри апроксимаційної кривої для наближення експериментальних даних за критерієм найменших квадратів. З апроксимаційної кривої визначити положення характерних точок  $R_s$  і  $R_{ct}/2$ . За отриманими значеннями та формулами (6, 7) розрахувати значення цільових характеристик розчину. Варто зауважити, що і рухливість і концентрація за запропонованою методикою визначатимуться з точністю до заряду іонів електролітів  $z$  і константи швидкості redox-процесів  $k^0$ . Проте, визначивши з масиву експериментальних даних і апроксимаційної кривої резонансну частоту

подвійного шару Нернста можна отримати вираз для рухливості, який не потребує знання заряду іонів і константи швидкості:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{sl}^2 \varepsilon_0^2 e}{2\pi^2 kT} R_{ct}^2 \omega_{rc}^3 \quad (8)$$

А скориставшись співвідношенням (7) визначити добуток константи швидкості redox-процесів на валентність іонів електроліту:

$$k^0 z = \frac{\varepsilon_{sl}^2 \varepsilon_0^2 e R}{2\pi^2 kF} R_s R_{ct} \omega_{rc}^3 \quad (9)$$

Таким чином остаточно співвідношення для розрахунку концентрації та рухливості:

$$\mu = \gamma R_{ct}^2 \omega_{rc}^3 \quad (10)$$

$$n = (Fz\mu R_s)^{-1}$$

де  $\gamma = \frac{\varepsilon_{sl}^2 \varepsilon_0^2 e}{2\pi^2 kT}$  – константа, яка залежить від параметрів середовища і не залежить від хімічних властивостей іонів електроліту. Правда концентрація в співвідношеннях (10) все ще залежить від заряду іонів електроліту, але однозначне встановлення значення маркера речовини дозволяє здійснювати надійний моніторинг концентрації забруднювача не за абсолютним значенням концентрації, а, наприклад, за добутком концентрації на валентність. Взяти проби води в контрольних точках моніторингу, можна лабораторним хімічним аналізом води встановити тип забруднювача, і таким чином відновити абсолютні значення концентрації в експериментально визначених просторово-часових розподілах відносних даних. При цьому прив'язку відповідних розподілів до ідентифікованих лабораторним шляхом речовин необхідно здійснювати за абсолютним значенням рухливості, яка запропонованим методом визначається точно.

**Головні висновки.** Як наслідок моделювання процесів перенесення струмів водними розчинами електролітів за умови наявності окислювально – відновлювальних процесів було показано перевагу використання безконтактних сенсорів електрохімічного імпедансу над традиційними кондуктометричними сенсорами. Встановлено, що використання сенсорів електрохімічного імпедансу дозволяє незалежно вимірювати абсолютне значення рухливості і абсолютне значення добутку концентрації на заряд іонів. В результаті аналізу критичних точок годографа імпедансу водного розчину електролітів була запропонована методика попереднього оброблення сигналу безконтактного емнісного сенсора для реєстрації рухливості і відносної концентрації іонів електроліту в режимі реального часу. Зазначено, що додаткове оснащення бездротових моніторингових систем якості водних ресурсів мережею безконтактних інтелектуальних сенсорів електрохімічного імпедансу суттєвою мірою вдосконалив такі сис-



теми дозволяють здійснювати моніторинг за окремими компонентами забруднювачів водних ресурсів.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати виконаних теоретичних досліджень – важливе підґрунтя для створення безконтактних інтелектуальних сенсорів електрохіміч-

ного імпедансу. У найближчій перспективі можлива змога провести експериментальні дослідження дослідно-конструкторських прототипів таких сенсорів з метою втілення, викладених в статті теоретичних положень, у практичні інженерно-технічні розробки.

#### Література

1. WaterSentinel Online Water Quality Monitoring as an Indicator of Drinking Water Contamination//EPA, Draft, Version 1.0, December 12, 2005
2. Real-Time Water Quality Monitoring: Benefits for decision making / Thomas Saleh, Madeline Stanley//2023 International Institute for Sustainable Development, IISD-ELA REPORT
3. Space-earth based Integrated Monitoring System for Water Environment/Rei LIU, Tao XIE, Qiao WANG, Honghua. LI//Procedia Environmental Sciences 2 (2010) 1307–1314
4. Advancement of Environmental Monitoring System Using IoT and Sensor: A Comprehensive Analysis/Suprava Ranjan Laha\*, Binod Kumar Pattanayak and Saumendra Pattnaik//AIMS Environmental Science, 9(6): 771–800.
5. Design of a Water Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks/Peng Jiang 1, Hongbo Xia, Zhiye He and Zheming Wang//Sensors 2009, 9, 6411–6434.
6. O’Flynn, B.; Martínez-Català, F.; Harte, S.; O’Mathuna, C.; Cleary, J.; Slater, C.; Regan, F.; Diamond, D.; Murphy, H. SmartCoast: A Wireless Sensor Network for Water Quality Monitoring. 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks, 2007. LCN 2007, Dublin, Ireland, October 15–18, 2007; pp. 815–816.
7. Key techniques for evaluation of safety monitoring sensors in water conservancy and hydropower engineering /Yan XIANG, Lin WANG, Zhan-jun WANG, Hui YUAN, Yun-jie GUAN//Water Science and Engineering, 2012, 5(4): 440-449
8. Ground Water Monitoring using Smart Sensors/Srikanth Anumalla, Byrav Ramamurthy, David C. Gosselin, Mark Burbach//EEE International Conference on Electro Information Technology, 2005, Digital Object Identifier: 10.1109/EIT.2005.1626962
9. Jordi Raich Review of sensors to monitor water quality//Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013, p.p. 33, ISBN 978-92-79-34618-7.
10. Peter Kruse, Review on Water Quality Sensors//Peter Kruse 2018 J. Phys. D: Appl. Phys. 51 203002
11. Subhas Chandra Mukhopadhyay and Alex Mason Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring//Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, p.p. 285
12. Andrzej Lasia Electrochemical Impedance Spectroscopy and its Applications//© Springer Science+Business Media New York, 2014, p.p. 369, ISBN 978-1-4614-8932-0, DOI 10.1007/978-1-4614-8933-7.
13. Geometrical Insights of Transient Diffusion Layers/Ángela Molina, Joaquín González, Francisco Martínez-Ortiz, and Richard G. Compton//J. Phys. Chem. C 2010, 114, 4093–4099, DOI10.1021/jp9115172.

---

---

# ЕКОЛОГІЯ УРБАНІСТИЧНИХ СИСТЕМ

---

---

УДК 504.3.054

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.7>

## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ БЕРДИЧІВСЬКОГО РАЙОНУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

Романчук Л.Д.<sup>1</sup>, Кравчук Т.В.<sup>1</sup>, Можарівська І.А.<sup>1</sup>, Романчук Л.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

<sup>2</sup>Житомирська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»  
пр. Миру, 31, 10020, м. Житомир

ludmilaromanchuk14@gmail.com, taja\_slivinsjka@ukr.net,  
innamozharivska@gmail.com, lizadomanchuk@gmail.com

Атмосферне повітря є основним життєво важливим елементом природного середовища. Як природний об'єкт повітря являє собою певну суміш газів, що містяться за межами виробничих, жилих та інших приміщень.

Забруднення басейну атмосферного повітря є особливо актуальним питанням сьогодення. Забруднення атмосфери є однією з основних екологічних проблем України. Бердичівський район відноситься до районів Житомирської області з середнім рівнем розвитку промисловості. Тому наукові дослідження з питання забруднення атмосферного повітря є актуальними.

На даний час основними забруднювачами повітря є основні галузі промисловості: підприємства металургійного комплексу, нафтохімічна промисловість, нафтовидобувна промисловість, теплоенергетика, виробництво будівельних матеріалів, автотранспорт тощо [1, с. 14].

Екологічна оцінка забруднення атмосферного повітря Бердичівського району Житомирської області від різних джерел викидів проведена на основі статистичних даних, аналіз та статистична обробка обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферу, та їх розподіл за хімічним складом та джерелами викидів [2].

З 2018 по 2020 роки у Бердичівському районі відмічалось зростання щільності викидів в атмосферне повітря у розрахунку на 1 км<sup>2</sup> з 2448,7 т до 2511,5 т. Обсяг викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел зростали з 2018 по 2020 роки з 59,97 тис. т до 63,11 тис. т. Результати моніторингу обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних та стаціонарних джерел забруднення разом, свідчать, що даний показник зріс на 1,94 тис. т. Дослідження обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря району зменшився у 2020 році порівнюючи із 2018 роком у зв'язку зі зменшенням обсягу викидів від стаціонарних джерел пересувних джерел області на 3,18 %.

Обсяг викидів м. Житомира, м. Бердичева, м. Коростеня, м. Малина та м. Звягеля у 2020 р. склав 3,041 тис. т викидів, що було на 1,77 % більше від суми 2018 року усіх викидів в межах Житомирської області. Викиди м. Бердичева у 2020 р. склали 0,145 тис. т, що склало 0,47 % обсягу викидів забруднюючих речовин від усіх джерел забруднення в межах Житомирської області [3]. *Ключові слова:* повітряний басейн, стаціонарні джерела, забруднюючі речовини, оксиду вуглецю, сполуки азоту, діоксид азоту, екологічна безпека, екологія.

**Ecological assessment of the atmospheric air condition in Berdychiv district of Zhytomyr region based on statistical data.**  
**Romanchuk L., Kravchuk T., Mozharivska I., Romanchuk L.**

Atmospheric air is the main vital element of the natural environment. As a natural object, air is a certain mixture of gases contained outside industrial, residential and other premises.

Pollution of the air basin is a particularly pressing issue today. Air pollution is one of the main environmental problems in Ukraine. Berdychiv district belongs to the districts of Zhytomyr region with an average level of industrial development. Therefore, scientific research on air pollution is relevant.

At present, the main air pollutants are the main industries: metallurgical complex enterprises, petrochemical industry, oil production industry, heat and power industry, production of construction materials, motor transport, etc [1, p. 14].

The environmental assessment of air pollution in Berdychiv district of Zhytomyr region from various emission sources was carried out on the basis of statistical data, analysis and statistical processing of the volumes of pollutant emissions into the atmosphere, and their distribution by chemical composition and emission sources [2].

From 2018 to 2020, Berdychiv district recorded an increase in air emissions per 1 km<sup>2</sup> from 2448.7 tonnes to 2511.5 tonnes. The volume of pollutant emissions from mobile sources increased from 59.97 thousand tonnes to 63.11 thousand tonnes from 2018 to 2020. The results of monitoring of pollutant emissions from mobile and stationary sources of pollution together show that this indicator increased by 1.94 thousand tonnes. The study of pollutant emissions into the air of the district decreased in 2020 compared to 2018 due to a decrease in emissions from stationary sources of mobile sources in the region by 3.18%.

In 2020, the emissions of Zhytomyr, Berdychiv, Korosten, Malyn and Zvyagel amounted to 3,041 thousand tonnes of emissions, which was 1.77% more than in 2018 of all emissions within Zhytomyr region. The emissions of Berdychiv city in 2020 amounted to

0.145 thousand tonnes, which was 0.47 % of the total emissions of pollutants from all sources of pollution within the Zhytomyr region [3]. *Key words:* air basin, stationary sources, pollutants, carbon monoxide, nitrogen compounds, nitrogen dioxide, environmental safety, ecology.

**Постановка проблеми.** Забруднення басейну атмосферного повітря є особливо актуальним питанням сьогодення. Забруднення атмосфери є однією з основних екологічних проблем України. Бердичівський район відноситься до районів Житомирської області області з середнім рівнем розвитку промисловості. Тому наукові дослідження з питання забруднення атмосферного повітря є актуальними.

Забруднення повітря впливає на склад і властивості повітря, що мають негативну дію на самопочуття та здоров'я населення, тварин, стан рослинного покриву та екосистеми в цілому. Забруднення полягає у викиді в атмосферу твердих частинок, хімічних речовин та біологічних матеріалів, що здатні завдавати шкоди для людини та інших живих організмів. Найчастіше ефект забруднювачів є непрямим, а тому проявляється лише через деякий час, до прикладу, певні речовини зменшують товщину озонового шару, що може нести небезпеку для більшості земних екосистем [1, с. 14; 4, с. 30].

На даний час основними забруднювачами повітря є основні галузі промисловості: підприємства металургійного комплексу, нафтохімічна промисловість, нафтовидобувна промисловість, теплоенергетика, виробництво будівельних матеріалів, автотранспорт тощо.

**Актуальність дослідження.** Атмосферне повітря є основним життєво важливим елементом природного середовища. Як природний об'єкт повітря являє собою певну суміш газів, що містяться за межами виробничих, жилих та інших приміщень.

Атмосферне повітря, як частина глобальної екосистеми, виконує декілька основних важливих функцій: захист живих організмів від метеоритів та впливу космічних випромінювань; регулює добові та сезонні коливання температури; є депо газів, які приймають участь у фотосинтезі та забезпечують дихання; є носієм тепла й вологи; забезпечує низку складних екзогенних процесів (діяльність природних вод, вивітрювання гірських порід, льодовиків, мерзлоти тощо) [5].

Основними компонентами атмосфери є: азот – 78,08%, кисень – 20,95 % та аргон – 0,93 %. Дуже важливу роль здійснюють і так звані малі домішки: метан, вуглекислий газ тощо. Такий хімічний склад атмосферного повітря є результатом життєдіяльності живих організмів [6, с. 51].

Атмосферне повітря є основним елементом природного середовища існування живих організмів, і як природна умова життя. Повітря є також дуже цінним економічним природним ресурсом, елементи, котрі входять до його складу, застосовуються для виробництва продукції у різних сферах

діяльності, в тому числі у металургійній та хімічній промисловості, енергетиці, машинобудуванні та ін. До складу повітря входить ряд основних компонентів (азот, криптон, аргон, ксенон та ін.). Основними природними забруднювачами повітря є вивітрювання гірських порід, вулканічна діяльність, вітрова ерозія, дим від лісових і степових пожеж та пилок квіткових рослин [7, с. 279].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглядаючи показники забруднення атмосферного повітря Житомирської області, відмічалось зменшення загальної кількості шкідливих викидів від стаціонарних джерел в повітря в 2020 році, порівнюючи з минулими роками. Загальний обсяг викидів від стаціонарних джерел у 2020 році становив 11,5 тис. т., що на 6,8 % менше ніж у 2019 році [8, с. 235].

Водночас в області, як і в цілому по Україні, зафіксоване значне збільшення обсягів шкідливих викидів в атмосферне повітря від пересувних забруднюючих джерел, що в 2020 році скли 61,067 тис. т. – на 2,282 тис. т або 4,16 % більше ніж в минулому році [9].

Основними антропогенними джерелами забруднення атмосферного повітря належать енергетичне та теплове устаткування, обробна та добувна галузь господарства, та всі види транспортних засобів [11, с. 23]. Головною причиною забруднення повітря є недостатній рівень оснащення джерел викидів газоочисного обладнання. Також негативно на забруднення впливає відсутність установок для вловлювання дрібних газоподібних сполук, а саме: діоксиду азоту, діоксиду сірки, летючих органічних сполук, оксиду вуглецю та інших [10, с. 15].

**Мета роботи.** Екологічна оцінка забруднення атмосферного повітря Бердичівського району Житомирської області від різних джерел викидів проведена на основі статистичних даних, аналіз та статистична обробка обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферу, та їх розподіл за хімічним складом та джерелами викидів.

**Результати дослідження.** З 2018 по 2020 роки у Бердичівському районі відмічалось зростання щільності викидів в атмосферне повітря у розрахунку на 1 км<sup>2</sup> з 2448,7 т до 2511,5 т. Динаміку викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення Бердичівського району у період 2018-2020 років показано на рис. 1.

Обсяг викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел зростали з 2018 по 2020 роки з 59,97 тис. т до 63,11 тис. т. Результати моніторингу обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних та стаціонарних дже-



Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря Бердичівського району від стаціонарних та пересувних джерел забруднення

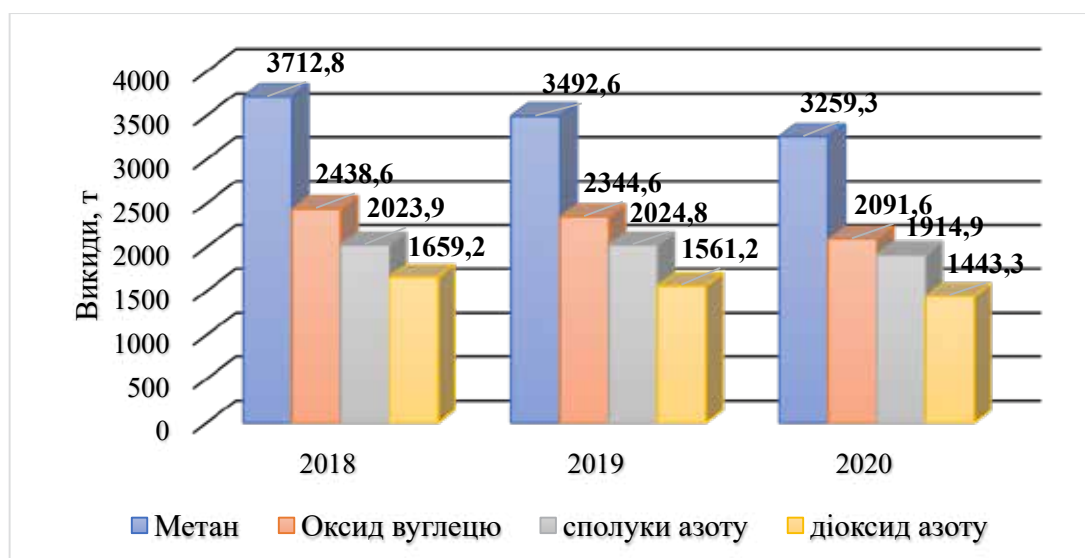


Рис. 2. Обсяги викидів основних забруднюючих речовин та оксиду вуглецю від стаціонарних джерел у 2018-2020 роках

рел забруднення разом, свідчать, що даний показник зріс на 1,94 тис. т.

Результати досліджень основних забруднюючих речовин та оксиду вуглецю в атмосферне повітря м. Бердичева та Бердичівського району у 2018-2020 роки від стаціонарних джерел забруднення показані на рис. 2.

Обсяги викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел загалом відповідають динаміці викидів від усіх джерел забруднення. Всі досліджувані показники мають тенденцію до зниження впродовж 2018-2020 років. Так, обсяг викидів метану за три роки знизився на 453,5 т, оксиду вуглецю – на 347 т, сполуки азоту – на 109 т, та діоксид азоту зменшився на 215,9 т. В загальному, обсяги викидів від стаціонарних джерел з 2018 року до 2020 року зменшились на 1125,4 т.

Дослідження обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря району зменшився у 2020 році порівнюючи із 2018 роком у зв'язку зі зменшенням обсягу викидів від стаціонарних джерел пересувних джерел області на 3,18 %.

Розподіл обсягу викидів забруднюючих речовин як від стаціонарних так і від пересувних джерел забруднення для найбільших міст Житомирської області (м. Житомир, м. Бердичів, м. Коростень, м. Малин та м. Звягель) у 2018 році показано на рис. 3.

Частка м. Звягель становить 2,66 % серед них після міст Коростень (5,19 %) і Малин (2,95 %). Найбільший обсяг викидів припадає на м. Житомир (13,69%). Обсяг викидів м. Житомира, м. Бердичева, м. Коростеня, м. Малина та м. Звягеля у 2018 р.

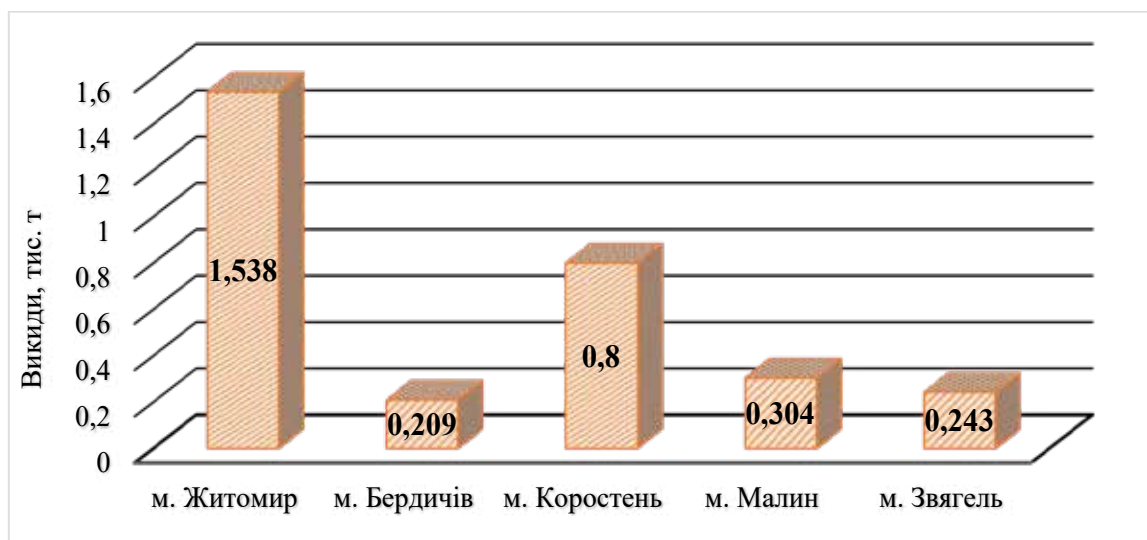


Рис. 3. Обсяг викидів забруднюючих речовин міст Житомирської області у 2018 році

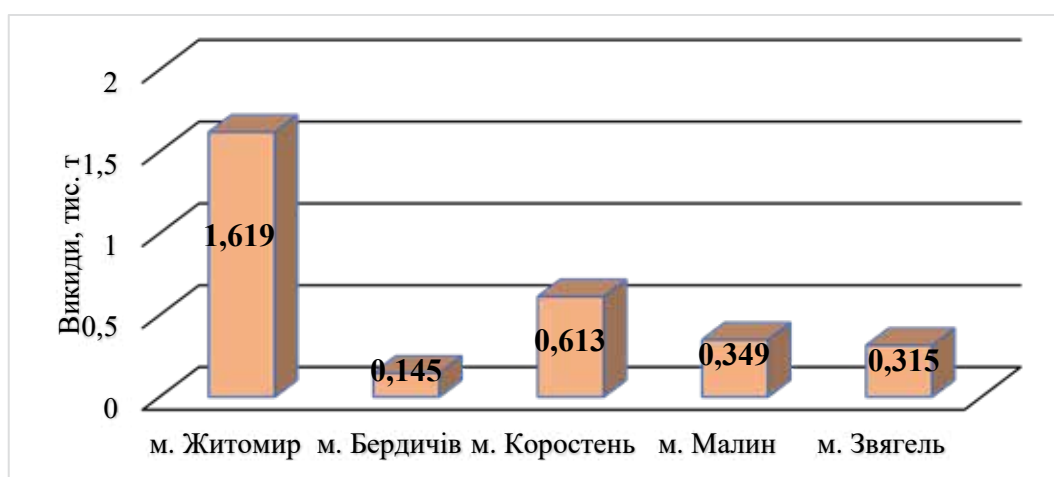


Рис. 4. Обсяг викидів забруднюючих речовин міст Житомирської області у 2020 році

складав 3, 094 тис. т викидів, що складало 25,72 % від суми усіх викидів в межах Житомирської області. На частку м. Бердичева у 2018 р. припадало 1,23 % обсягу викидів забруднюючих речовин від усіх джерел забруднення в межах Житомирської області.

Результати досліджень обсягу викидів великих міст Житомирської області у 2020 році, показали що у м. Малин та м. Звягель спостерігалось збільшення кількості викидів забруднюючих речовин на 3,5 % та 22,8 % порівняно з 2018 роком (рис. 4).

Обсяг викидів м. Житомира, м. Бердичева, м. Коростеня, м. Малина та м. Звягеля у 2020 р. склав 3,041 тис. т викидів, що було на 1,77 % більше від суми 2018 року усіх викидів в межах Житомирської області. Викиди м. Бердичева у 2020 р. склали 0,145 тис. т, що склало 0,47 % обсягу викидів забруднюючих речовин від усіх джерел забруднення в межах Житомирської області.

Результати досліджень свідчать, що основними забруднювачами атмосферного повітря Бердичівського району за видами економічної діяльності є лісове, сільське та рибне господарство – понад 30 % від загального обсягу; переробна промисловість – понад 25 %, розроблення кар'єрів – 20 %, транспорт, громадський транспорт, поштова та кур'єрська діяльність – близько 10 %, показано на рис. 5.

Незначну частку в загальному рівні забруднення займає галузь постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря, а також Державне управління й оборона; і складає близько 4,08 % та 3,54 % від загальної частки.

Проте галузі невиробничої сфери, такі як охорона здоров'я, освіта, надання комунальних послуг, фінансова діяльність приносить найменший вплив на якість атмосферного повітря Житомирської області.

**Висновки.** Результати дослідження показали, що з 2018 по 2020 роки у Бердичівському районі відмі-



Рис. 5. Основні забруднювачі Бердичівського району за видами економічної діяльності

чалось зростання щільності викидів в атмосферне повітря у розрахунку на 1 км<sup>2</sup> з 2448,7 т до 2511,5 т. Обсяг викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел зростали з 2018 по 2020 роки з 59,97 тис. т до 63,11 тис. т., тоді як обсяги викидів від стаціонарних джерел з 2018 року до 2020 року зменшилися на 1125,4 т.

Обсяги викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел загалом відповідають динаміці

викидів від усіх джерел забруднення. Всі досліджувані показники мають тенденцію до зниження впродовж 2018–2020 років. Так, обсяг викидів метану за три роки знизився на 453,5 т, оксиду вуглецю – на 347 т, сполуки азоту – на 109 т, та діоксид азоту зменшився на 215,9 т. В загальному, обсяги викидів від стаціонарних джерел з 2018 року до 2020 року зменшилися на 1125,4 т.

### Література

- Захаров Є. П. Комплексний вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище України. *Екологічний вісник*. – 2010. – № 3. – С. 14–16.
- Громадський моніторинг якості повітря ЛУН Місто AIR. [https://fileview.fwdcdn.com/?url=https://mail.ukr.net/api/public/file\\_view/list%3Ftoken%3DCuin9oO\\_BWAgIrgHpGIESwUiB0WFhsLtnr1RbmxNWGC1rpaTNQlgzGalvXw8Xboaye\\_Y9NPXQcifDBmcWKdX04QYVyuWQQ:VRSQQpXHtKyUVVQB%26%3D1708202815325&default\\_mode=view&lang=uk#start=2](https://fileview.fwdcdn.com/?url=https://mail.ukr.net/api/public/file_view/list%3Ftoken%3DCuin9oO_BWAgIrgHpGIESwUiB0WFhsLtnr1RbmxNWGC1rpaTNQlgzGalvXw8Xboaye_Y9NPXQcifDBmcWKdX04QYVyuWQQ:VRSQQpXHtKyUVVQB%26%3D1708202815325&default_mode=view&lang=uk#start=2).
- Світове забруднення повітря: індекс якості повітря в реальному часі. <https://waqi.info/>.
- Бондар О.І., Машков О.А., Міхєєв В.С. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. К.: ДЕА, 2020. № 3(30), 2020, с. 30–38.
- Монітори якості повітря Gaia – серія продуктів <https://aqicn.org/gaia/>.
- Сагайдак Д.А., Боголюбов В.М. Аналіз систем моніторингу атмосферного повітря в місті Києві. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. К.: ДЕА, 2024. № 1(52), 2024, с. 51–58.
- Терещук О. С. Вплив відвалів гірничодобувної промисловості на навколишнє середовище Нововолинського гірничопромислового району. *Вісник Львівського університету. Сер. географ.* – 2007. – Вип. 34. – С. 279–285.
- Боголюбов В.М., Голуб Б.Л. Інформаційно-аналітична система оцінювання стану атмосферного повітря. *Сталий розвиток – XXI століття*. Дискусії 2021: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. Національний університет «Києво-Могилянська академія». Київ, 2021. – 527 с. С. 235–246.
- Спостереження за забрудненням атмосферного повітря в м.Києві. URL <http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/diialnist/khimichnezabrudnennia/sposterezhennia-za-zabrudnenniam-atmosfernoho-povitria-v-mkyievi/>.
- Крайнюкова А. М. Біотестування – метод оцінки токсичних властивостей компонентів природного середовища та джерел їх забруднення. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. Харків: Райдер, 2006. С. 15–33.
- Масловська Л. Ц., Савчук В. А. Оцінка результативності і ефективності виробництва органічної агропродовольчої продукції. *Агросвіт*. 2016. № 6. С. 23–28.
- Пацева І. Г., Кагукіна А.М. Адаптація до зміни клімату міста Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 3 С. 66–72.
- Пацева І. Г., Кагукіна А.М. Луцьова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51) С. 156–159.

## ПІЗНАННЯ ПРОВІНЦІЙНИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ ЧЕРЕЗ ГРАВІТАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЇХ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Руденко С.В.<sup>1</sup>, Руденко В.П.<sup>2</sup>, Руденко С.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
вул. Коцюбинського, 2, 58002, м. Чернівці

<sup>3</sup>Донецький національний університет імені Василя Стуса  
вул. 600-річчя, 21, 21021, м. Вінниця

[rudenkostepan@gmail.com](mailto:rudenkostepan@gmail.com), [v.rudenko@chnu.edu.ua](mailto:v.rudenko@chnu.edu.ua), [rudenko.prof.eco@gmail.com](mailto:rudenko.prof.eco@gmail.com)

Досліджуються гравітаційні моделі природно-ресурсного потенціалу (ПРП) провінційних екосистем України. ПРП екосистем розглядається як сукупна продуктивність їх природних ресурсів-засобів виробництва і предметів споживання, що виражається в їх суспільній споживній вартості. ПРП екосистем України, що охоплює мінеральні, водні, земельні, лісові, фауністичні, природні рекреаційні ресурси, оцінений на 1.01.2022 р. Стверджується, що одним із важливіших підходів екосистемного аналізу у з'ясуванні наявних та прихованих взаємозв'язків між ПРП провінційних екосистем України є використання його так званих «гравітаційних моделей», моделей, що описуються рівняннями залежності тяжіння між двома тілами, виходячи з їх маси та відстані між ними. Для кількісного визначення меж рівноваги між полями тяжіння ПРП провінційних екосистем України пропонується «гравітаційна формула» Вільяма Джона Рейлі, у якій за «масу» взята величина природно-ресурсного потенціалу екосистем (у цінах 2015–2021 рр.), а відстанню є віддаль між геометричними центрами цих екосистем. Встановлені межі рівноваги, «точки розвитку», «граничні лінії між зонами впливу» ПРП чотирнадцятих провінційних екосистем України. Так, зокрема, констатується, що межі рівноваги у взаємодії ПРП пролягають на відстані 284 км від ядра Донецької до ядра Причорноморської екосистеми і на відстані 168 км від ядра Причорноморської до ядра Донецької екосистеми. «Гранична лінія» між зонами впливу ПРП Східно-Української та ПРП Причорноморської екосистеми проходить по 257 км, в той час як потенціал Причорноморської має «точку розриву» на 163 км стосовно потенціалу Східно-Української провінційної системи. ПРП Західно-Української екосистеми має вплив на ПРП Поліської екосистеми на відстані у 119 км, у той час потенціал Поліської екосистеми урівноважується у своїй зоні впливу на Західно-Українську екосистему на 126 км. Такі залежності пояснюються впливом одна на одну величини («маси») ПРП провінційних екосистем. *Ключові слова:* природно-ресурсний потенціал, провінційні екосистеми України, гравітаційні моделі Вільяма Рейлі.

### **Cognition of provincial ecosystems of Ukraine through gravity models of their nature-resource potential. Rudenko S., Rudenko V., Rudenko S.**

Gravity models of nature-resource potential (NRP) possessed by provincial ecosystems of Ukraine have been put under analysis. The NRP of the ecosystems is considered as total productivity of their nature resources – means of production and items of consumption expressed in their social use value. The NRP of ecosystems of Ukraine that covers mineral, water, land, forest, fauna and natural recreation resources, was estimated as of 01.01.2022. It is asserted that application of its so-called “gravity models”, the ones described by the equity of dependence of gravity between two bodies proceeding from their masses and distance between them, is among the most important approaches in ecosystems analysis to help disclose available and hidden interlinks between NRPs of provincial ecosystems of Ukraine. The “gravity formula” by William John Riley where the value of nature-resource potential of ecosystems (in 2015–2021 prices) is taken as the “mass”, and the space between geometrical centers of ecosystems is taken as distance, was suggested to quantitatively define the boundaries of balance between the fields of gravity of NRPs of provincial ecosystems of Ukraine. Thus, the boundaries of balance, “points of discontinuity”, “margin lines between the zones of influence” of NRPs of 14 provincial ecosystems of Ukraine have been established. In particular, it was found that the boundaries of balance in NRP interaction spread for 284 km from the core of the Donetsk to the core of the Prychornomorskyu provincial ecosystems, and for 168 km from the core of the Prychornomorskyu to the core of the Donetsk provincial ecosystems. The “margin line” between the zones of influence of NRP of the East-Ukrainian ecosystem on NRP of the Prychornomorskyu ecosystem lies on the 257<sup>th</sup> km, whereas the potential of the Prychornomorskyu ecosystem has the “point of discontinuity” at the 163<sup>rd</sup> km with regard to the East-Ukrainian provincial ecosystem. The NRP of the West-Ukrainian ecosystem has the strong effect on the NRP of the Polissia ecosystem at the distance of 119 km. At the same time, the potential of the Polissia ecosystem is balanced in its zone of influence on the West-Ukrainian ecosystem for 126 km. Such dependencies are explained by the mutual effect of the value (“mass”) of the NRP of provincial ecosystems. *Key words:* nature-resource potential, provincial ecosystems of Ukraine, William Riley’s gravity models.

**Постановка проблеми.** Провінційні екосистеми України, ототожені М.А. Голубцем з фізико-географічними провінціями (краями), характеризуються їм притаманним цілісним, своєрідним, впорядкованим

природно-ресурсним потенціалом (ПРП), що сформувався впродовж багатьох тисячоліть під дією природних, антропогенних та природно-антропогенних чинників [1; 2]. ПРП території (акваторії), у нашому

розумінні, розглядається як сукупна продуктивність її природних ресурсів – засобів виробництва і предметів споживання, що виражається у їх суспільній споживній вартості. Єдиним мірилом оцінки ПРП, що охоплює мінеральні, водні, земельні, лісові, фауністичні, природні рекреаційні ресурси, є вартісні (грошові) показники.

Отже, ПРП провінційних екосистем України, кожен з яких є унікальним, має свої специфічні величини, структурну побудову, здійснює, безсумнівно, прямий і опосередкований вплив на своє оточення, на потенціал природних ресурсів своїх близьких і більш віддалених сусідів. Ті ж, у свою чергу, не в меншій мірі справляють зворотній вплив, що теж, безперечно, є зрозумілим. **Здійснити перехід від якісних оцінок до кількісного визначення міри тяжіння між ПРП провінційних екосистем України – головне завдання, мета, досягнути яку поставили перед собою автори даної публікації.**

**Актуальність дослідження. Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Пізнання, виявлення, з'ясування наявних чи прихованих взаємозв'язків між ПРП провінційних екосистем України є актуальним напрямом екосистемного аналізу та синтезу, оскільки дозволяє оцінити, з одного боку, складні механізми внутрішньої самоорганізації природно-ресурсних комплексів, а з другого боку, – підійти до розуміння впливу на них законів та закономірностей суспільного розвитку.

Одним з важливих підходів у цьому напрямі, на нашу думку, є використання для наукового пошуку так званих «гравітаційних моделей». Гравітаційні моделі в екологічних науках отримали свою назву через схожість з рівняннями, які відображають закон гравітації у фізиці. М. Гродзинський відзначав, що описання взаємодії «між місцями за допомогою формальних виразів, які «підозріло» нагадують фізичні (гравітаційні або електростатичні) моделі, не варто розглядати як механічне запозичення цих моделей з фізики. Гравітаційна модель, хоч вперше й була винайдена Ньютоном, та має ширший зміст, аніж рівняння залежності тяжіння між двома тілами від їх маси та відстані» [3, с. 391].

Так, як відомо, В. Айзард в «економічному ландшафті» описував взаємодію між двома населеними пунктами, взявши за основу людність міст як аналог їх «маси» та відстань між містами [4]. А.П. Голіков пропонує використовувати гравітаційні моделі при вивченні потоків і територіальної спрямованості перевезень, дослідженні забезпеченості території певними ресурсами з врахуванням доступності до них, розрахунку гідрографічного потенціалу і т.п. [5]. Гравітаційні моделі використовуються і для оцінки інтенсивності біотичних потоків вздовж біокоридорів. Ця інтенсивність буде тим більшою, чим більшим буде розмір біоцентрів і чим ширшим і коротшим буде біокоридор між ними [3, с. 355].

На підставі дії фізичного закону гравітації, Вільям Джон Рейлі в період 1929–1931 рр. запропонував для визначення меж торговельної зони навколо міст взяти за основу кількість населення кожного з міст і відстань між ними. Його модель така [6, с. 70–71; 7]:

$$\frac{Ba}{Bb} = \left( \frac{Pa}{Pb} \right)^N \times \left( \frac{Db}{Da} \right)^n,$$

де  $Ba$  – бізнес, який місто А отримує від проміжного міста Т,

$Bb$  – бізнес, який місто В отримує від проміжного міста Т,

$Pa$  – населення міста А,

$Pb$  – населення міста В,

$Da$  – відстань від міста А до проміжного міста Т,

$Db$  – відстань від міста В до проміжного міста Т,

$N$  – показник ступеня, що вказує на швидкість, з якою зовнішня торгівля міста зростає зі збільшенням населення цього міста,

$n$  – показник ступеня, який вказує на швидкість, при якій зовнішня торгівля, яку залучає місто, зменшується зі збільшенням відстані від міста.

Сформульований Вільямом Джоном Рейлі «закон тяжіння роздрібної торгівлі» широко використовується нині у демографічних, соціальних, екологічних дослідженнях. Йдеться, зокрема, про визначення рівноважних станів у взаємовідносинах між суспільством і природою, пізнання закономірної підпорядкованості в ієрархічних рядах екосистем, оцінку запасів їхньої стійкості та здатності до самовідновлення і т.і. [8; 9; 10].

**Викладення основного матеріалу.** Отже, взявши за основу «гравітаційну формулу» Рейлі, М.Д. Гродзинський пропонує визначати межі між полями впливу двох місць-плям-біоцентрів за таким виразом [3, с. 392]:

$$I_{jk} = \frac{D_{ij}}{1 + \sqrt{\frac{P_i}{P_j}}}$$

де  $I_{jk}$  – відстань точки рівного впливу місць “і” та “j”, що відраховується від положення місця “j”;

$D_{ij}$  – відстань між місцями “і” та “j”;

$P$  – змінна, яка описує місця “і” та “j” (наприклад, запаси біомаси, різноманіття видового складу біоцентрів, чисельності окремих популяцій у біоцентрах “і” та “j” тощо).

Цей підхід застосований нами для реалізації мети дослідження-визначення меж рівноваги між полями тяжіння ПРП провінційних екосистем України.

За «масу» – змінну  $P$ , яка описує місця “і” та “j” взята величина природно-ресурсного потенціалу (у цінах 2015–2021 рр.) провінційних екосистем України (див. табл. 1) [11, с. 86–88].  $D$  – відстань між місцями “і” та “j” – розрахована нами як відстань між геометричними центрами 14 провінційних екосистем України (див. табл. 2).



Таблиця 1

**Природно-ресурсний потенціал біом та провінційних екосистем (за М. Голубцем) України у сучасному вимірі (у цінах 2015–2021 рр.)**

Біом, провінційні екосистеми	Величина потенціалу (млрд. грн.)						Сумарний
	Мінеральні	Водні	Земельні	Лісові	Фауністичні	Природні рекреаційні	
Східно-Європейська рівнина	383,613	153,152	591,308	40,506	6,487	104,679	1279,745
Біом мішаних лісів	6,042	26,119	64,537	17,796	0,807	14,045	129,346
Поліська	6,042	26,119	64,537	17,796	0,807	14,045	129,346
Біом широколистяних лісів	8,272	16,911	72,927	5,877	0,414	10,460	114,861
Західно-Українська	8,272	16,911	72,927	5,877	0,414	10,460	114,861
Лісостеповий біом	21,790	36,906	214,935	12,023	2,411	26,947	315,012
Подільсько-Придніпровська	7,754	17,169	117,908	6,363	1,086	11,837	162,117
Лівобережно-Дніпровська	10,409	13,962	72,756	3,346	1,051	7,387	108,911
Східно-Українська	3,627	5,774	24,272	2,313	0,274	7,724	43,984
Степовий біом	347,509	73,216	238,909	4,810	2,855	53,227	720,526
Північностеповий біом	333,716	37,045	148,374	3,839	1,970	31,805	556,749
Дністровсько-Дніпровська	54,681	10,807	55,607	0,481	0,610	9,254	131,440
Лівобережно-Дніпровсько-Приазовська	70,594	12,990	50,869	1,205	0,677	9,964	146,299
Донецька	157,399	7,935	25,722	0,998	0,238	7,481	199,773
Задонецько-Донська	51,044	5,313	16,332	1,154	0,445	5,106	79,394
Середньостеповий біом	6,513	12,136	43,454	0,300	0,346	7,305	70,054
Причорноморська	6,513	12,136	43,454	0,300	0,346	7,305	70,054
Південностеповий біом	7,280	24,035	47,081	0,671	0,539	14,117	93,723
Причорноморсько-Приазовська	1,144	9,782	23,310	0,418	0,285	4,149	39,088
Кримська степова	6,136	14,253	23,771	0,253	0,254	9,968	54,635
Кримська гірська	2,530	2,111	8,996	1,257	0,041	11,014	25,949
Українські Карпати	8,179	27,216	19,095	16,430	0,083	18,846	89,849
<b>Україна</b>	<b>394,322</b>	<b>182,479</b>	<b>619,399</b>	<b>58,193</b>	<b>6,611</b>	<b>134,539</b>	<b>1395,543</b>

Використавши «гравітаційне» рівняння, отримуємо таку кількісну оцінку меж рівноваги між полями тяжіння природно-ресурсного потенціалу провінційних екосистем України, що відображена у табл. 3. Слід зразу ж вказати на таку особливість табл. 3: вона характеризує відстань, на яку ПРП так званих «периферійних» провінційних екосистем (розміщених по вертикалі таблиці) впливає на ПРП «центральної» (оцінюваної) екосистеми. Наприклад, ПРП Західно-Української екосистеми має вплив на ПРП «центральної» (оцінюваної) Поліської екосистеми на відстані у 119 км, Подільсько-Придніпровської на Поліську – на відстані 140 км, Лівобережно-Дніпровської на Поліську на відстані уже в 164 км, а Донецької на Поліську – уже на 403 км і т.д. У той же час ПРП взятої за приклад «центральної» Поліської екосистеми має таку силу впливу на ПРП провінційних екосистем (розміщених у таблиці 3 по горизонталі): на Західно-Українську –

на 126 км, Подільсько-Придніпровську – на 125 км, Лівобережно-Дніпровську – на 252 км, Донецьку – на 325 км і т.д.

Для більшої наочності проілюструємо межі рівноваги між полями тяжіння ПРП провінційних екосистем України графічно на прикладі трьох екосистем, що розташовані у центральній частині держави – Подільсько-Придніпровської, північної – Поліської та південної – Причорноморської (див. рис. 1–3).

Як видно з табл. 3 та рис. 1–3, межі рівноваги між ПРП провінційних екосистем України визначаються його величиною, «масою». Чим більшим є обсяг ПРП однієї з двох порівнюваних провінційних екосистем, тим сильнішим є його вплив на свого сусіда. Межі рівноваги у взаємодії ПРП або, за В.Д. Рейлі, «точки розриву», «граничні лінії між двома зонами впливу» потенціалу провінційних екосистем пролягають на відстані 284 км від ядра Донецької до ядра Причорноморської і на від-

Таблиця 2

## Відстані (у кілометрах) між ядрами провінційних екосистем (природних країв) України

Поліська														
245	Західно-Українська													
266	350	Подільсько-Придніпровська												
343	546	263	Лівобережно-Дніпровська											
483	693	406	151	Східно-Українська										
420	508	168	294	385	Дністровсько-Дніпровська									
616	770	427	308	263	312	Лівобережно-Дніпровсько-Приазовська								
728	910	571	396	291	466	161	Донецька							
725	924	602	385	249	525	242	116	Задонецько-Донська						
490	571	245	350	420	77	298	452	525	Причорноморська					
602	676	343	413	462	175	273	420	511	105	Причорноморсько-Приазовська				
725	798	473	518	543	305	301	427	536	235	130	Кримська степова			
784	851	536	592	613	371	371	480	592	294	193	70	Кримська гірська		
399	165	455	683	826	616	879	1019	1050	637	728	847	886	Українські Карпати	

Таблиця 3

## Межі рівноваги між полями тяжіння природно-ресурсного потенціалу провінційних екосистем України (в км)

Провінційні екосистеми	Поліська	Західно-Українська	Подільсько-Придніпровська	Лівобережно-Дніпровська	Східно-Українська	Дністровсько-Дніпровська	Лівобережно-Дніпровсько-Приазовська	Донецька	Задонецько-Донська	Причорноморська	Причорноморсько-Приазовська	Кримська степова	Кримська гірська	Українські Карпати
Поліська		126	125	252	305	209	298	325	407	282	388	439	541	218
Західно-Українська	119		160	277	428	245	362	392	505	321	427	472	577	88
Подільсько-Придніпровська	140	190		145	267	88	219	271	354	148	230	299	383	261
Лівобережно-Дніпровська	164	269	118		92	140	143	168	208	194	258	303	398	358
Східно-Українська	178	265	139	59		141	93	93	106	186	238	257	347	340
Дністровсько-Дніпровська	211	263	80	154	244		152	209	295	45	113	185	257	337
Лівобережно-Дніпровсько-Приазовська	318	408	208	165	170	160		74	139	176	180	187	261	493
Донецька	403	518	300	228	198	257	87		71	284	291	280	353	610
Задонецько-Донська	319	419	248	177	143	230	103	45		271	300	293	377	509
Причорноморська	208	250	239	156	234	32	122	168	254		60	125	183	299
Причорноморсько-Приазовська	214	249	113	155	224	62	93	129	211	45		110	106	289
Кримська степова	286	326	126	196	286	120	114	147	243	110	70		41	371
Кримська гірська	242	274	153	176	266	114	110	157	215	111	87	29		310
Українські Карпати	181	77	194	325	486	279	386	409	541	338	439	476	576	

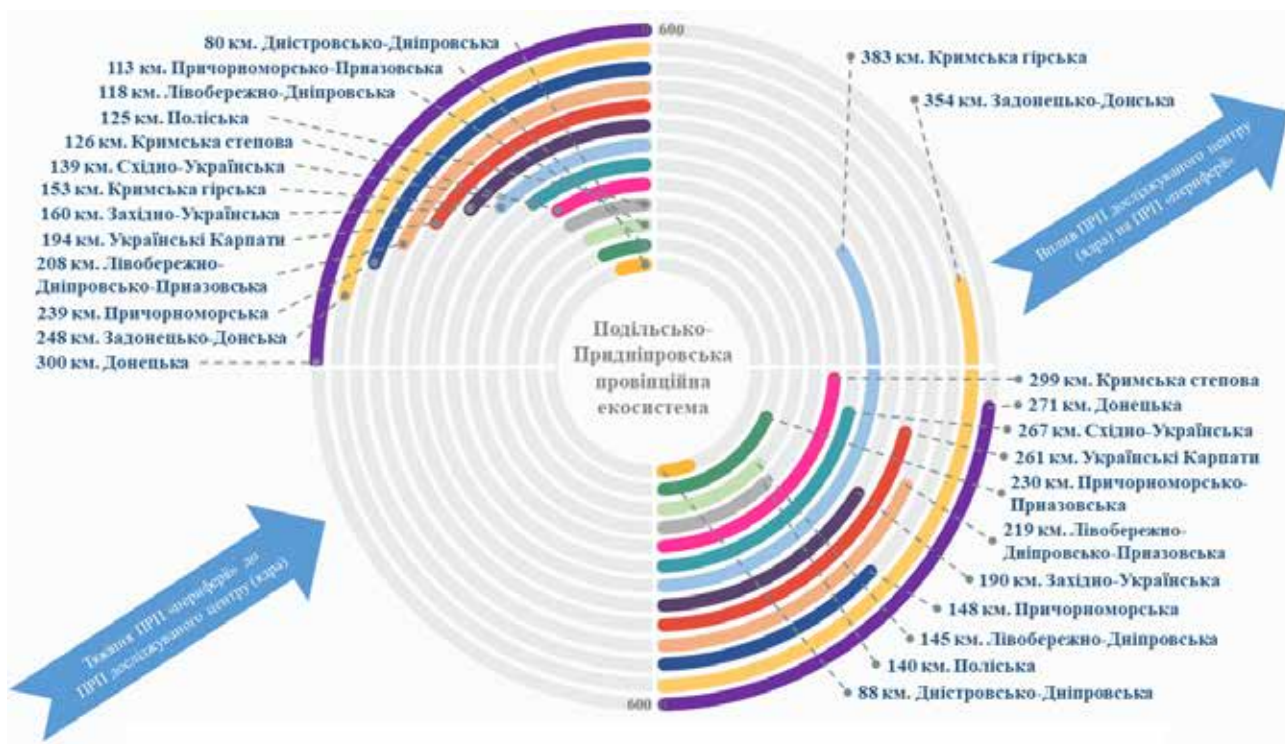


Рис. 1. Межі рівноваги між полями тяжіння ПРП провінційних екосистем у Подільсько-Придніпровському краї (в км)

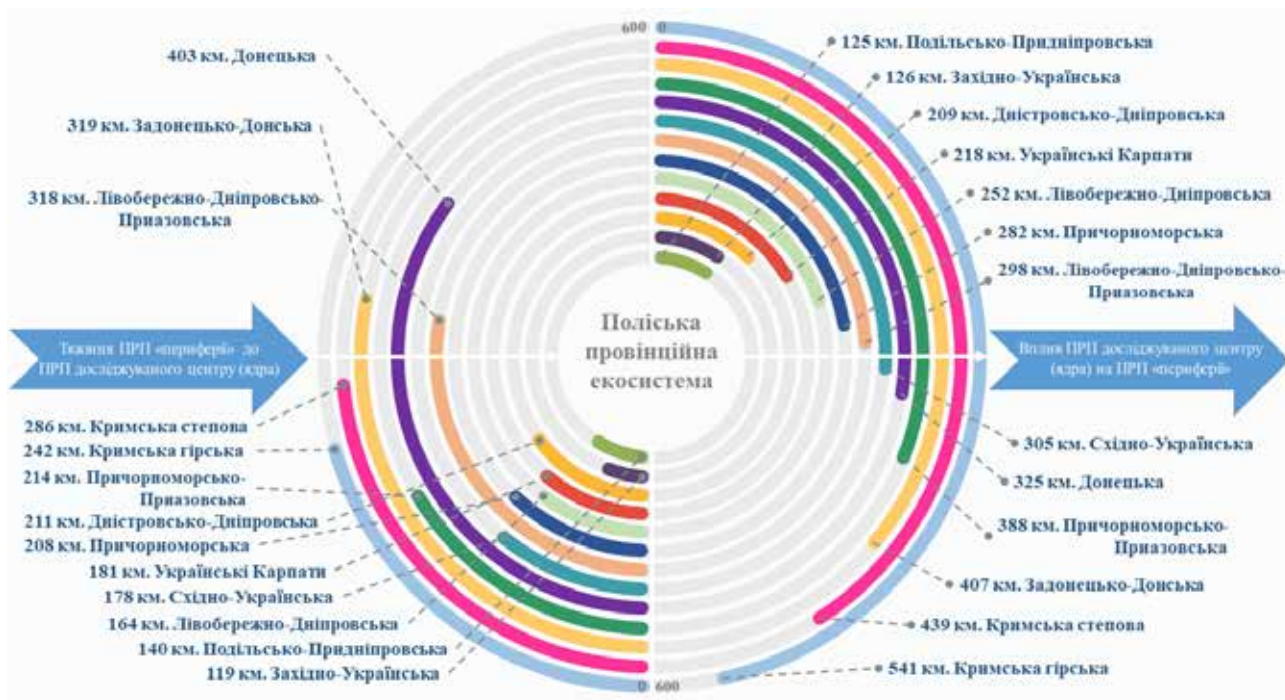


Рис. 2. Межі рівноваги між полями тяжіння ПРП провінційних екосистем у Поліському краї (в км)

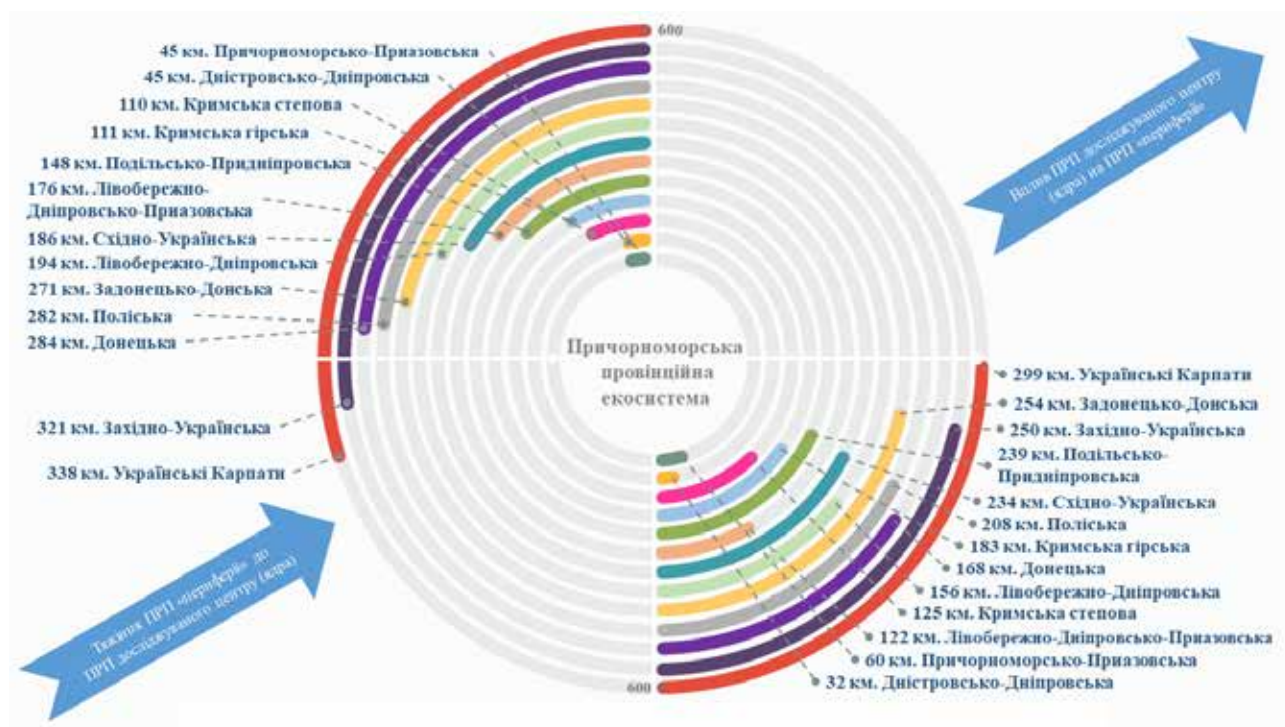


Рис. 3. Межі рівноваги між полями тяжіння ПРП провінційних екосистем у Причорноморському краї (в км)

стані 168 км від ядра Причорноморської до ядра Донецької екосистеми. «Гранична лінія» між зонами впливу ПРП Східно-Української на ПРП Причорноморської екосистеми проходить по 257 км, в той час як потенціал Причорноморської має «точку розриву» на 163 км стосовно потенціалу Східно-Української провінційної екосистеми. І це зрозуміло – ПРП Східно-Української провінції є значно більшим за потенціал природних ресурсів Причорномор'я. Такі порівняння провінційних екосистем через аналіз гравітаційних моделей їх природно-ресурсного потенціалу можна, звичайно ж, продовжувати і деталізувати.

**Висновки.** Так звані «гравітаційні моделі» – моделі, що описуються рівнянням залежності тяжіння між двома тілами, виходячи з їх маси та відстані між ними, є одним із важливіших підходів екосистемного аналізу для з'ясування наявних та

прихованих взаємозв'язків між ПРП провінційних екосистем України.

Кількісну оцінку меж рівноваги між полями тяжіння ПРП провінційних екосистем України пропонується проводити за «гравітаційною формулою» Вільяма Джона Рейлі, у якій за «масу» береться величина природно-ресурсного потенціалу екосистем (у цінах 2015–2021 рр.), а відстанню є віддаль між геометричними центрами цих екосистем.

Визначені межі рівноваги, «точки розриву», «граничні лінії між зонами впливу» ПРП по чотирнадцятих провінційних екосистемах України, які словесно (для прикладу) по двох провінціях можна описати так: «граничні лінії» у взаємодії ПРП пролягають на відстані 284 км від ядра Донецької до ядра Причорноморської екосистеми і на відстані 168 км від ядра Причорноморської до ядра Донецької провінційної екосистеми.

### Література

1. Голубець М.А. Екосистемологія. Львів: Поллі. 2000. 316 с.
2. Шищенко П.Г. Фізико-географічна провінція. Географ. енциклоп. України: В 3-х т. К.: Укр. енциклоп. ім. М.П. Бажана. 1993. Т.3. С. 340.
3. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір: Монографія. У 2-х т. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2005. Т. 2. 503 с.
4. Isard W. Methods of Regional Analysis: on Introduction to Regional Science. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press. 1960. 835 p.
5. Голиков А.П. Економіко-математичне моделювання світогосподарських процесів: навч.посіб. К.: Знання. 2009. 222 с.
6. Reilly W.J. The law of retail gravitation. New York: Knickerbocker Press. 1931. 75 p.
7. Reilly, William J. Methods for the Study of Retail Relationships. Austin, Texas: Bureau of Labor Research. 1929. 50 p.
8. Голубець М.А. Вступ до геосоціосистемології. Львів: Поллі. 2005. 199 с.
9. Петлін, В.М. Гармонія організованості природних територіальних систем: монографія. Луцьк: Вид. центр СЛУ ім. Лесі Українки, Простір-М. 2019. 516 с.
10. Gore Al. Ziemia na krawedzi. Czlowiek a ekologia. Warszawa ETNOS. 1996. 282 s.
11. Rudenko S., Rudenko V. Nature-Resources Potential of Natural Regions of Ukraine in Present-day Figures. Ecological Sciences. 2023. No. 6 (51).

УДК 574.2:712.2(477-25)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.9>

## ЕКОЛОГО-ЦЕНОТИЧНА ТА ЛАНДШАФТНА ОПТИМІЗАЦІЯ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ МІСТА КИЄВА

Шумик М.І., Попіль Н.І., Льодок В.С.

Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України  
вул. Садово-ботанічна, 1, 03014, м. Київ  
shumikmikola@gmail.com, nadiapopil76@gmail.com, Lodok.v@gmail.com

Зелені насадження в урбанізованому середовищі зазнають високого антропогенного навантаження, піддаються хімічному, фізичному, біологічному і комплексному забрудненню. Практично усі рослинні угруповання у місті нестійкі і потребують систематичного догляду. Міські насадження мають спрощену структуру. Результатом антропогенного впливу на рослини є різке зменшення тривалості їх життя, знищення біорізноманіття аборигенних видів та зростання адвентивної та синантропної фракції флори. Порушення умов зростання, контроль з боку людини обумовлює неоднорідність складу і нерівномірність розміщення рослинності у місті.

Головними принципами створення стійких насаджень у різних функціональних зонах міст є принципи комплексності та відповідності складу і структури рослинного угруповання (фітоценозу) типу умов зростання, а також формування зеленого каркасу міста. Екотипна диференціація виду є генетичною основою для формування стійких та екологічно ефективних інтродукційних популяцій рослин в системі міських зелених насаджень.

Використання механізмів та функцій природних екосистем, априорі необхідне в штучностворених людиною екосистемах (агроценозах, урбоекосистемах). Відомо, що всі вищі деревні рослини є мікоризо залежними видами. Стійкість екосистеми в лісових угрупованнях досягається головним чином за рахунок різноманіття мікроорганізмів, які переробляють 90% «продукції», яку створює екосистема. Цю особливість природних екосистем можна використати для покращення стану зелених насаджень в урбоекосистемах, шляхом мікоризації ґрунтового середовища. Мікоризна мережа є практично синонімом функції екосистеми, вона визначає видовий склад рослин і є залежна від нього.

В результаті екологічного зонування території міста Києва виділено 9 екоотопів, цільова меліорація умов яких має вирішальне значення для збереження середовищевірних функцій зелених насаджень. Наведена характеристика екоотопів, ґрунтів, ландшафтних підходів до створення насаджень. *Ключові слова:* ландшафтна оптимізація, інтродукційна популяція, біологічне різноманіття, урбоекологія.

### Ecological and landscape optimization of anthropogenically transformed areas of the city of Kyiv. Shumyk M., Popil N., Lodok V.

Green plantations in an urbanized environment are under to high anthropogenic pressure and chemical, physical, biological and complex pollution. Almost all plant communities in the city are unstable and require systematic care. Urban plantations have a simplified structure. The result of the influence of urban conditions on plants is a sharp decrease in their life expectancy, a decrease in the biodiversity of aboriginal species, and an increase in the adventitious and synanthropic fraction of the flora. Violation of growth conditions, human control causes heterogeneity of composition and uneven placement of vegetation in the city. The main principles of creating sustainable plantings in different functional zones of cities are the principles of complexity and compliance of the composition and structure of the plant group (phytocenosis) with the type of growth conditions, as well as the formation of the green frame of the city. Ecotype differentiation of the species is the genetic basis for the formation of sustainable and ecologically effective introduced populations of plants in the system of urban green area. The use of mechanisms and functions of natural ecosystems is a priori necessary in man-made ecosystems (agrocenoses, urboecosystems). It is known that all higher woody plants are mycorrhizal dependent species. The stability of the ecosystem in forest communities is achieved mainly due to the diversity of microorganisms, which process 90% of the “product” created by the ecosystem. This feature of natural ecosystems can be used to improve the condition of green areas in urban ecosystems by mycorrhization of the soil environment. The mycorrhizal network is practically synonymous with the ecosystem function, it determines the species composition of plants and is dependent on it.

As a result of the ecological zoning of Kyiv city 9 ecotopes were selected, the targeted improvement of the conditions of which is of crucial importance for preserving the environment-creating functions of green areas. The characteristics of ecotopes, soils, and landscape approaches to the creation of plantations are given. *Key words:* landscape optimization, introduction population, biological diversity, urban ecology.

**Постановка проблеми.** Нині більшість створених зелених насаджень та природних територій в межах мегаполісів перебувають в стадії ландшафтної антроподинамічної, ендо- та екзогенної дигресії. Такий стан головного елементу урбанізованих екосистем вступає в протиріччя з основними положеннями концепції сталого розвитку. Ця концепція

передбачає вдосконалення взаємин між суспільством і природою, вирішує питання успішного розвитку мегаполісів і економіки за умов високої якості навколишнього середовища та життєвого простору людини. Оптимізацію зв'язків, гармонізацію взаємин між тиском мегаполісу на довкілля і природними процесами в ньому можна налагодити лише за

умови формування екологічно ефективних зелених насаджень.

**Актуальність дослідження.** За сучасних умов стрімкого зростання техногенного навантаження та суцільної урбанізації найбільш напружена екологічна ситуація складається у великих містах та промислових агломераціях. Загострення екологічної кризи вимагає адекватної реакції з боку людини. Якщо суспільство якнайшвидше не відрегулює свої стосунки з природою, вирішення решти проблем стане неактуальним.

Еволюція біосфери свідчить про безпідставність сподівань на побудову штучних угруповань, які забезпечували б стабілізацію навколишнього середовища з таким ступенем точності, як природні угруповання. В антропогенно-трансформованих системах раціональною є стратегія, яка ґрунтується на прогнозно-планових основах, регулюванні і наслідуванні процесів природного розвитку. Сприйняття міських ландшафтів як урбанізованих екосистем, зі всіма їх перевагами і недоліками, зможе поставити озеленення на рейки наукового підходу до створення системи екологічно ефективних і стійких насаджень. Штучні системи, як правило, менш ефективні, ніж спрямовані природні, проте досягнута екологічна рівновага трансформованих ландшафтів є стійкішою від попередньо порушеної. Поточна екологічна ефективність штучних моделей (інтродукційних популяцій) природних фітоценозів є оптимальною для забезпечення сталого розвитку урбанізованих ландшафтів. Досягнення сталого розвитку урбоекосистем Києва та оздоровлення життєвого простору людини є актуальною задачею сьогодення.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями.** Стаття підготовлена за матеріалами науково-технічних розробок з формування Програм розвитку зелених зон трьох міст України: міста Києва (2020 рік; договір № 005/20 про надання послуг з коригування і моніторингу Програми розвитку зеленої зони м. Києва до 2010 року та концепції формування зелених насаджень в центральній частині міста (ДК 021:2015 код 999999999-9); міста Маріуполя (2017 рік; виконані три науково-технічні договори: «Ландшафтна інвентаризація та оцінка стану зелених насаджень міста Маріуполя», «Підбір екологічно ефективного і стійкого асортименту рослин для озеленення антропогенно-трансформованих територій міста Маріуполя», «Розробка програми озеленення міста Маріуполя») та міста Біла Церква (2023 рік; договір № 1744/2023 на надання послуг з розробки Рекомендацій щодо створення та утримання зелених насаджень відповідно до екологічного зонування території міста Біла Церква (в сучасних реаліях урбанізованого середовища та умовах кліматичних змін). Автори були керівником і виконавцями відомчої тематики Національної академії наук України «Ландшафтно-екологічна оптимізація зелених зон

мегаполісів: наукові підходи, принципи, методи» у 2017–2021 роках.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ландшафтна екологія є теоретичним обґрунтуванням для розробки практичних заходів, спрямованих на підтримання екологічної стабільності та екологічної оптимізації ландшафту; вона займається оцінкою взаємодії складових частин природного комплексу і впливу суспільства на природну складову ландшафтів шляхом аналізу балансів речовини і енергії, досліджуючи структуру та функціонування екосистем у конкретних ландшафтних умовах.

Розвиток ландшафтної екології в Європі пов'язаний з аналізом антропогенних ландшафтів (урбанізованих, агрокультурних, техногенних) і спрямований на створення регіональних соціально-економічних систем прикладного характеру. Термін «ландшафтна екологія» належить німецькому вченому Карлу Тролю, який в 1939 році окреслив зміст цієї науки. В 1950 році К. Троль зазначив, що провідним завданням цієї дисципліни є аналіз функціональної ролі ландшафту і виявлення його багатосторонніх залежностей, що піддаються змінам. У 80–90ті роки ХХ століття ідеї ландшафтної екології знаходять підтримку у науковців України. В 1993 році у монографічному дослідженні М.Д. Гродзинського та П.Г. Шищенка «Ландшафтно-екологічний аналіз у меліоративному природокористуванні» [6] викладено суть, принципи та методи ландшафтно-екологічних досліджень проблем меліоративного природокористування. В 1995 році М.Д. Гродзинським опублікована монографія «Стійкість геосистем до антропогенних навантажень» [5], в якій розкриті основні механізми забезпечення стійкості геосистем, розглянуті питання оцінювання та аналізу стійкості геосистем України для вирішення важливих ландшафтно-екологічних проблем.

Урбоекологія розглядає взаємозв'язки та взаємодію у часі і просторі двох екологічних підсистем: урбаністичної – у складі виробничо-технічної, енергетичної, соціальної, адміністративної, інформаційно-аналітичної та ін., з одного боку, та природної – у складі біогеоценотичного покриву (рослинність разом з ґрунтами, гідрологічними умовами, водоймами, рельєфом місцевості, гіпсометричною ситуацією, мікрокліматом тощо) – з іншого. Виходячи з цього, урбоекосистема – це природно-територіальний комплекс, що складається з ієрархічної структури від окремого біогеоценозу до урболандшафту й перебуває під постійним впливом соціотехногенних факторів [1, 2, 3, 4, 7, 11].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Фітоінтродукція на всіх етапах потребує переходу на популяційний рівень – від прогнозу оцінки і підбору вихідного матеріалу до формування насаджень різного цільового призначення. Значення популяції в тому, що вона являє собою фонд варі-

ацій (генофонд – на мові генетики), що уможливорює штучний добір кращих за потрібною ознакою екземплярів, екотипів чи фенокласів.

Вагомими питаннями є встановлення закономірностей адаптивної мінливості при становленні популяційної структури в умовах інтродукції, оцінка можливостей керування швидкістю онтогенетичної акліматизації та екотипічної диференціації видів і застосування методу інтродукційної популяції в ландшафтній оптимізації урбанізованих екосистем. Потребують доопрацювання питання збереження і збагачення природного біологічного різноманіття в урбанізованому середовищі – від генетичного до видового, ландшафтного і екосистемного; забезпечення безперервного, вискоєфективного виконання зеленими насадженнями екологічних, соціальних та економічних функцій на рівні екотопу, екосистеми та міського біогеоценозу загалом; підвищення рівня ботанічної та екологічної освіти з питань садово-паркового і ландшафтного будівництва.

Концепція ландшафтного будівництва в урбоекосистемах має передбачати не лише функціональні та декоративні аспекти озеленення, але й повернення пріоритету природи в найбільш конфліктні в екологічному відношенні території задля забезпечення стійкості та екологічної ефективності зелених насаджень, а загалом і зняття соціальної напруги щодо методів і способів зеленого господарювання.

**Метою роботи** було встановлення закономірностей функціонування урбанізованих екосистем шляхом створення стійких інтродукційних популяцій рослин, екологічно ефективної, наближеної до природної, системи зелених насаджень та проведення екологічного зонування території міста Києва.

**Наукова новизна.** Розроблена стратегія розвитку зелених насаджень міста Києва. Досягнення сталого розвитку урбоекосистем Києва та оздоровлення життєвого простору людини можливе лише за умови формування повноцінної і масштабної системи зелених насаджень з ефективною середовищевірною (екологічною) функцією. Насадження з пріоритетною декоративною функцією мають забезпечувати підтримку оптимізованої екологічної ситуації. Головним принципом створення зелених насаджень з середовищевірною (екологічною) функцією є фітоценотичний, а методом формування культурфітоценозів є метод інтродукційної популяції. Моделювання природних фітоценозів в урбоекосистемах, перехід на генетико-селекційні основи формування міських зелених насаджень, створення повноцінної екологічної мережі та адекватне за площею урбокомпенсаційне озеленення можуть кардинально покращити якість життєвого простору людини. В ідеалі урбанізовані екосистеми, як і природні, мають бути самодостатніми й продукувати власну енергію для потреб мегаполісу, або максимально мінімізувати затрати на підтримку свого розвитку.

**Матеріали та методи досліджень.** Для поточної оцінки стану урбоекосистем використані методи структурного, системного та функціонального аналізу. Для з'ясування ролі біотичних і абіотичних факторів, що впливають на структуру та динаміку видів рослин, використані екологічні методи у формі спостереження, експерименту та моделювання.

Використання методу інтродукційної популяції [10] в ландшафтному будівництві передбачає два етапи. На першому етапі (ботанічні сади, дендропарки, інші науково-дослідні установи) залучаються кращі екотипи з різних природних популяцій. На другому етапі формується модельна місцева інтродукційна популяція для розмноження і вирощування садивного матеріалу. Процес формування стійкої та екологічно ефективної інтродукційної популяції передбачає підтримку на початкових етапах високого рівня гетерогенності, необхідних для оптимізації та забезпечення сталого розвитку урбоекосистем. Зважаючи на те, що екотипна диференціація є основою адаптивного потенціалу виду, пріоритетною є інтродукція виду на рівні різних екотипів з наступним штучним добром стійких до несприятливих чинників. Повноцінне існування інтродукційної популяції неможливе без штучного добору.

Оптимізація урбанізованих екосистем передбачає створення зелених насаджень на популяційному рівні.

**Виклад основного матеріалу.** Київ розміщений на межі лісової та лісостепової зон. На правому березі у північній, північно-західній та західній частині Києва та його околицях основними ґрунтоутворюючими породами виступають водно-льодовикові піщані відкладення; на пагорбах вздовж русла Дніпра – лес (елювіальна порода, тобто та, яка утворилася внаслідок осідання пилу перенесеного вітром) легко-суглинистого механічного складу. На лівому березі ґрунтоутворюючі породи представлені піщаними та супіщаними алювіальними (тобто перенесеними водою) відкладеннями. Основними типами ґрунтів у Києві є підзолисті піщані, сірі легко-суглинисті, а також дернові та слабогумусові піски.

На околицях Києва переважають ліси формації сосни звичайної, дуба звичайного, ділянки з рослинністю заплавлі річок (луки, болота, чагарники, ліси). Раніше (до XVI – XVII ст.) у заплавах були заплавні діброви, потім їх змінили луки. Зараз на залісених площах переважають ліси із тополі чорної, верби білої. Вздовж річок, струмків та боліт поширені також чорновільхові ліси. Чорновільхові ліси представляють інтразональний тип рослинності.

Результати дослідження урбанофлори Києва вказують на наявність конкурентних зв'язків між автохтонними та алохтонними (чужорідними, інвазійними) видами. Переважання автохтонних рослин (близько 55% від загальної кількості видів урбанофлори) над адвентивними (45%), поки що, зумов-

лене наявністю на території міста значної кількості оселищ з напівприродним рослинним покривом. Умови території Києва для деревних видів загалом є задовільними за ґрунтово-кліматичними особливостями і критичними за рівнем техногенного навантаження. В урбоекосистемах міста Києва комплексна трансформація екоотопів у насадженнях парків відносно лісового (контроль) становить 55%, скверів і садів – майже 80%, а в насадженнях вулиць – 100%. Такі чинники, як сухість (більше повітряна й місцями ґрунтова), низька родючість і засоленість ґрунтів, хімічна забрудненість екоотопів, особливо в насадженнях вулиць і в напрямку до центру міста, найбільше погіршують умови зростання деревних рослин. При збереженні існуючих тенденцій розвитку зелених насаджень міста адвентивна фракція буде зростати в кількісному відношенні та, як наслідок, витіснити аборигенні види. Тому автохтонні рослини мають стати каркасом і основою урбанізованого фітосередовища та забезпечити сталий розвиток екосистем міста.

Сильно пригнічені в міських умовах і гриби-мікоризоутворювачі, що живуть в симбіозі з мікрофитними деревними породами; для останніх це важлива причина погіршення їх стану. В природі понад 90% рослини знаходяться у тісному контакті з мікрофлорою, що населяє поверхню їх кореневої системи і розмножується у прикореневому шарі ґрунту. Симбіоз рослин і грибів існує вже 400 мільйонів років і був відкритий у 1845 році німецькими ученими. Мікоризні ендогриби проникають безпосередньо в корінь рослини і утворюють «грибницю» (міцелій), яка допомагає корінню зміцнювати імунітет, боротися із збудниками різних хвороб, поглинати воду, фосфор і поживні речовини з ґрунту. За допомогою гриба рослина використовує ресурси ґрунту на повну потужність. Один корінь з таким завданням не зміг би справитись; без підтримки грибів рослинам доводиться направляти додаткові резерви на збільшення кореневої системи, замість того, щоб збільшувати наземну частину. Мікориза покращує якість ґрунту, аерацію, пористість, а об'єм загальної поглинаючої поверхні кореня рослини збільшується в тисячу разів. Позитивний вплив мікоризи: зменшує споживання води до 50 %; запасує поживні речовини для рослин на бідних ґрунтах; сприяє швидшому зростанню і покращує якість рослин; збільшує стійкість до засухи і захворювань; збільшує стійкість до солей і важких металів; покращує зовнішній вигляд та стан рослин; прискорює вкорінення рослин на новому місці; застосовується одноразово з багаторічними рослинами. Створення умов для розвитку мікоризи (формування органічного шару мульчі, лісової підстилки, компосту) навіть в межах пристовбурних кругів (квадратів) є запорукою фізіологічної стійкості рослин.

Екологічна ефективність інтродукційних популяцій це здатність рослин виконувати притаманні їм

середовищеві (екологічні) та кліматорегулюючі функції, оздоровлювати та оптимізувати життєвий простір людини (пило-, шумопоглинання, зниження концентрацій токсичних речовин у повітрі та ґрунті, підвищення естетики і природності довкілля) при мінімальних витратах на їх створення та утримання.

Популяція є екологічною системою, в якій відбуваються мікроеволюційні процеси, і є елементарною групою особин, якій властивий еволюційний процес. Популяція має унікальну та найважливішу для виду якість – здатність до перебудови свого генофонду у відповідь на зміни екологічних чинників середовища в якому існує. Інтродукційна популяція є синтетичною сукупністю окремих генетичних одиниць, склад якої цілеспрямовано конструюється інтродуктором. Одиночні екземпляри певних видів інтродуцентів, випадково вибрані з популяції не можуть бути інформативними, оскільки не репрезентують не тільки багатство даного виду, а й генофонд даної популяції. Найважливішою особливістю існування інтродукційної популяції є природні та антропогенно сформовані, в подальшому підконтрольні, основні її параметри.

Екотипна диференціація є основою адаптивного потенціалу виду. Прихований адаптивний потенціал популяції розкривається в процесі її взаємодії з умовами довкілля, сприяючи виживанню тієї частини особин, котрим притаманні властивості й ознаки, що мають адаптивне значення [8, 9].

В контексті цього адаптація повинна розглядатися лише на рівні організму і є сукупністю його реакцій, які направлені на стабілізацію життєвого стану окремих органів чи організму в цілому задля захисту та збереження його цілісності. Якщо інтродукований вид має популяційні втрати, в результаті чого збіднюється її генофонд, але популяція успішно розвивається в умовах інтродукції – такі пристосування є прикладом *акліматизації*. Ці види (наприклад *Aesculus hippocastanum*, *Juglans regia*, *Platanus x acerifolia*, *Ginkgo biloba*, *Picea pungens*, *Catalpa bignonioides* Walt.), як правило, найбільш придатні для оптимізації зелених насаджень в урбанізованих екосистемах. Вони не несуть загрози інвазійного характеру та мають достатню екотипну диференціацію для селекційної роботи і популяційних досліджень. Види, які в умовах інтродукції адаптуються досить легко, не змінюючи своєї генетичної структури здатні до *натуралізації*. Прикладом цього є інтродукція низки північноамериканських видів (*Acer negundo*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Solidago canadensis*). У зв'язку зі змінами клімату зазначені види в умовах інтродукції є надзвичайно агресивними і складають реальну загрозу для місцевих популяцій автохтонних видів на антропогенно-трансформованих територіях. Водночас ці види відрізняє низька екологічна ефективність та низька здатність утворювати складні фітоценотичні угруповання.



За умов сталого розвитку, стратегічною є інтродукція рослин, яка направлена на збагачення культурної флори рослинами, стійкими в міських умовах і здатних виконувати притаманні їм функції оздоровлення життєвого простору людини. Аналіз стану декоративних культиварів (сортів, форм) засвідчив їх низьку адаптаційну здатність в умовах місцевого клімату і техногенного навантаження. Як наслідок цього, рекомендовано максимально обмежити використання цієї групи рослин у всіх екотопах, окрім меморіальних частин парків і скверів. Для забезпечення проектного декоративного ефекту в композиціях доцільно віддавати перевагу природним формам рослин, які мають таксономічний статус внутрішньо видового рангу (f. форма) і володіють запасом еволюційної стійкості та мінливості.

Генетичний матеріал, відібраний природою та людиною, повинен складати основу для формування в урбогенних умовах інтродукційних популяцій і рослинних угруповань, здатних оптимізувати урбоєкосистеми. Щоб забезпечити сталий розвиток, стабілізувати екологічну ситуацію урбосистем, оздоровити життєвий простір людини потрібно ширше впроваджувати в озеленення місцеві інтродуценти, для яких природно-кліматичні умови регіону є ідеальними.

Найбільш природною і ключовою артерією екологічної мережі міста має стати долина річки Дніпро та його лівої притоки річки Десни. До головних артерій екологічної мережі Києва треба віднести і долини інших 8 річок міста – Віта, Глибочиця, Дарниця, Либідь, Нивки, Сирець, Скоморох, Совка та Наддніпрянські схили. Збереження і відновлення зелених насаджень в охоронних зонах цих артерій є запорукою ефективного функціонування екологічної мережі.

В сучасних умовах швидкого розвитку урбанізаційних процесів одним із шляхів вирішення проблеми зменшення шкідливого впливу міського середовища на здоров'я населення є створення в середмісті значних за площами урбокомпенсаційних зон. Прикладом інноваційної урбокомпенсаційної зони може стати реорганізація Нижньолибідського промислового району від моста Патона до Корчуватого з центром у районі Будіндустрії. Винесення промислових підприємств за межі міста або їх повна реорганізація в екологічні підприємства і установи, створення повноцінної системи зелених насаджень (заплавних, лісових, паркових) з відповідною рекреаційною інфраструктурою дозволить значно оздоровити життєвий простір довколишніх забудованих територій та відновити природні характеристики Видубецького озера, гирла річки Либідь та значної частини правого берега річки Дніпро.

Для створення стійких зелених насаджень у системі урболандшафтів вирішальне значення мають характеристики екобіотопів, підбір стійкого асортименту рослин та правильний вибір принципів і мето-

дів створення та формування екологічно ефективних та антропоотолерантних біогеоценозів. В результаті екологічного зонування території міста Києва виділено 9 екотопів, цільова меліорація умов яких має вирішальне значення для збереження середовищевірних функцій зелених насаджень:

1. Екотопи лісових та лісопаркових масивів.
2. Екотопи міських парків, садів, скверів.
3. Екотопи житлових масивів сучасної забудови.
4. Екотопи житлових масивів старої забудови.
5. Екотопи територій промислових підприємств.
6. Екотопи інтенсивних автотранспортних систем і територій з твердим покриттям.
7. Екотопи наливних пісків і штучних едафотопів.
8. Екотопи заплав річки Дніпро, річкових систем, болотних угідь.
9. Екотопи яружно-балкових систем і природних відшарувань.

#### **Екотопи лісових та лісопаркових масивів.**

Характерною особливістю лісостепової зони є переважання дібровних типів лісу, де едифікатором є дуб звичайний (*Quercus robur* L.). Серед його супутників та асектаторних видів, що складають I та II яруси широколистяних лісів домінують: ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), граб звичайний (*Carpinus betulus* L.), липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), яблуня лісова (*Malus sylvestris* (L.) Mill.), черемха звичайна (*Prunus padus* L.), черешня (*Prunus avium* (L.) Moench.), груша звичайна (*Pyrus communis* Mill.), тополя чорна (*Populus nigra* L.), тополя біла (*Populus alba* L.), верба біла (*Salix alba* L.), верба ламка (*Salix x fragilis*), вільха чорна (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.). До складу підліску дубового екоценозу входять природні асектаторні види: ліщина звичайна (*Corylus avellana* L.), бруслина бородавчаста (*Euonymus verrucosus* Scop.), глід одноматочковий (*Crataegus monogyna* Jacq.), терен колючий (*Prunus spinosa* L.), шипшина звичайна (*Rosa canina* L.), ожина звичайна (*Rubus caesius* L.), вишня степова (*Prunus fruticosa* Pall). Екологічна ефективність зазначених видів є оптимальною для формування природного доквілля в урбоєкосистемах та для оздоровлення життєвого простору людини.

Найпоширенішими ґрунтами регіону являються типові мало гумусні чорноземи – 85%, лугові чорноземи – 3,5%, темно-сірі опідзолені – 5%, болотні та інші – 3%, супіщані й піщані – 2,5%. Екотопам притаманні ясно-сірі та сірі лісові ґрунти, які поширені в Лісостепу та на Поліссі. Узагальненням результатів обстежень ґрунтового покриву регіону встановлено вміст гумусу 4,42% у чорноземах типових середньо суглинистих і 3,57% у таких самих чорноземах, але легко суглинистих. Разом з цим більшість чорноземів під зеленими насадженнями міста сильно деградовані (опідзолені), наближаються по якості до сірих ґрунтів і потребують систематичного покращання. У сформованих мішаних лісах рН ґрунту регулюється природним шляхом. Як правило ґрунтови

умови оптимально відповідають вимогам зростання широколистяних лісів.

Величина лісових масивів має певне значення для використання лісів в екологічному каркасі території. Розмір лісового масиву безпосередньо визначає його природно-відновний потенціал: чим більший масив, тим більший ступінь його впливу на фільтрацію повітряних мас, очищення та нівелювання атмосферного забруднення, регулювання поверхневого і підземного стоку і т.п.

Деревостани формуються лише автохтонними і аборигенними видами рослин; наявність адвентивних видів (клена ясенелистого (*Acer negundo*), дуба червоного (*Quercus rubra*), робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia*) може свідчити про підвищений антропогенний тиск на природні екосистеми та зниження їх ефективності.

**Екотопи міських парків, садів, скверів** – озеленені території рекреаційного призначення. Парки, сади, сквери міста – це головний резерв живої природи на будь-якій урбанізованій території з комплексом екологічних ніш. Їх видове різноманіття залежить від віку і ярусності насаджень, частоти скошування, характеру ґрунту і внесення добрив, інтенсивності витоштування, наявності водойм. Для міста особливо важливі великі парки розміром – більше 5 га, які зберегли складну ярусність біоти (наземну, декілька чагарникових, ярус низького деревостою, підросту і дорослих порід різної висоти). Саме такі парки відрізняються найбільшим біорізноманіттям і здатні регулювати та формувати мікроклімат.

Парки Києва розділені нами на 3 групи: 1) – парки, які створені на основі лісів формації дуба звичайного; 2) – парки, які створені на основі лісів формації сосни звичайної; 3) – парки, які створені на основі рослинності заплавлі річок. Нині в озелененні парків, скверів Києва переважають інтродуковані рослини. З інтродукованих хвойних панівними є 43 таксони родини Pinaceae Lindl. Найбільш поширені – хвойні дерева першої величини: сосна чорна (*Pinus nigra* Arn.), (*Pinus sylvestris* L.), сосна веймутова (*Pinus strobus* L.), модрина європейська (*Larix decidua* Mill.), модрина сибірська (*Larix sibirica* Ledeb.), ялиця біла (*Abies alba* Mill.), ялина звичайна (*Picea abies* (L.) H. Karst.), ялина колюча (*Picea pungens* Engelm.). Менш поширені – ялиця корейська (*Abies koreana* E.H. Wilsoni), ялина сербська (*Picea omorica* (Panc.) Purk.), тсуга канадська (*Tsuga canadensis* (L.) Carr.). З родини Cupressaceae Gray, яка нараховує 44 таксони, найпоширенішими є дерева II і III величини: туя західна (*Thuja occidentalis* L.), кипарисовик Лавсона (*Chamaecyparis lawsoniana* (A. Muttag) Parl.) та чагарники: ялівець козацький (*Juniperus sabina* L.), ялівець китайський (*Juniperus chinensis* L.). Поодинокі трапляється метасеквоя китайська (*Metasequoia glyptostroboides* Huet Cheng) та криптомерія японська (*Cryptomeria japonica* (L.) D. Don.). З інтродукованих листяних провідними за

кількістю таксонів є родини Rosaceae L., (28 таксонів), Betulaceae C.A. Agardh. (13), Leguminosae Lindl. (8). Серед листяних інтродуцентів переважають дерева II та III ярусів: явір (*Acer pseudoplatanus* L.), береза повисла (*Betula pendula* Roth), гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L.), липа широколиста (*Tilia platyphyllos* Scop.), ліщина звичайна (*Corylus colurna* L.), горіх грецький (*Juglans regia* L.), дуб червоний (*Quercus rubra* L.).

Для екотопу характерні широко розповсюджені ґрунти (урбоземи, урбоґрунти), які успадкували від фонових ґрунтів Лісостепу гранулометричний склад і основні фізико-хімічні характеристики, але відрізняються перемішуванням верхніх горизонтів, щербистістю та сторонніми включеннями (будівельне сміття, шлаки і т.п.). Характерним для цих ґрунтів є те, що швидкість розкладу рослинних решток нижча від швидкості їхнього виносу, і чим більша різниця між ними, тим менше залишається основ у верхніх горизонтах, тим більше нагромаджується вільних органічних кислот, які осідають в ілювіальному горизонті в міру збільшення вмісту основ, і підвищення рН. Ґрунти придатні для росту і розвитку більшості рекомендованих листяних видів за незначної меліорації (видалення будівельних решток, відходів шлаку); для хвойних рослин при формуванні зелених насаджень і при високому рН рекомендовано зниження до нейтральної або слабо кислої реакції ґрунтів шляхом внесення торфу. У сформованих мішаних групах з лісовою підстилкою рН ґрунту регулюється природним шляхом.

Уявлення про парк як про місце відпочинку трохи застаріло. Справжнє значення будівництва парків: «наслідувати природу, а не підміняти її». Одним з найважливіших напрямків реалізації біопозитивного підходу до екологічної реконструкції міського середовища є формування садово-паркових просторів зі збільшенням площ, на яких переважають компоненти природи. Саме з новими (створеними людиною) фрагментами садово-паркового ландшафту пов'язуються певні сподівання подолати такі негативні явища, як техногенна запиленість атмосфери, збільшена загазованість і зменшена іонізація повітря. Парки, сади, сквери належать до числа компонентів міського ландшафту, які безпосередньо впливають на стан навколишнього середовища, включно з її екологічною стійкістю. При цьому найбільший ефект досягається у тому випадку, коли у паркові простори перетворюються території, раніше зайняті промисловим виробництвом або звалищами.

Відродження острівків природи в кожному конкретному випадку має контекстуальні особливості, відображаючи одночасно як специфічний характер оточення, так і наміри проектувальників ввести індивідуальні риси і новий образний зміст у вигляд паркових просторів. Зростання ролі дизайнерських підходів до формування садово-паркового ландшафту значним чином пов'язано з можливістю протиста-

вити хаотичності міських просторів живописність природних фрагментів середовища і певну геометричну упорядкованість та стилістичну виразність.

Динамічне оновлення уявлень про ландшафт садів і парків у країнах Європи свідчить про широкі можливості інтерпретації «поверненої» природи для компенсації зростаючого техногенного впливу урбанізованого середовища на людину і створення умов для активної рекреації у природному оточенні.

Насадження формуються із автохтонних, аборигенних та інтродукованих видів рослин, які успішно пройшли акліматизацію (гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum*), горіх грецький (*Juglans regia*), платан кленолистий (*Platanus x acerifolia*), гінго дволопатеве (*Ginkgo biloba*), ялина колюча (*Picea pungens*), катальпа бігніонієвидна (*Catalpa bignonioides*), не несуть загрози інвазійного характеру та мають достатню екотипну диференціацію. В меморіальних частинах парків і скверів допускається ширше використання, стійких в міському середовищі, декоративних форм та сортів рослин.

**Екотопи житлових масивів сучасної та старої забудови.** Для екотопів характерні строкаті ґрунти (урбоземи, урбоґрунти), які успадкували від фонових і завезених ґрунтів гранулометричний склад і основні фізико-хімічні характеристики, але відрізняються перемішуванням верхніх горизонтів, сильним засміченням і ущільненою структурою поверхневого шару ґрунту. При культивуванні рослин є потреба у штучному створенні едафотопу: для деревних рослин – по об'єму кореневої системи рослини у віці 30 років; для трав'янистих рослин створення культурного шару ґрунту глибиною не менше 30 см. Екранування ґрунтів або їх іригація є обов'язковими в залежності від ступеня трансформації ґрунтів. Як правило, екранування ґрунтів і іригація території доповнюють одне одного і є найбільш ефективним методом забезпечення успішного росту і розвитку рослин.

Для більшості рекомендованих для озеленення рослин ґрунти потребують індивідуального покращення та оптимізації їх структури і родючості. Як правило, посадкові ями потребують повної заміни ґрунтів, або змішування садивних субстратів з існуючим ґрунтом у пропорції 1:1.

Одним з основних параметрів, що визначають можливість ландшафтного облаштування житлових територій, є щільність забудови. Щільність забудови обумовлює інтенсивність використання території, співвідношення забудованих і незабудованих просторів, можливості функціонального зонування і форми ландшафтного оформлення прибудинкових просторів. Тому першочергові засоби і методи такого облаштування різні для ділянок з різною щільністю.

Даний тип екотопів характеризується середньою (4–5 тис. м<sup>2</sup>/га) і низькою (2–3 тис. м<sup>2</sup>/га) щільністю забудови.

Першочерговими засобами і методами обладнання *житлих територій низької щільності* є:

- збереження екстенсивного характеру навантаження під час реконструкції садибної і приватної забудови;
- рекультивація пустирів і ліквідація стихійних звалищ сміття і побутових відходів;
- модернізація дорожно-стежкової мережі зі збереженням існуючих насаджень.

Першочерговими засобами і методами обладнання *житлих територій середньої щільності* є:

- введення граничного нормативу щільності забудови для кварталів, що знову реконструюються, з метою збереження потенціальних площ для зеленого будівництва і благоустрою внутрішньо кварталних і прибудинкових просторів;
- виконання спеціальних проектів ландшафтного обладнання внутрішніх частин кварталів під час реконструкції історичних центрів;
- підтримка ландшафту кварталів п'ятиповерхівок в основному масиві міської забудови за рахунок збагачення видового складу насаджень верхнього ярусу, створення чагарникового ярусу і посадки нових дерев взамін тих, що випали з деревостану;
- обмеження гаражного будівництва і винос місць для стоянок автомобілів.

Для житлових територій високої щільності (6–8 тис. м<sup>2</sup>/га), що характерно для сучасної забудови, притаманно:

- функціональне зонування в межах мікрорайонів з виділенням рекреаційних зон місцевого значення для різних категорій населення, в першу чергу дитячих;
- винесення автостоянок за межі внутрішньої частини мікрорайонів або спорудження підземних паркінгів, вбудованих гаражів, обмеження транзитного проїзду автотранспорту;
- реабілітація прибудинкових просторів з пошуком оптимальної просторової диференціації дворів для різних типів забудови: розімкненою, рядковою, замкнутою, з точковими будинками, утворюючими наскрізні ділянки;
- рекультивація створення нових насаджень за принципом зелених плям в просторі дворів і мікрорайонів, облаштування пустирів і буферних територій.

Для вертикального озеленення будівель та споруд потрібно ретельно добирати рослини та продумати вид озеленення: поодинокі, фрагментарне чи суцільне. Крім того, слід врахувати архітектуру будівлі: виткі рослини повинні доповнювати та прикрашати, а не закривати цінні елементи архітектури. Для таких цілей найкраще використовувати поодинокі та фрагментарні посадки ліан. Для декорування менш цінних та непривабливих будівель, а також глухих стін доцільно застосувати суцільне озеленення. Споруди садово-паркової архітектури та малі архітектурні форми: трельяжі, перголи, альтанки, навіси, підпирні стінки тощо, слід озеленювати з вра-

хуванням ступеню їх декоративності, розмірів та матеріалу виготовлення.

Аналіз **екотопів на територіях промислових підприємств та автотранспортних систем** продемонстрував деяку схожість. По ступеню руйнівного впливу на міський ландшафт транспортні системи, території промислових підприємств можна віднести до стабільно агресивних. Тому щодо них виникає максимальна необхідність пошуку ресурсів природи, які здатні знизити гостроту існуючих проблем.

**Екотопи територій промислових підприємств.** Потужний промисловий комплекс міста Києва з 100 підприємствами різних галузей здійснює значний антропогенний тиск як на зелені зони міста, так і на приміські природні осередки флори.

При підборі асортименту рослин для озеленення промислових територій потрібно мати на увазі, що дерева і чагарники, стійкі до одних виробничих забруднень, можуть бути нестійкі до інших. Особливу увагу необхідно звернути на газон, як на один з найважливіших елементів благоустрою промислових територій.

Є багато розробок з озеленення промислових вузлів і підприємств окремих галузей промисловості зі специфічними вимогами до ландшафтної організації території, благоустрою і озеленення. Більш привабливими для ландшафтного дизайну є також промислові території підприємств, які втратили свої функції.

Під час озеленення промислових підприємств рослини потрібно підбирати за особливими вимогами: вони повинні бути стійкими до промислових викидів і мати здатність швидко відновлюватися. Асортимент таких рослин в недалекому минулому не відрізнявся особливою різноманітністю, і складався в основному з листопадних деревно-чагарникових рослин, газонних трав, трав'янистих квітково-декоративних, декоративно-листяних багаторічників і однорічників. Тобто з рослин, здатних відновлювати свою біомасу, яка постійно піддається впливу шкідливих викидів. Хвойні деревно-чагарникові рослини, за рідкісним винятком, майже не застосовуються в озелененні промислових підприємств, тому що голчасті й лускоподібні листові пластинки цих рослин оновлюються раз в 3–5 і навіть більше років, встигаючи за цей час накопичити велику кількість шкідливих речовин. Листопадні рослини щорічно оновлюють свої листові пластинки. Деревні і чагарникові рослини в таких умовах відчувають себе гірше, ніж газони та квітники.

Асортимент рослин для озеленення територій промислових підприємств залежить головним чином від виду промислових викидів та їх концентрації в повітрі. Озеленені ділянки повинні становити не менше 15–25% загальної площі підприємства. Асортимент деревних рослин, як правило, вузькоспеціалізований і може нараховувати до п'яти видів (тополі білої, тополі чорної, тополі чорної 'Italica',

платикладусу (широкогілочник) східного, ялини колючої).

Санітарно-захисні зони промислових підприємств, окрім ділянок землі навколо підприємств, повинні включати і частину території підприємств по їх периметру. Зважаючи на масштаби підприємств і об'єми викидів, ширина зелених насаджень повинна бути максимальною. Як правило, ці зони розташовують з підвітряного боку підприємства, але в наших умовах їх засаджують деревами та чагарниками по всьому периметру з врахуванням коридорів для ефективного провітрювання. Вони мають вигляд лінійних парків чи лісопарків. Найбільш придатними і екологічно ефективними видами для захисних зон є високорослі види тополі (*Populus alba*, *Populus nigra*, *Populus nigra* 'Italica'), дуба звичайного (*Quercus robur*) та сосни звичайної (*Pinus silvestris*). Залежно від шкідливості забруднювачів, що викидаються, й можливості їх очистки кожне з підприємств відносять до того чи іншого класу шкідливості. На зовнішній межі санітарно-захисної зони, зверненої до житлової забудови, концентрації та рівні шкідливих чинників не повинні перевищувати їх допустимих нормативів (ГДК, ГДР), а на межі курортно-рекреаційної зони – 0,8 значення нормативу.

**Екотопи інтенсивних автотранспортних систем і територій з твердим покриттям.** Транспортна інфраструктура міста тісно пов'язана з міжнародними і регіональними автодорогами та розгалуженою залізничною мережею. Комплексна трансформація (деградація) екотопів у насадженнях вулиць складає 100%. Такі фактори, як сухість (більше повітряна й місцями ґрунтова), критично низька родючість і зруйнованість структури ґрунтів, зростаюча алкалізація ґрунтового вбирного комплексу й хімічна забрудненість екотопів, особливо, в насадженнях вулиць і в напрямку до центру міста, найбільше погіршують умови вирощування деревних рослин. Під тиском трансформації урбанізованого середовища міста у дерев відбуваються зміни в феноритміці й у морфо-анатомічній будові асиміляційного апарату. Від лісу й парку до повністю змінених екологічних умов вулиць, особливо центру міста, змінюються морфологічні й анатомічні параметри листків переважно в бік зменшення, посилюється їх ксероморфність. Зменшення площі асиміляційних органів, в кінцевому випадку, призводить до ослаблення дерев, зниження їх життєвості, збільшення захворювань втрати екологічної ефективності та декоративності.

В умовах насаджень вулиць і малих скверів у деревних рослин виявлені стійкі ознаки розбалансування живлення азотом, дефіциту фосфору, магнію, неприродньо високий рівень надходження в листки калію, кальцію та решти зольних елементів. Середовищевірні функції цих насаджень мінімальні. Найбільше шкодить рослинам низка екологічних чинників:

- концентрація пилу в повітрі, особливо в літній період року;
- низька вологість (сухість) повітря при жаркій погоді з вітром;
- різке коливання температури повітря протягом доби (перегрів вдень);
- систематичне забруднення прилеглих територій і пригрунтового шару повітря в зв'язку зі збільшенням транспортних потоків і автомобільних викидів;
- накопичення в ґрунті шкідливих для рослин та інших живих організмів речовин, пов'язаних з заходами по очищенню полотна дороги (надлишок хлоридів та важких металів);
- промерзання прикореневого шару ґрунту на підвищеннях, відкритих провітрюваних ділянках, особливо в холодні малосніжні зими.

Ґрунти цих екотопів не зберігають природну структуру й не володіють природними властивостями, сильно забруднені. При створенні зелених насаджень потребують повної заміни на садові субстрати чи природні ґрунти.

У вуличних насадженнях потрібно повністю відмовитись від нових посадок клена ясенелистого (*Acer negundo*), дуба червоного (*Quercus rubra*), робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia*), тополі дельтолиста (*Populus deltoides*), обмежити використання гіркого каштана в безпосередній близькості від проїзної частини; у вуличних насадженнях доцільно використовувати густооблиственні, компактні кулясті, колоноподібні та пірамідальні форми (дуба звичайного – *Quercus robur* f. *fastigiata*, граба звичайного – *Carpinus betulus* 'Fastigiata', тополі чорної – *Populus nigra* 'Italica', тополі китайської – *Populus simonii* 'Fastigiata', платана – *Platanus* × *hispanica* 'Pyramidalis').

Асортимент рослин має бути стійким в міських умовах зростання і відрізнятися довголіттям. Висаджування дерев і чагарників у межах червоних ліній вулиць і магістралей має проектуватися так, щоб крони рослин не перешкоджали руху міського транспорту, не поглинали світла вуличних ліхтарів і забезпечували збереження підземних комунікацій.

При озелененні вулиць житлових масивів та проїздів, з малою інтенсивністю руху, можна рекомендувати лінійні посадки різних видів: декоративних яблунь, горобин, глоду, берез, кленів, в тому числі кулястих плакучих форм в поєднанні з квітниками з багаторічників і красиво квітучими чагарниками. Для контрасту доцільно включати хвойні, газостійкі види: біоту східну, різні види ялівців.

У живоплотах, що відгороджують проїзну частину дороги від пішохідної, доцільно використовувати рослини з яскравою корою та пагонами: яскраво-червоні дерен білий – *Cornus alba* L. 'Sibirica Variegata', свидину – *Cornus sanguinea* L., дерен шовковистий – *Cornus sericea* L.; зелено-жовті пагони *Cornus sericea* 'Flaviramea'. Для цих екотопів

рекомендований вузькоспеціалізований стійкий асортимент рослин, які виконують захисну (пиловловлюючу, шумозахисну) і декоративну функції.

**Екотопи намівних пісків і штучних едафотопів.** Намивні піски – це підняті з геологічних горизонтів на денну поверхню піщані породи способом гідронамиву. Райони Києва, створені на намівних пісках віднесено нами до складу порушених земель, які за відсутності гумусового горизонту належать до найекстремальніших трофотопів. До негативних властивостей, перш за все, слід віднести бідний мінералогічний склад, легкий гранулометричний склад із вмістом фізичного піску 90% і більше. Річна сума опадів значно більша від їхнього сумарного випаровування. Це визначає промивний тип водного режиму, який у свою чергу, обумовлює систематичний винос продуктів звітрювання, мінеральних добрив і фрагментів розкладання біомаси за межі ґрунтового профілю. А оскільки рівень ґрунтових вод, особливо в осінньо-весняний період, піднімається до материнської породи та у нижні шари профілю, то біологічний кругообіг речовин постійно розривається, що створює серйозні перешкоди для антропогенного ґрунтоутворення.

Піщані й глинисто-піщані ґрунти вирізняються з усіх зональних ґрунтів, мають низьку природну, потенційну та ефективну родючість, що вимагає не тільки виважених способів її використання, але й надійних способів окультурення, тобто створення родючого ґрунту.

Із найбільш відомих і перевічених часом способів окультурення піщаних ґрунтів необхідно виокремити два: поглиблення орного шару з метою збільшення об'єму сприятливої для рослин кореневмісної частини ґрунтового профілю та удобрення, яке ще у XIX ст. асоціювалося з угноєнням.

Головною перешкодою у підвищенні продуктивності піщаних ґрунтів є дефіцит фізичної глини й активних компонентів у гранулометричному складі, в першу чергу мулистої фракції, що не дає можливості підтримувати на задовільному рівні водний режим, у зв'язку з чим вони вимагають спеціальних способів відтворення родючості.

Створення системи штучних насаджень повинно здійснюватися за принципом заліснення пісків або створення полезахисних смуг (загущені посадки), які в подальшому стануть природними осередками оздоровлення життєвого простору людини. Ландшафтне планування територій при цьому є пріоритетним. Лише за умови досягнення 50% «заліснення» території намівних екотопів можливий перехід до застосування прийомів декоративного озеленення окремих меморіальних і рекреаційних зон, бо будуть знаходитися під сприятливим впливом захисних насаджень.

**Екотопи заплави річки Дніпро, річкових систем, болотних угідь.** Острівками поширені чорноземні ґрунти, які є дуже родючими. У заплавах річок на піщаних відкладах переважають піщані ґрунти, їх

родючість низька. Широкі заболочені низини в своїй генезі вкривалися мохово-лишайниковими та осоково-очеретяними угрупованнями, де утворились торфоболотні ґрунти і торфовища. Рекомендується збереження таких фітоценозів, так як болотні угруповання є одними з найпродуктивніших в екологічному плані. В заплавах річок залягають лугові і болотні ґрунти на алювіальних відкладеннях з характерним оглеєнням нижньої частини профілю, важчим гранулометричним складом, накопиченням грубого гумусу. Екотопи заплав річок рекомендується зберегти в природному вигляді, а на порушених територіях провести компенсаційне озеленення.

Заміна природних фітоценозів агроценозами, систематичне відчуження органічної речовини, великомасштабні меліоративні роботи, обробіток ґрунтів потужними знаряддями, комплексна хімізація – це лише окремі напрями діяльності людини, що різко змінюють не тільки головні властивості ґрунтів, а й процес ґрунтоутворення в цілому. Тому прибережні захисні смуги є природоохоронною територією з режимом обмеженої господарської діяльності.

**Екотопи яружно-балкових систем і природного відшарування**, на наш погляд, найменш вивчені. В ході роботи виділені основні елементи даних екотопів, а також проводиться аналіз асортименту рослин різного функціонального призначення.

Будь-який результат (руйнування ґрунту, зсуви, насипання гір або намивання піску) призводить до проблеми створення рослинного покриву, яку необхідно вирішувати на основі спеціально розроблених технологій і методів рекультивації ґрунтів.

Кар'єри після видобутку каміння, піщаника, землі є об'єктами, які при неправильній експлуатації часто порушують оточуюче середовище і надають йому непривабливого вигляду. Щоб цього уникнути необхідно:

- експлуатація таких об'єктів повинна обмежуватись по можливості невеликими площами;
- після закінчення таких робіт необхідно знайти спосіб включення таких об'єктів в композицію оточуючого ландшафту.

Це можливо досягти залісненням та моделюванням частини території, озелененням таких районів та, відновивши біологічну єдність рослинності в навколишньому середовищі.

Шляхом заліснення, ці виробничі сектори повинні бути включені в оточуюче середовище як масиви зелених насаджень. На великих площах відвалів після заліснення необхідно формувати ландшафти і відводити під зони екстремального туризму і спорту, активного відпочинку. Такі об'єкти неподалік населених пунктів, можуть бути включені в лісопаркову зону, як скелясті ділянки разом з місцями відпочинку при систематичному їх озелененні та ландшафтному оформленні.

Яружно-балкові системи та природні відшарування становлять поширену категорію екотопів, осо-

бливо у містах лісостепової зони, розташованої на правих берегах рік. При дослідженні даного виду екотопів необхідно звертати увагу на неоднаковість умов створення рослинного покриву на схилах та рівнинних ділянках, а також на функціональне призначення рослин. При заміні природного складу рослинності на невластиві для даних ґрунтово-кліматичних умов це призводить до дестабілізації схилів.

Для даного виду екотопів характерні наступні прояви геодинаміки: лінійна ерозія з утворенням промоїн; дестабілізація фундаментів будівель і споруд унаслідок повільного крипу верхньої товщі ґрунтів, що перебувають під навантаженням; руйнування штучних підпірних стінок і терас; значний змив, що захоплює ділянки незакріплених схилів. До складу обов'язкових передпроектних досліджень необхідно включити трасування ліній опуклих та випуклих перегинів, які розділяють схили різної крутизни і експозиції; чітке означення меж елементарних водозбірних чарунок; оцінка ступеня розвитку і поширення ерозії, ступеня порушення ґрунтового покриву.

Чим більший схил, тим важче створити на його поверхні рослинний покрив. Кращим варіантом є сумісне використання деревної та трав'янистої рослинності, яка складається з низьких (0,6–0,7 м), щільних 3–4-рядових смуг, під ними треба висівати дернові трави. Круті схили перед висадкою насаджень потрібно терасувати.

**Висновки.** Всебічна оцінка загального стану деревних рослин в урбанізованому середовищі ґрунтується на врахуванні його трансформованості за комплексом природних та антропогенних екологічних чинників. Умови території Києва для деревних видів є задовільними за ґрунтово-кліматичними особливостями і критичними за рівнем техногенного навантаження. В урбоєкосистемі Києва комплексна трансформація екотопів у насадженнях парків відносно лісового (контроль) становить 55%, скверів і садів – 80%, а в насадженнях вулиць – 100%. Такі фактори, як сухість (більше повітряна й місцями ґрунтова), критично низька родючість і порушення ґрунтів, хімічна забрудненість екотопів, особливо, в насадженнях вулиць і в напрямку до центру міста, найбільше погіршують умови вирощування деревних рослин.

Досягнення сталого розвитку урбоєкосистем міста Києва та оздоровлення життєвого простору людини можливе лише за умови формування повноцінної і масштабної системи зелених насаджень з ефективною середовищевірною (екологічною) функцією. Насадження з пріоритетною декоративною функцією мають забезпечувати підтримку оптимізованої екологічної ситуації. Головним принципом створення зелених насаджень з середовищевірною (екологічною) функцією є фітоценотичний, а методом формування культурфітоценозів є метод інтродукційної популяції. Моделювання природних

фітоценозів в урбоекосистемах, перехід на генетико-селекційні основи формування міських зелених насаджень, створення повноцінної екологічної мережі та адекватне за площею урбокомпенсаційне озеленення зможуть кардинально покращити якість життєвого простору людини. В ідеалі урбанізовані екосистеми, як і природні, мають бути самодостатніми й продукувати власну енергію для потреб мегаполісу, або максимально мінімізувати затрати на підтримку свого розвитку.

Екологічне зонування та формування ефективної екологічної мережі міста Києва є надзвичайно актуальною задачею в контексті забезпечення сталого розвитку урбанізованих екосистем. Особливості гідрографічної та едафічної сіток, фітоценотичної структури насаджень міста Києва, його околиць,

сприяють становленню повноцінної екологічної мережі, здатної оздоровити життєвий простір людини та відновити природне довкілля. В результаті екологічного зонування території міста Києва виділено 9 екотопів, цільова меліорація умов яких має вирішальне значення для збереження середовищевірних функцій зелених насаджень.

Природною і ключовою артерією екологічної мережі міста має стати долина річки Дніпро та його лівої притоки річки Десни. До головних артерій екологічної мережі Києва треба віднести і долини інших 8 річок міста – Віта, Глибочиця, Дарниця, Либідь, Нивки, Сирець, Скоморох, Совка та Наддніпрянські схили. Збереження і відновлення зелених насаджень в охоронних зонах цих артерій є запорукою ефективного функціонування екологічної мережі.

### Література

1. Голубець М.А. Геосоціосистемологія. Львів. Компанія «Манускрипт». 2013. 264 с.
2. Голубець М.А. Екосистемологія. Львів. Поллі. 2000. 316 с.
3. Голубець М.А. Середовищезнавство (інвайронментологія). Львів. Компанія «Манускрипт». 2010. 176 с.
4. Голубець М.А. Середовищезнавство, його пізнавальна та прикладна сутність. Український географічний журнал. 2008. № 1. С. 19–23.
5. Гродзинський М.Д. *Стійкість геосистем до антропогенних навантажень*. К. Лікей. 1995. 223 с.
6. Гродзинський М.Д., Шищенко П.Г. Ландшафтно-екологічний аналіз у меліоративному природокористуванні. К. Либідь. 1993. 224 с.
7. Лаптев О.О. Екологічна оптимізація біогеоценотичного покриву в сучасному урболандшафті. К. Вид-во Укр. екол. акад. наук. 1998. 208 с.
8. Малиновський А.К. Адаптації біосистем: проблеми методології досліджень. Наукові записки державного природознавчого музею. 2012. Вип. 28. С. 25–40.
9. Роль природних екотипів рослин у формуванні біорізноманіття та стійкості фіто систем до несприятливих умов / Ред. О.Т. Демків, О.О. Кагало, О.В. Лобачевська. Львів, 2011. 180 с.
10. Шумик М.І. Інтродукційна популяція як головний елемент у формуванні ботанічних експозицій та оптимізації урбанізованих екосистем. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. Вип.26.3. С. 208–216.
11. Gore A.I. *Earth in the Balance. Ecology and the Human Spirit*. Boston – New York. Houghton Mifflin Company. 1992 (у польському перекладі : *Ziemia na krawędzi. Człowiek a ekologia*. Warszawa. ETNOS. 1996. 282 s.

---

# УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

---

УДК 656.71:504.43.45

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.10>

## ЕКОЛОГО-МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕКИ ПОЛІГОНУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ (НА ПРИКЛАДІ ФАСТІВСЬКОГО РАЙОНУ)

Дмитруха Т.І.<sup>1</sup>, Черняк Л.М.<sup>1</sup>, Фролов В.Ф.<sup>2</sup>, Петрусенко В.П.<sup>1</sup>,  
Лапань О.В.<sup>1</sup>, Кондакова Т.С.<sup>1</sup>, Трофімов І.Л.<sup>1</sup>, Поливан Ю.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет  
пр. Гузара Любомира, 1, 03058, м. Київ

<sup>2</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський пр., буд. 31, 03037, м. Київ  
Dmitrucha79@gmail.com, frolov47@ukr.net

Розглянуто причини накопичення твердих побутових відходів у довкіллі та з'ясовано, що понад 90% побутових відходів потрапляють на звалища. Встановлено, що у зразках атмосферного повітря, взятих на відстані близько 500 м від тіла сміттєзвалища, вміст деяких шкідливих речовин, специфічних для резервуара зберігання твердих відходів, перевищує відповідну ГДК. Встановлено, що полігон обладнаний та експлуатується з порушенням санітарно-гігієнічних норм: немає відповідного контролю моніторингу забруднення ґрунтових вод, сортування відходів не проводиться, немає переносних сітчастих огорож для захоплення легкої (летючої) фракції відходів, дезінфекційні бар'єри на вході та на виході із сміттєзвалища не обладнані, не існує систем для збору фільтрату та біогазу, робочі картки не формуються, процедура зберігання відходів на робочих картках не розроблена, регулярне скидання шарів твердих побутових відходів ізольованим матеріалом не проводиться. Найбільш вагомим і довгостроковим впливом на навколишнє середовище місць видалення відходів є утворення фільтрату та його негативний вплив на поверхневі та підземні води.

При дослідженні ґрунтів у районі розташування сміттєзвалища було визначено значне забруднення ґрунту сполуками важких металів. У колодязях жителів м. Фастова, що знаходиться поза межею зони нормативної санітарно-захисної охорони, спостерігаються забруднення води важкими металами та аміачним азотом.

Встановлено перевищення середнього регіонального показника рівня захворюваності населення за такими класами захворювань: захворювання серцево-судинної системи (м. Фастів – у 1,8 рази, с. Веприк – у 1,3 рази, с. Червоне – у 1,2 рази); респіраторні захворювання (майже в 2 рази перевищують середній показник по регіону в м. Фастові, селах Веприк та Червоне), інфекційні захворювання (м. Фастів – у 2,3 рази, с. Веприк – у 1,8 рази). *Ключові слова:* забруднення, побутові відходи, Фастівський район, звалище.

**Ecological-mathematical analysis of the danger of the household waste landfill for the environment (on the example of the Fastiv district). Dmytrukha T., Cherniak L., Frolov V., Petrusenko V., Lapan O., Kondakova T., Trofimov I., Polyvan Yu.**

The reasons for the accumulation of solid household waste in the environment were considered and it was found that more than 90% of household waste are composed in landfills. It was established that in the atmospheric air samples taken at a distance of about 500 m from the body of the landfill, the content of some harmful substances, specific for the solid waste storage tank, exceeds the relevant MPC. It was established that the landfill is equipped and operated in violation of sanitary and hygienic standards: there is no appropriate control of groundwater pollution monitoring, waste sorting is not carried out, there are no portable mesh fences to capture the light (volatile) fraction of waste, disinfection barriers at the entrance and exit from landfills are not equipped, there are no systems for collecting of filtrate and biogas, work cards are not formed, the procedure for storing waste on work cards is not developed, regular dumping of layers of solid household waste with insulating material is not carried out. The most significant and long-term environmental impact of the waste disposal sites is the formation of filtrate and its negative impact on surface and underground waters.

During the study of soils at the area of the landfill, significant soil contamination with heavy metal compounds was determined. Water pollution with heavy metals and ammonia nitrogen is observed in the wells of residents of Fastiv, which is outside the zone of normative sanitary protection.

An excess of the average regional indicator of the level of morbidity of the population for the following classes of diseases was established: diseases of the cardiovascular system (in Fastiv – by 1.8 times, in Vepryk village – by 1.3 times, the in Chervone village – by 1.2 times); respiratory diseases (almost 2 times higher than the regional average in Fastiv, Vepryk and Chervone villages), infectious diseases (in Fastiv – by 2.3 times, in Vepryk village – by 1.8 times). *Key words:* pollution, household waste, Fastiv district, landfill.

**Постановка проблеми.** Надмірне накопичення твердих побутових відходів у довкіллі, несанкціоновані сміттєзвалища та неправильна експлуатація полігонів є однією з найгостріших проблем сучас-

ності. За даними Міністерства охорони довкілля, в Україні щорічно утворюється пів мільярда тонн відходів, понад 90% з них відправляють на звалища. За 2019 р. утворилося 441,5 млн тонн відходів,



108 млн тонн утилізували і 239 млн тонн відправили на зберігання. Загальний обсяг накопичених відходів склав 15 млрд 398,6 млн тонн, в 2020 р. – 15 млрд 635,3 млн тонн. За минулий рік побутового та промислового сміття в Україні утворилося 462,4 млн тонн: утилізували – 100,5 млн тонн, відправили на зберігання – 276 млн тонн.

Також зовсім невеликий обсяг відходів в Україні спалюють – в середньому 1–1,1 млн тонн за рік. 95% з нього потрапляє на звалища та полігони. Несанкціонованих звалищ в Україні – понад 30 тисяч, полігонів – більше 6 тисяч.

**Актуальність.** Відомо, що в Україні існує система збирання та перероблення небезпечних відходів, яка регламентується чинним законодавством, проте, дуже часто налагоджений облік і контроль стосовно збирання і переробки небезпечних відходів існує лише на великих підприємствах та установах. Тому, дуже часто, небезпечні відходи, разом з побутовими, потрапляють на полігони або несанкціоновані звалища.

**Зв'язок автора доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Враховуючи ситуацію, яка склалася на сьогоднішній день, вирішено було провести дослідження щодо безпеки полігону побутових відходів для довкілля (на прикладі Фастівського району).

Метою роботи було надати оцінку рівня забруднення території, прилеглої до Фастівського полігону та з'ясувати чи є зв'язок між показниками здоров'я людей, що проживають поруч з полігоном та небезпечними процесами, які характерні для полігону твердих побутових відходів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Як відомо, основними принципами державної політики у сфері поводження з відходами є захист навколишнього середовища та здоров'я людини від негативного впливу відходів [1–5], які повинні включати обов'язковий облік відходів, що утворюються в процесі роботи промислових об'єктів, а також сприяти розробці методів та технологій, які б дозволяли максимально здійснювати повторне використання відходів. На жаль, на сьогоднішній день, дуже часто фіксується порушення режимів експлуатації полігонів та сміттєзвалищ, Самовільне розміщення відходів у невідновлених та непридатних для цього місцях, невиконання вимог стосовно поводження з відхо-

дами, що призводить до негативних екологічних та санітарно-епідеміологічних наслідків [6–10].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.**

Наявність несанкціонованих сміттєзвалищ є характерною рисою для багатьох міст України. Стан сміттєзвалища міста Фастова не відповідає встановленим вимогам: немає відповідних свердловин для моніторингу забруднення ґрунтових вод (зараз працює 3 свердловини), немає освітлення та води для побутових проблем. Сортування відходів глобально не проводиться. Полігон твердих побутових відходів міста Фастова діє з 1992 року, але на даний час діє як несанкціоноване сміттєзвалище.

**Новизна.** В існуючих літературних джерелах наведені дані стосовно стану полігонів в різних містах України і наразі відсутні дослідження щодо особливостей формування та безпеки полігону побутових відходів. Тому новизною даної роботи є оцінка безпеки відходів для довкілля та населення міста Фастів та району.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Аналіз оцінки безпеки полігону твердих побутових відходів для довкілля та здоров'я людей дозволить створити основи стосовно розробки і впровадження рекомендацій та рішень щодо мінімізації небезпечного впливу різних видів побутових відходів на навколишнє середовище.

**Виклад основного матеріалу.** В результаті досліджень було встановлено, що у зразках атмосферного повітря, взятих на відстані близько 500 м від тіла сміттєзвалища, вміст деяких шкідливих речовин, специфічних для резервуара зберігання твердих відходів, перевищує відповідну ГДК (сірководень – 1,125 ГДК, аміак – 1,15 ГДК, кротоновий альдегід – 1,2 ГДК) (Таблиця 1).

При дослідженні ґрунтів у районі розташування сміттєзвалища було визначено значне забруднення ґрунту сполуками важких металів, за рахунок цього спричиняється поширення забруднення від сміттєзвалища (табл. 2).

Так, на відстані 100 м від сміттєзвалища концентрація ртуті в ґрунті в 5 разів перевищує ГДК; також є надлишок нікелю – 1,137 ГДК, кадмію – 2,653 ГДК, свинцю – 2,386 ГДК, хрому – 2,818 ГДК, що стано-

Таблиця 1

**Вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі на відстані 500 м від тіла полігона біля м. Фастів**

Дослідна речовина	Вміст хімічних речовин в атмосферному повітрі, / (максимально разова)	Частки ГДК	ГДК, мг/ (максимально разова)
Сірководень	0,007 – 0,009	0,9 – 1,125	0,008
Аміак	0,18 – 0,23	0,9 – 1,15	0,2
Кротоновий альдегід	0,004 – 0,006	0,8 – 1,2	0,005

Таблиця 2

## Вміст забруднюючих речовин у ґрунті у районі розміщення Фастівського полігона

Показник, одиниця виміру	100 м від полігона	500 м від полігона	ГДК
Реакція середовища	7,85±0,21	7,57±0,12	-
Нікель, мг/ дм <sup>2</sup>	96,71±13,21	13,98±3,33	85,0
Кадмій, мг/ дм <sup>2</sup>	3,98±0,41	0,44±0,08	1,5
Ртуть, мг/дм <sup>2</sup>	10,4±2,38	0,36±0,04	2,1
Свинець, мг/ дм <sup>2</sup>	76,36±23,24	1,87±0,05	32,0
Хром, мг/ дм <sup>2</sup>	16,91±2,71	5,69±1,23	6,0

Таблиця 3

## Вміст пріоритетних забруднювачів у воді поверхневих водойм у районі розміщення Фастівського сміттєзвалища

Показник, одиниця вимірювання	Озеро фільтрату	Річка Унава	ГДК, гігієнічний норматив
pH	8,2±0,07	7,8±0,03	6,5–8,5
Сухий залишок, мг/ дм <sup>2</sup>	1500,0±154,21	997,0±48,32	1000,0
ХСК, мг/ дм <sup>2</sup>	15000,0±258,92	158,0±33,43	30,0
БСК5 мг/ дм <sup>2</sup>	4581,2±38,25	37,1±12,3	6,0
Хлориди, мг/ дм <sup>2</sup>	913,4±8,84	89,27±2,03	350,0
Сульфати, мг/ дм <sup>2</sup>	148,93±22,67	96,63±23,44	500,0
Аміак, мг/ дм <sup>2</sup>	22,5±12,05	0,34±0,02	2,0
Свинець, мг/ дм <sup>2</sup>	0,01±0,001	0,008±0,001	0,03
Нікель, мг/ дм <sup>2</sup>	0,86±0,07	0,07±0,012	0,1
Кадмій, мг/ дм <sup>2</sup>	0,098±0,01	0,02±0,001	0,001
Цинк, мг/ дм <sup>2</sup>	3,61±0,84	0,35±0,02	1,0
Залізо, мг/ дм <sup>2</sup>	8,59±1,01	0,18±0,01	0,3
Ртуть, мг/ дм <sup>2</sup>	0,014±0,001	0,00017±0,00005	0,0005

вить загрозу для підземних водоносних горизонтів, а також може бути перешкодою для подальшого використання цієї території для житла, рекреаційних об'єктів або як сільськогосподарські угіддя. На відстані 500 м від тіла полігона в житловому районі вміст важких металів не перевищує гігієнічних норм. Найбільш вагомим і довгостроковим впливом на навколишнє середовище місць видалення відходів є утворення фільтрату та його негативний вплив на поверхневі та підземні води. Фільтрат утворюється не тільки в результаті надходження будь-якої рідини ззовні, але також є побічним продуктом розпаду органічних речовин.

На полігоні Фастів немає системи збору та очищення фільтрату. Експертиза на місці показала, що в районі, де знаходиться зберігання відходів, спостерігається накопичення фільтрату, який збирається нижче за рельєфом в озеро фільтрату.

Фільтрат полігону характеризується високим вмістом органічних та неорганічних речовин, а також іонів важких металів. Рідина за своїм складом може бути прирівняною до висококонцентрованих стічних вод (таблиця 3).

Пріоритетними забруднювачами фільтрату сміттєзвалища є органічні речовини, які важко піддаються біологічній деструкції (згідно ХСК, БСК5), аміак, солоність, хлориди та важкі метали.

Відбувається забруднення води річки Унава органічними речовинами, в основному металами, які важко окислюються (ХСК перевищує гігієнічний стандарт водних об'єктів для культурного та побутового використання в 5 разів, БСК5 – у 6) та важких, зокрема кадмію (20 ГДК).

У колодязях жителів м. Фастова, що знаходиться поза межею зони нормативної санітарно-захисної охорони, спостерігаються забруднення води важкими металами та аміачним азотом (табл. 4).

Характерною особливістю фільтрату на сміттєзвалищі є високий вміст азоту амонійного при гальмуванні процесів нітрифікація токсичних речовин. Вплив сміттєзвалища відчутний навіть на відстані більше 10 км. Так, середній вміст азоту амонійного перевищує гігієнічний водний стандарт для шахтних свердловин на відстані 1 км від полігона в 2,5 рази, на відстані 10 км – в 1,2 рази.

**Вміст пріоритетних забруднювачів у воді шахтних колодязів  
у районі розміщення Фастівського сміттєзвалища**

Показник	Розміщення шахтних колодязів від тіла сміттєзвалища на відстані				
	1 км с. Червоне	3 км с. Веприк	5 км с. Мала Снітинка	7 км с. Велика Офірна	10 км с. Дідівщина
pH	6,6±0,08	6,65±0,07	6,68±0,05	6,7±0,03	6,73±0,01
Сульфати, мг/ дм <sup>2</sup>	121,98±12,3	138,81±2,4	151,25±2,1	158,3±1,8	164,67±0,8
Фосфати, мг/ дм <sup>2</sup>	0,437±0,03	0,385±0,038	0,364±0,031	0,321±0,027	0,227±0,018
Хлориди, мг/ дм <sup>2</sup>	71,69±6,79	60,35±4,24	59,61±3,36	43,97±2,21	41,62±1,97
Азот амонійний, мг/ дм <sup>2</sup>	6,5±1,64	4,4±1,59	3,7±1,52	3,5±1,47	3,2±1,33
Нітрати, мг/ дм <sup>2</sup>	9,65±2,03	12,6±1,59	13,4±1,53	13,9±1,46	14,3±1,41
Свинець, мг/ дм <sup>2</sup>	0,006±0,0006	0,005±0,0003	0,005±0,0025	0,004±0,0026	0,0036±0,0023
Мідь, мг/ дм <sup>2</sup>	0,475±0,22	0,017±0,006	0,016±0,003	0,013±0,002	0,0011±0,001
Нікель, мг/ дм <sup>2</sup>	1,43±0,46	1,16±0,023	0,74±0,019	0,29±0,015	0,06±0,009
Кадмій, мг/ дм <sup>2</sup>	0,0105±0,0007	0,0085±0,002	0,0069±0,001	0,0057±0,0009	0,0036±0,0008
Цинк, мг/ дм <sup>2</sup>	0,36±0,02	0,32±0,01	0,31±0,006	0,28±0,003	0,22±0,001
Ртуть, мг/ дм <sup>2</sup>	0,0015±0,0001	0,0009	0,0006	0,0005	0,0003

Водопровідна вода централізованого водопостачання для найбільш віддаленої від полігона частини м. Фастова відповідає гігієнічним вимогам.

Аналіз даних про захворюваність населення 4 населених пунктів (м. Фастів, с. Веприк, с. Мала Снітинка та с. Червоне) Київської області, розташованих навколо сміттєзвалища, дозволив встановити просторово-часові особливості формування показників здоров'я місцевого населення. Просторові (територіальні) характеристики захворюваності населення, що проживають у населених пунктах, прилеглих до сміттєзвалища, показали, що є тенденція зростання його показників для класифікації захворювань населення при зменшенні відстані до сміттєзвалища. Отже, зменшуючи відстань від сміттєзвалища в с. Мала Снітинка (5000 м до сміттєзвалища) до с. Червоне (близько 1000 м до сміттєзвалища)

спостерігали збільшення в 1,4 рази частоти патології серцево-судинної системи, в 1,7 рази – патології нервової системи; майже в 2 рази – інфекційна патологія (рис. 1).

Слід зазначити, що зі зменшенням відстані до сміттєзвалища частота онкологічної патології зростає в 2,3 рази. Динамічно-часова характеристика виявила зростання показників захворюваності в період з 2012 по 2015 роки в населення м. Фастова для всіх класів захворювань, що надаються (рис. 2).

В інших селах, навпаки, спостерігалося зниження рівня захворюваності, а саме: захворювання нервової системи – с. Червоне (на 28,9 випадків на 10 тис. населення), с. Веприк (на 246) онкологічна патологія – с. Веприк (на 17,5) захворювання серцево-судинної системи – с. Мала Снітинка (на 548 р.).



Рис. 1. Поширеність хвороб різних класів у дорослого населення сіл Київської області, проживаючих на територіях, прилеглих до Фастівського сміттєзвалища



Рис. 2. Динамічно-просторова характеристика онкологічної захворюваності мешканців населених пунктів Київської області, прилеглих до місця видалення твердих побутових відходів

Встановлено перевищення середнього регіонального показника рівня захворюваності населення за такими класами захворювань: захворювання серцево-судинної системи (м. Фастів – у 1,8 рази, с. Веприк – у 1,3 рази, с. Червоне – у 1,2 рази); респіраторні захворювання (майже в 2 рази перевищують середній показник по регіону в м. Фастові, селах Веприк та Червоне), інфекційні захворювання (м. Фастів – у 2,3 рази, с. Веприк – у 1,8 рази).

З метою об'єктивної оцінки стану здоров'я жителів територій, що є прилеглими до сміттєзвалища міста Фастів, було проведено опитування населення. Всього було опитано 86 осіб різного віку. За результатами опитування, більшість населення Фастова оцінює стан навколишнього природного середовища в їхньому місті та прилеглої території як незадовільний, пов'язуючи це з впливом сміттєзвалища, а також зазначає, що функціонування поблизу місцевості сміттєзвалища негативно впливає на стан здоров'я та умови життя мешканців [11].

**Висновки.** Використання полігону твердих побутових відходів міста Фастова відбувається з порушенням санітарно-гігієнічних вимог. Встановлено, що на відстані 100 м від сміттєзвалища концентрація ртуті в ґрунті в 5 разів перевищує ГДК; нікелю – 1,137 ГДК, кадмію – 2,653 ГДК, свинцю – 2,386 ГДК, хрому – 2,818 ГДК. Водопровідна вода централізованого водопостачання для найбільш віддаленої від полігона частини м. Фастова відповідає гігієнічним вимогам. У шахтних свердловинах зафіксовано перевищення середнього вмісту азоту амонійного на відстані 1 км від полігона в 2,5 рази, на відстані 10 км – в 1,2 рази. Зі зменшенням відстані до сміттєзвалища зростає частота онкологічної патології. Виявлено, що вода централізованого водопостачання для найбільш віддаленої від полігона частини м. Фастова відповідає гігієнічним вимогам. У шахтних свердловинах зафіксовано перевищення середнього вмісту азоту амонійного на відстані 1 км від полігона в 2,5 рази, на відстані 10 км – в 1,2 рази.

### Література

1. Тетеньова І. О. Вплив сміттєзвалища на довкілля та умови проживання населення. *Довкілля та здоров'я*, 2017. № 2. С. 26–30.
2. Петухов І. До відходів нема інших підходів – тільки знешкодження. *Міське господарство України*, 2000. № 1. С. 44–45.
3. Леонтьєва О. В., Мороз А. О., Свентух О. В., Грабко М. В., Мевш., О. О. Еколого-економічні проблеми утилізації твердих побутових відходів. *Вісник ВПШ*, 2004. № 3. С. 27–33.
4. Молчанова А. В. Екологічні аспекти впливу полігонів твердих побутових відходів на агроландшафт, водне середовище та атмосферне повітря. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2016. № 4. С. 106–110.
5. Научу Н. В., Водяник А. О. Екологічна безпека атмосферного повітря території навколо полігонів твердих побутових відходів. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, 2012. Вип. 2 (73). С. 160–163.
6. Радовенчик В. М., Гомеля М. Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] – К. : Кондор, 2010. 550 с.
7. Тимочко Т.В., Черненко Н.А. Відходи. *Всеукр. екол. ліга*, 2006. 28 с.
8. Тимочко Т.В. Поводження з відходами в Україні. *Всеукр. екол. Ліга*, 2017. 36 с.
9. Ткачук К. К., Ополінський І. О. Оцінка ступеня екологічної небезпеки в результаті складування органічних відходів. *Вісник КрНУ імені М. Остроградського*, Випуск 2/2018 (109). Ч. 1. С. 80–85.
10. Wiesen, K., Saurat, M., Lettenmeier, M. Calculation of material input per service unit using the ecoinvent database. *International Journal of Performability Engineering*, (2014), vol. 10. № 4. P. 357–366.
11. Полив'ян Ю. Оцінка впливу фастівського полігону твердих побутових відходів на довкілля 6-й Міжнародний молодіжний конгрес "Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування": збірник матеріалів. – Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. 314 с.

## СТРАТЕГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПЕРЕДУМОВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПІДХОДІВ У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

Пацева І.Г., Нонік Л.Ю.

Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир  
rig@ztu.edu.ua, kgt\_nlyu@ztu.edu.ua

Регіональна стратегія управління відходами є одним з найважливіших елементів управління соціально-економічним розвитком регіону. Реформування цієї системи, послідовне зменшення обсягів накопичення відходів у регіоні, обмеження їх утворення, збільшення обсягів переробки, утилізації, екологічно безпечного видалення та повторного використання має ґрунтуватися на вивченні та застосуванні кращого європейського досвіду, у тому числі запровадженні логістичного підходу до програм управління відходами.

Логістика стосується не тільки економічних проблем, але й питань, пов'язаних з необхідністю врахування проблем суспільства та охорони довкілля. Тому вирішувати проблему управління відходами можна за допомогою екологічної логістики. З точки зору захисту навколишнього середовища логістика охоплює весь життєвий цикл продукту, включаючи можливість переробки, необхідність утилізації відходів різними способами і вибір найбільш екологічного транспортування. Логістичні системи поводження з відходами повинні включати аналіз руху відходів від їх утворення в будь-якому виробничому процесі до перетворення в товарну продукцію або подальшої утилізації та безпечного зберігання в навколишньому середовищі.

Дослідження в галузі екологічної логістики є відносно новою сферою вивчення в Україні, проте закордонні науковці приділяють цій темі достатню увагу. Наразі існує проблема впровадження розроблених логістичних підходів до умов функціонування регіональних програм України. У статті на основі застосування технологій REST і SWOT-аналізу щодо впровадження логістичних підходів у систему управління відходами регіону, висвітлено основні проблеми та узагальнено сильні сторони застосування сучасних інноваційних методів управління для вирішення питань поводження з відходами. Визначений перелік проблем, дозволить розробити стратегічні рішення, які зможуть вирішити питання ризиків, які пов'язані з відсутністю комунікації та узгодження дій між зацікавленими сторонами під час впровадження логістичних підходів у систему управління відходами регіону. *Ключові слова:* екологічна логістика, логістика відходів, відходи, сталий розвиток, PEST-аналіз, SWOT-аналіз.

### Strategic analysis of the prerequisites for the implementation of logistics approaches in the waste management system at the regional level. Patseva I., Nonik L.

A regional waste management strategy is one of the most important elements of managing the socio-economic development of a region. Reforming this system, consistently reducing the amount of waste accumulation in the region, limiting its generation, increasing the volume of recycling, utilisation, environmentally safe disposal and reuse should be based on the study and application of the best European experience, including the introduction of a logistics approach to waste management programmes.

Logistics is not only about economic issues, but also about the need to take into account the concerns of society and the environment. Therefore, the problem of waste management can be solved with the help of environmental logistics. From an environmental perspective, logistics covers the entire product life cycle, including the possibility of recycling, the need to dispose of waste in various ways and the choice of the most environmentally friendly transport. Waste management logistics systems should include an analysis of the movement of waste from its generation in any production process to its transformation into marketable products or further disposal and safe storage in the environment.

Research in the field of environmental logistics is a relatively new area of study in Ukraine, but foreign researchers pay sufficient attention to this topic. At present, there is a problem of implementing the developed logistics approaches to the conditions of functioning of regional programmes in Ukraine. Based on the use of REST technologies and SWOT-analysis for the implementation of logistics approaches in the regional waste management system, the article highlights the main problems and summarises the strengths of applying modern innovative management methods to address waste management issues. The identified list of problems will allow to develop strategic solutions that will be able to address the risks associated with the lack of communication and coordination between stakeholders in the implementation of logistics approaches in the waste management system of the region. *Key words:* environmental logistics, waste logistics, waste, sustainable development, PEST-analysis, SWOT-analysis.

**Постановка проблеми.** Приблизно 56% від загальної кількості мешканців планети Земля (4,4 мільярда) сьогодні живуть у містах – великих забудованих територіях, які слугують економічними центрами та сприяють створенню 80% світового ВВП. Проте, не всі міста можна охарактеризувати комфортними для людей та сталими. У більшості випадків економічні показники досягаються шляхом

надмірного нераціонального розподілу природних ресурсів, що породжує негативні наслідки. Водночас попит на розширення споживання урбанізованих територій не зменшується. Очікується, що тенденція збережеться й до 2050 року 7 з 10 осіб житиме у міському середовищі [1].

Варто звернути увагу на те, що політичні та збройні конфлікти сприяють тиску на міста. Зокрема,

це відбувається через переселення вимушено переміщених осіб і біженців. Це прослідковується на прикладі російсько-української війни: за майже 2 роки повномасштабного вторгнення кількість офіційно зареєстрованих внутрішньо переміщених осіб в країні досягає 4,9 мільйона, більшість з яких тимчасово або на постійно переїхали жити до міст [2]. Тобто, від декількох десятків тисяч до декількох сотень тисяч осіб створили масштабний додатковий тиск на нові місця проживання.

В наслідок цього можна окреслити ланцюжок проблем: більше мешканців → більше утвореного сміття → більше переповнення сміттєзвалища → більше забруднення ґрунтових вод, ґрунтів, повітря і викидів парникових газів [3].

**Актуальність дослідження.** Актуальність дослідження полягає в тому, що впровадження логістичних підходів у систему управління відходами на регіональному рівні відповідає сучасним вимогам щодо розроблення стратегій сталого розвитку управління відходами згідно принципів «Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року».

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема роботи відповідає основним напрямкам державної політики України щодо управління відходами, що в свою чергу безпосередньо спрямовано на досягнення цілей сталого розвитку в період післявоєнної відбудови.

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є оцінка умов розроблення та впровадження логістичних підходів в Регіональних програмах поводження з відходами.

Для поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- окреслення передумов розробки проекту;
- REST і SWOT-аналіз умов реалізації проекту впровадження логістичних систем в регіональних програмах поводження з твердими побутовими відходами;
- визначення проблематики, що дозволить розробити стратегічні рішення щодо впровадження логістичних підходів.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Дослідницькі та наукові роботи в області логістики присвячені науковій праці таких провідних вчених, як: М. Портер, С. Ван дер Лінд, Т. Доуї, Р. Данн, А. МакКіннон, Д.М. Ламберт, Дж.Р. Сток. Дослідженні проблем впливу логістичної діяльності на якісні параметри навколишнього середовища та напрямів їх вирішення належить таким закордонним ученим: як: А.І. Альбеков, Б.А. Анікін, Д. Бауерсокс, Г.Дж. Болт, А.М. Гаджинський, О.В. Глогусь, Д. Джонсон, К. Клосс, Л.Б. Міротін, Ю.М., Б.К. Плоткін, А.І. Семененко та інших. Ключові моменти, що стосуються включення екологічної складової до системи логістичного управління, розглядаються в працях В.О. Хрутьби, Є.В. Крикавського, Н.В. Пахомової,

Н.П. Поповича, О. Ф. Картавої, А. Г. Картавого та інших науковців-дослідників.

Дослідження та узагальнення вітчизняних та закордонних підходів до визначення поняття «екологічна логістика» дозволив визначити основне завдання екологістики в поводженні з відходами і забезпечує утилізацію (рекуперації) або безпечне зберігання в довкіллі.

**Результати дослідження.** Для вирішення проблем побутових відходів та розробки ефективних механізмів їх знешкодження в нашій державі було запроваджено «Національну стратегію управління відходами в Україні до 2030 року». Стратегія визначає головні напрями державного регулювання у сфері поводження з відходами в найближчі десятиліття з урахуванням європейських підходів з питань управління відходами [4].

У «Стратегії...» велика увага приділяється поводженню із відходами на місцевому та регіональному рівнях. Відповідно до [4] зазначено, що регіональні плани управління відходами повинні охоплювати всі види діяльності, що належать до повноважень місцевих органів виконавчої влади у сфері поводження з відходами, та передбачати: проведення аналізу поточної ситуації у сфері поводження з відходами в регіоні; визначення цілей та заходів; проведення аналізу з метою вибору оптимальної системи поводження з відходами (інфраструктура для збирання, роздільного збору, транспортування, переробки, обробки та видалення) та практичні заходи, що необхідні для її впровадження; визначення географічних меж міжрегіональних територій, для яких розроблено план і які повинні разом користуватися послугами полігону або переробного підприємства; визначення зобов'язань різних установ та організацій, що будуть задіяні у здійсненні заходів та дій, обсягів витрат та можливих джерел фінансування.

Проте, не у всіх містах України намітився позитивний рух напрямку зміни стосовно впровадження сучасних методів та технологій поводження з твердими побутовими відходами. Впровадження Регіональних програм поводження з відходами потребує реалізації ряду проектів з розробкою ефективних екологічних логістичних систем, що дозволяють оптимізувати рух відходів в ланцюгу утворення – транспортування – утилізація.

Використання проектів логістичного управління в програмах поводження з відходами сприяє пошуку нових резервів, подальшому залученню фінансових, технічних, управлінських та наукових ресурсів на основі реалізації методик управління проектами та програмами [5].

Для ефективного впровадження Регіональних програм поводження з відходами, доцільно застосовувати методи реверсивної логістики, тобто логістичних підходів до оптимізації руху відходів [5]. Розглянемо особливості екологізації логістичних процесів поводження з відходами.

Широкомасштабне впровадження програми поводження з відходами можливо лише за умови створення відповідної інфраструктури, до якої відноситься логістична схема як цілісна інтегрована господарська концепція накопичення, перевезення, збирання, рекуперації, сертифікації та ідентифікації, реалізації, утилізації і рециклінгу з відповідними компонентами обслуговування, а власне інформаційного, соціального, транспортного, торговельного тощо.

Застосування логістичної системи суб'єктами господарювання в сфері поводження з відходами на регіональному рівні, є реальним стимулом, бо це допоможе урівноважити наявність ресурсних обмежень з точки зору матеріально-сировинного забезпечення виробничої діяльності та потреби прибуткової діяльності підприємств незалежно від їх форм власності та підпорядкування. Це в свою чергу сприятиме досягненню належного рівня життя в регіоні, відповідного стану навколишнього природного середовища.

Як визначено в дослідженнях [6] логістична система управління відходами повинна мати всю систему руху відходів від накопичення у виробничих процесах до перетворення у продукт з вторинної сировини чи безпечну для довкілля утилізацію. Ключовий принцип та мета системного управління відходами – всі технології і методи, включаючи чинники зменшення обсягу відходів, їх утилізацію чи рекуперацію, повинні розроблятися в комплексі шляхом доповнення один одного.

Створення відповідної інфраструктури в регіоні, до якої відноситься логістична схема як цілісна інтегрована господарська система, дозволить здійснити широкомасштабну переробку відходів, що сприятиме досягненню соціально-економічної та екологічної ефективності, і, в свою чергу виступатиме важливою складовою організації екобезпечного інноваційного розвитку регіону [5].

Формування системи логістики відходів вимагає:

- вдосконалення господарських зв'язків, поглиблення кооперування в цій сфері;
- розвитку вітчизняного виробництва, державної підтримки підприємств-учасників процесів реалізації екобезпечних інновацій в господарську діяльність; поживлення комерційної складової та зміцнення матеріально-технічної бази;
- створення ешелонної системи, яка включатиме мережу складських, сортувальних та утилізаційних підрозділів, розміщених в межах району утворення і споживання відходів, із обов'язковим сучасним техніко-технологічним забезпеченням відповідно до розмірів, інтенсивності руху потоків цього ресурсу; застосуванням принципів логістичної інтеграції.

Також в основу формування логістичних потоків покладено інформаційне, матеріальне, транспортне, техніко-технологічне та фінансове забезпечення, що пояснює застосування системного підходу в концеп-

ції логістики відходів. Розроблені логістичні потоки дозволяють оптимізувати рух відходів як джерела сировини та енергії, досягти ресурсозбереження та відповідної ресурсної економії, що якісно вдосконалить організацію господарської діяльності підприємницьких структур в регіоні. Характерними рисами логістики відходів є системність, комплексність, ієрархічність, керованість та технологічна узгодженість.

Логістичний підхід здійснює методичну функцію і дає інструмент для здійснення функцій поводження твердими комунальними відходами; прогноз оперативних і стратегічних характеристик; облік відходів; аналіз морфологічного стану відходів на всіх стадіях їх життєвого циклу; формування рекомендацій і послуг з метою прийняття адміністративних рішень.

Для ефективного впровадження місцевих Програм поводження з відходами регіону доцільно застосовувати методи реверсивної логістики, тобто логістичних підходів до оптимізації руху відходів. Логістична система поводження з відходами включає макро- і мікрологістичну системи, що складаються із різних підсистем та утворює зв'язки з навколишнім середовищем. Застосування логістичного процесу управління відходами шляхом аналізу руху відходів від накопичення на виробничих процесах до перетворення в товарний продукт або безпечне зберігання в довкіллі [5].

Отже, застосування логістичного підходу при формуванні місцевих Програм поводження з відходами забезпечує ефективну реалізацію цих Програм та зменшення негативного впливу відходів на довкілля. Реалізація Програм передбачає залучення широкого кола зацікавлених сторін, що вимагає застосування нових інноваційних методів управління.

Розглянемо краудсорсинг, як один із сучасних методів, що доцільно застосовувати для вирішення екологічних проблем громади.

Проблема утворення та управління твердими комунальними відходами в Україні залишається гострою і потребує нагального вирішення. Законодавча база знаходиться в стадії реформування. Органи виконавчої влади та місцевого самоврядування об'єднаних територіальних громад, які мають вирішувати наявні проблеми та формувати систему управління комунальними відходами на місцевому рівні в територіальних об'єднаних громадах як міських територій громади, так сільської місцевості, не мають для цього ні необхідних знань, досвіду та розробленого методичного забезпечення [7]. Для впровадження ефективних систем управління відходами на регіональному рівні доцільно розглянути існуючий вітчизняний та міжнародний досвід.

Для успішного впровадження екологічно безпечної системи управління відходами в довгостроковій перспективі необхідно провести прогнозування можливостей, які можуть місце у майбутньому. Стратегічне управління, зосереджує увагу на визна-

ченні загроз та можливостей зовнішнього середовища. Крім того, сильні і слабкі сторони внутрішнього середовища визначають умови впровадження будь-якої довгострокової програми.

Отже, стратегічний аналіз є основою для забезпечення комплексності процесів управління твердими комунальними відходами в регіоні, що використовують для структурного проектування ефективної регіональної програми поводження з відходами, на основі впровадження інноваційних методів сучасного управління та формування єдиного інформаційного простору, який впливає на стійкість розвитку регіону. Важливим інструментарієм, який дозволяє з'єднати разом сильні і слабкі сторони бізнесу, можливості та загрози зовнішнього середовища і провести аналіз є технологія PEST і SWOT-аналізу.

Результати визначення ситуації з системою управління відходами за методом PEST-аналізу наведено в табл. 1 [8].

Нормативно-правова база з питань поводження з відходами знаходиться на стадії формування. Національна стратегія поводження з ТКВ до 2030 року не виконується повністю.

Регіональні програми більшості регіонів України не затверджені або потребують суттєвих змін. Низька ефективність виконавчої дисципліни впровадження програм та низький рівень зацікавленості стейкхолдерів є несприятливими факторами для вирішення проблеми в Житомирській області. Не всі із зазначених економічних показників впливають позитивно. Частина з них є несприятливими через неготовність населення області до зниження рівня відходоутворення та роздільного збору твердих комунальних відходів. Соціальні та технологічні показники – сприятливі для впровадження екологічно безпечної системи управління твердими комунальними відходами. Результати PEST-аналізу системи управління твердими комунальними відходами показують, що найменш сприятливими для вирішення проблеми є політичні умови.

Підсумовуючи результати PEST-аналізу, варто зазначити, що умови, які сьогодні наявні в більшості регіонів України є сприятливим для впровадження сучасних інноваційних програм управління твердими комунальними відходами.

SWOT-аналіз дозволяє визначити можливості та загрози впровадження системи управління твердими

Таблиця 1

## PEST-аналіз системи управління ТКВ

Political – політичні показники	Economical – економічні показники
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Недосконала нормативно-правова баз з питань поводження з відходами.</li> <li>– Низька зацікавленість населення, підприємств-перевізників до спільного вирішення проблеми.</li> <li>– Можливість залучення до впровадження проєктів та програм поводження з відходами широкого кола громадськості через громадські організації та об'єднання.</li> <li>– Низький рівень зацікавленості у результатах вирішення проблеми вищих посадових осіб Житомирської області.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Недостатнє фінансування системи поводження з відходами.</li> <li>– Наявність додаткових джерел фінансування, в тому числі міжнародними фондами, кредитів ЄБРР, проєкти громадського бюджету.</li> <li>– Висока вартість впровадження технологій поводження з відходами та низька вартість відходів як вторинної сировини.</li> <li>– Зменшення запобігання екологічного збитку за рахунок зниження збитків довкіллю.</li> </ul>
Social – соціальні показники	Technological – технологічні показники
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Кількість ТКВ постійно зростає, особливо в містах.</li> <li>– Постійне інформування населення через ЗМІ та соціальні мережі щодо негативного впливу відходів на довкілля та пов'язаних з цим проблем зі здоров'ям.</li> <li>– Популяризація питань рециклінгу відходів, необхідності зниження рівня відходоутворення, використання відходів як вторинних ресурсів у засобах масової інформації та соціальних мережах.</li> <li>– Низький рівень розуміння проблеми населенням області.</li> <li>– Готовність певної частини населення до активної співпраці з органами місцевого самоврядування в зниженні впливу ТКВ на довкілля.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Широке впровадження технологій питань рециклінгу відходів, зниження рівня відходоутворення, використання відходів як ресурсів в європейських країнах.</li> <li>– Існування сучасних і ефективних технологій рециклінгу відходів, їх переробки як вторинної сировини.</li> <li>– Наявність окремих успішних проєктів щодо вирішення проблеми зниження впливу ТКВ на довкілля.</li> <li>– Відсутність в області ефективних логістичних систем, що використовуються під час управління з відходами.</li> <li>– Низький рівень впровадження ефективних технологій сучасного управління.</li> </ul>
<p><b>Наявність перспективи.</b> Підвищення рівня взаємодії між всіма учасниками системи поводження з відходами. Підвищення рівня загальної культури населення в питаннях поводження з відходами. Зменшення обсягу генерації відходів. Оптимізація економічних та екологічних показників за рахунок впровадження систем екологічної логістики. Збереження природних та енергетичних ресурсів під час використання відходів як вторинної сировини. Підвищення рівня здоров'я населення регіону.</p>	



комунальними відходами в регіоні, виявляють ймовірність використання та вплив обраних можливостей та загроз на одержані результати. Аналогічно здійснюється аналіз загроз та наслідків впровадження сучасних інноваційних програм управління відходами в регіоні. Також здійснюють оцінку факторів внутрішнього середовища. Проведений аналіз внутрішнього й зовнішнього середовища системи поводження з відходами дозволяє сформувати конкретний перелік її слабких і сильних сторін, а також загроз і можливостей.

Результати SWOT-аналіз передумов впровадження інноваційних програм поводження з відходами наведено в табл. 2.

Заключним етапом SWOT-аналізу є кількісна експертна оцінка та побудова матриці результатів передумов впровадження програми. Проведемо кількісну експертну оцінку на прикладі регіональної програми поводження з відходами в Житомирській області. Для проведення експертної оцінки було залучено експертів різних зацікавлених сторін,

а саме представники: державних структур (органи місцевого самоврядування, управління екології, державна екологічна інспекція тощо); бізнес-структур (перевізники, сміттесортувальні станції, житлово-комунальні підприємства тощо); громадськості (громадські організації, об'єднання, партії тощо); населення, що проживає в регіоні.

Результати обробки опитування експертів дозволили побудувати матрицю SWOT-аналізу передумов впровадження регіональної програми поводження з відходами в Житомирській області. На перетині стовпчиків та рядків – Можливості / Сильні сторони, Можливості / Слабкі сторони, Загрози / Сильні сторони, Загрози / Слабкі сторони – проставляється експертна оцінка їх взаємного впливу в балах проміжку від -1 до +1. При чому оцінка +1 відповідає сильному взаємному впливу, а значення -1 – повна відсутність впливу.

Узгодженість думок експертів і невинпадковий характер згоди оцінювався відповідно коефіцієнтом конкордації  $W$  і статистичним критерієм Пірсона  $\chi^2$ .

Таблиця 2

## SWOT-аналіз передумов впровадження інноваційних програм поводження з відходами

	Позитивний вплив	Негативний вплив
Внутрішнє середовище	<p><b>Strengths (сильні сторони):</b></p> <p>A<sub>1</sub>. Впровадження програми поводження з відходами дозволить підвищити рівень екологічної безпеки регіону.</p> <p>A<sub>2</sub>. Усвідомлення вищим керівництвом області необхідності вирішення проблеми ефективного поводження з відходами.</p> <p>A<sub>3</sub>. Зміна вектора вирішення проблеми від концепції боротьби з наслідками впливу відходів на довкілля до концепції розробки технологій маловідходного і безвідходного виробництва, їх рециклінгу, утилізації та вторинного використання.</p> <p>A<sub>4</sub>. Збільшення кількості бізнес-структур, які готові й спроможні впроваджувати сучасні методи утилізації ТКВ</p>	<p><b>Weaknesses (слабкі сторони):</b></p> <p>B<sub>1</sub>. Розроблена Національна програма поводження з відходами до 2030 року, впроваджується лише частково, що ускладнює формування регіональних програм, знижує ефективність впровадження нових методів управління нею.</p> <p>B<sub>2</sub>. В області зберігається функціональна ієрархія управління, що ставить результативність програми в залежність від управлінських рішень безпосередньо вищого керівництва.</p> <p>B<sub>3</sub>. Низька ефективність існуючої системи управління відходами в області.</p> <p>B<sub>4</sub>. Недостатньо розвинутий ринок переробки та утилізації відходів.</p>
Зовнішнє середовище	<p><b>Opportunities (можливості)</b></p> <p>C<sub>1</sub>. Зростання кількості громадських організацій та населення, які готові й спроможні брати участь у вирішенні цієї проблеми.</p> <p>C<sub>2</sub>. Постійно удосконалюються методи утилізації відходів як у вітчизняній, так і в міжнародній практиці.</p> <p>C<sub>3</sub>. Програми поводження з відходами, що впроваджується на національному, регіональному або локальному рівні здійснюється на основі існуючої системи поводження з відходами країни, області, міста чи підприємства.</p> <p>C<sub>4</sub>. Впровадження сучасних інноваційних методів управління в органах державної влади і місцевого самоврядування.</p> <p>C<sub>5</sub>. В містах області є можливості формування сучасної інфраструктури поводження з відходами.</p> <p>C<sub>6</sub>. В області є умови для створення конкурентного ринку поводження з відходами.</p>	<p><b>Threats (загрози):</b></p> <p>D<sub>1</sub>. Збільшення кількості відходів і посилення їх впливу на довкілля, загроза екологічної катастрофи.</p> <p>D<sub>2</sub>. Загроза соціальних та політичних небезпек, в зв'язку з підвищенням плати за утилізацію відходів та збільшенням штрафів.</p> <p>D<sub>3</sub>. Відсутність розроблених регіональних програм поводження з відходами на основі сучасних методів управління.</p> <p>D<sub>4</sub>. Низький рівень соціальної екологічної свідомості та культури поводження з ТКВ.</p> <p>D<sub>5</sub>. Відсутність комунікації та узгодження дій між зацікавленими сторонами при вирішенні проблеми</p> <p>D<sub>6</sub>. Наявність конфлікту інтересів та небажанням прийняти на себе відповідальність за вирішення проблеми.</p>

Коефіцієнт конкордації  $W$  дозволяє оцінити, наскільки узгодженими між собою є ранжирування  $n$  об'єктів, побудовані групою  $m$  експертів  $\|r_{ij}\|$  ( $j=1, \dots, m; i=1, \dots, n$ ), де  $r_{ij}$  – ранг, що надається  $j$ -м експертом  $i$ -му об'єкту [9]. Він визначається як відношення  $D$ , що описує розкид між ранжируваннями до величини  $D_{max}$ , що є максимально можливим розкидом й обчислюється за формулою:

$$W = \frac{D}{D_{max}} = \frac{12 \cdot S}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (1)$$

де  $m$  – кількість експертів,  $n$  – кількість слухачів.

Для обчислення суми квадратів відхилень рангів від середнього значення  $S$ :

$$S = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m r_{ij} - r \right)^2 \quad (2)$$

Коефіцієнт  $W$  вимірюється в діапазоні від 0 до 1 і групова оцінка вважається достатньо надійною, коли  $W > 0,7$ . Якщо коефіцієнт конкордації дорівнює нулю, то між думками експертів наявна абсолютна розбіжність. Якщо коефіцієнт конкордації дорівнює одиниці, тоді має місце повна узгодженість думок експертів стосовно результатів опитування.

Статистичне значення коефіцієнта конкордації перевіряється за критерієм Пірсона  $\chi^2$ , який обчислюється за формулою:

$$\chi_{\phi}^2 = m(n-1) \cdot W \quad (3)$$

За рівнем значущості  $\alpha$  і числу ступенів свободи  $q = n - 1$  в таблицях Пірсона знаходять критичне значення  $\chi_{kp}^2$ .

Якщо  $\chi_{\phi}^2 = \chi_{kp}^2$ , то коефіцієнту конкордації можна довіряти і отримані, на його основні висновки достовірні [10].

Знайдене значення  $\chi^2$  порівнюють з табличним  $\chi^2$  для кількості ступенів вільності  $n-1$  і рівня значущості  $\alpha$ . Якщо значення  $\chi^2$  більше  $\chi^2$  табличного, гіпотеза про невинуватість узгодженість думок експертів не відхиляється. Якщо коефіцієнт конкордації  $W$  і критерій Пірсона  $\chi^2$  мають незадовільні значення, експерти оцінюють матеріали повторно.

Результати SWOT-аналізу передумов впровадження регіональної програми поводження з відходами в Житомирській області представлено в табл. 3.

Коефіцієнт конкордації  $W = 0,7892$ , що свідчить про достатню узгодженість думок експертів. Розрахункове значення статистичного критерія Пірсона  $\chi^2$  дорівнює 14,86, що при ступені вільності 14 і рівня значущості  $\alpha = 0,01$  більше табличного значення ( $\chi^2 = 14,4$ ). Таким чином, можна вважати узгодженим ранжування експертів при  $\alpha = 0,1$ .

Загальні результати SWOT-аналізу передумов впровадження регіональної програми поводження з відходами в Житомирській області наведено в табл. 4.

**Висновки.** Узагальнений аналіз сильних сторін свідчить, що в Житомирській області наявні

Таблиця 3

**Результати SWOT-аналізу передумов впровадження регіональної програми поводження з відходами в Житомирській області**

Можливості/Сильні сторони	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	1	0,91	0,70	0,59	1	0,91
A <sub>2</sub>	0,49	0,89	0,91	0,51	0,81	0,70
A <sub>3</sub>	0,61	0,11	0,11	0,89	0,09	0,81
A <sub>4</sub>	1	0,19	0,71	0,69	0,11	0,19
Можливості/Слабкі сторони	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
B <sub>1</sub>	0,68	0,69	0,61	0,51	0,71	0,39
B <sub>2</sub>	0,21	0,19	0,11	0,09	0	0,11
B <sub>3</sub>	0,29	0,81	0,68	0,61	0,91	0,89
B <sub>4</sub>	0,09	0,80	0,20	0,79	0,49	0,51
Загрози/Сильні сторони	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	-0,61	-0,71	0	-10	-0,81	0,10
A <sub>2</sub>	-0,70	-0,59	0,10	-0,51	-0,59	-0,41
A <sub>3</sub>	-0,71	-0,81	0,11	-1	-0,61	0,18
A <sub>4</sub>	0,19	0,31	0,31	-0,50	-0,42	-0,19
Загрози/Слабкі сторони	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>
B <sub>1</sub>	-0,69	-0,59	-0,41	-0,31	-0,41	-0,21
B <sub>2</sub>	-0,11	-0,41	-0,09	-0,28	-0,51	-0,58
B <sub>3</sub>	-0,61	-0,79	0,11	-0,29	-0,59	-0,41
B <sub>4</sub>	-0,29	-0,91	0	-0,21	-0,71	-0,59

Таблиця 4

**Загальні результати SWOT-аналізу передумов впровадження регіональної програми поведження з відходами в Житомирській області**

Шифри сильних сторін	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		A <sub>3</sub>		A <sub>4</sub>	
Загальна сума оцінок	2,12		1,609		-0,201		2,612	
Шифри слабких сторін	B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>		B <sub>3</sub>		B <sub>4</sub>	
Загальна сума оцінок	1,31		-1,32		1,607		0,216	
Шифри можливостей	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>		C <sub>4</sub>	
Загальна сума оцінок	4,43		4,64		4,15		4,70	
Шифри загроз	D <sub>1</sub>		D <sub>2</sub>		D <sub>3</sub>		D <sub>4</sub>	
Загальна сума оцінок	-3,51		-4,53		0,14		-4,15	

всі умови для вирішення питань поведження з відходами на основі сучасних інноваційних методів управління, проте є суттєві ризики, які пов'язані з відсутністю комунікації та узгодження дій між зацікавленими сторонами під час вирішення цієї проблеми.

Таким чином, як показали результати SWOT-аналізу, найбільш сильною стороною впровадження сучасної системи поведження з відходами є збільшення кількості бізнес-структур, які готові й спроможні впроваджувати сучасні методи утилізації

твердих комунальних відходів. Найслабшою стороною є низька ефективність існуючої системи управління відходами в області. Зовнішні можливості, які сприяють змінам є наявність сучасних інноваційних методів управління в органах державної влади і місцевого самоврядування. Найбільшою загрозою є відсутність комунікації та узгодження дій між стейкхолдерами для вирішення проблеми.

Одержані результати є основою для впровадження Регіональних програм поведження з відходами на основі положень циркулярної економіки.

#### Література

1. Населення світу зростає. Старіє і переїжджає в міста. 2019. URL: <https://responsiblefuture.com.ua/naselennya-svitu-zrostaye-stariye-i-pereyizhdzhae-v-mista/>
2. Внутрішньо переміщені особи. 2023. URL: <https://www.msp.gov.ua/timeline/Vnutrishno-peremishcheni-osobi.html>
3. Міський розвиток. 2023. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>
4. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. 2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
5. Коцюба І. Г., Лико С. М., Лук'янова В. В. (2017). Екологічна логістика накопичення твердих побутових відходів міста Житомира. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К. : НТУ. Вип. 1 (37), С. 176–182.
6. Картава О. Ф., Картавий А. Г., Хрутьба В. О. (2014). Впровадження методів екологічної логістики в регіональних програмах поведження з відходами. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Луцьк. Випуск № 45 Луцький національний технічний університет, С. 240–244.
7. Попович Н.П., Мальований М.С., Попович В.В. (2018). Екологічна логістика поведження з відходами у селах, селищах та селянських домогосподарствах. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, (17), С. 102–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.17.2018.14>
8. Ольшанська О. В. Регіональна економіка : навч. посіб. Ніжин : Видавництва КНЕУ, 2009. 70 с. Електронний аналог друк. вид. : режим доступу: [http://studbook.com.ua/book\\_regonalna-ekonomka.-teksti-lekcij-onlajn-chastina3\\_694/21\\_vidavnictvo](http://studbook.com.ua/book_regonalna-ekonomka.-teksti-lekcij-onlajn-chastina3_694/21_vidavnictvo).
9. Статистичний збірник "Чисельність наявного населення України на 1 січня 2018 року". URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2021/zb/05/zb\\_chuselnist%202021.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/05/zb_chuselnist%202021.pdf)
10. Bonett D. G., Wright T. A. Sample size requirements for Pearson, Kendall, and Spearman correlations [online] / D. G. Bonett, T. A. Wright. Springer International Publishing AG: Psychometrika, 2000. Vol. 65, No.1. Pp. 23–28. Available from : [http:// link.springer.com/journal/11336/65/1](http://link.springer.com/journal/11336/65/1).

## БІОІНДИКАЦІЯ ЯК МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ГРУНТУ ТА ВПЛИВУ ЗАБРУДНЮВАЧІВ НА ФЛОРУ: АНАЛІЗ ІНГІБІТОРНОЇ ДІЇ НА РІСТ КОРЕНІВ ТА ВПЛИВ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН НА ПРОРОСТАННЯ ТА РІСТ РОСЛИН

Босюк А.С., Шестопапов О.В., Разно М.Р.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

bosuyk0614@ukr.net, pheonixalex@gmail.com

Аналіз інгібиторної дії на ріст коренів та вплив хімічних речовин на проростання та ріст рослин – це комплексний підхід до вивчення впливу різних хімічних сполук на розвиток рослинності. Цей аналіз включає в себе вимірювання довжини коренів під впливом різних концентрацій речовин, що можуть бути як стимулюючими, так і токсичними для рослин. Дослідження інгібиторної дії дозволяє встановити міру пригнічення або стимулювання росту коренів, що важливо для оцінки токсичності та екологічної безпеки різних хімічних речовин в агроекосистемах. У статті було досліджено вплив забруднення ґрунту змащувально-охолоджуючими рідинами (ЗОР) на розвиток крес-салату. Експеримент включав аналіз токсичності різних концентрацій ЗОР (1%, 5%, 10%, 25% та 50%) на основі вимірювання довжини коріння рослин, та оцінку впливу на фітотоксичність за шкалою середньої довжини коріння. Результати показали виражений негативний вплив забруднення ґрунту на ріст крес-салату, особливо при концентраціях 25% та 50% ЗОР, що відображається на вищому рівні токсичності (на основі візуального спостереження). Для оцінки токсичності використовувалася шкала, де 0–20% відповідає слабкому рівню пригнічення, а 80,1–100% – максимальному рівню токсичності. Отримані результати вказують на необхідність уважного моніторингу якості ґрунту та регулювання рівня забруднення для збереження рослинності та екосистем. Отримані результати вказують на необхідність проведення комплексних заходів з контролю та моніторингу якості ґрунту в антропогенно забруднених районах, особливо щодо концентрацій змащувально-охолоджуючих рідин. Негативний вплив цих речовин на розвиток рослин вказує на потенційні загрози для екосистем та біорізноманіття. Дослідження також підкреслює важливість розробки та впровадження ефективних стратегій охорони довкілля, включаючи регулювання використання та видалення забруднюючих речовин. Враховуючи високий рівень токсичності при великих концентраціях ЗОР, слід звертати особливу увагу на контроль та зменшення викидів цих речовин у навколишнє середовище для збереження стабільності та здоров'я екосистем. *Ключові слова:* біоіндикація, змащувально-охолоджувальна рідина, крес-салат.

**Bioindication as a method of determining soil quality and the impact of pollutants on flora: analysis of inhibitory effect on root growth and influence of chemicals on plant germination and growth. Bosiuk A., Shestopalov O., Razno M.**

Root growth inhibition assay and the effect of chemicals on plant germination and growth is a comprehensive approach to studying the impact of various chemical compounds on plant development. This analysis includes measuring the length of roots under the influence of various concentrations of substances that can be both stimulating and toxic to plants. The study of inhibitory action allows to establish the degree of inhibition or stimulation of root growth, which is important for assessing the toxicity and environmental safety of various chemicals in agroecosystems. The article investigated the effect of soil contamination with cutting fluids on the development of watercress. The experiment included the analysis of the toxicity of different concentrations of coolants (1%, 5%, 10%, 25% and 50%) based on the measurement of plant root length, and the assessment of the impact on phytotoxicity on the scale of average root length. The results showed a pronounced negative effect of soil pollution on watercress growth, especially at concentrations of 25% and 50% of POPs, which is reflected in a higher level of toxicity (based on visual observation). To assess the toxicity, a scale was used, where 0–20% corresponds to a weak level of inhibition, and 80.1–100% – to the maximum level of toxicity. The results indicate the need for close monitoring of soil quality and regulation of pollution levels to preserve vegetation and ecosystems. The results indicate the need for comprehensive measures to control and monitor soil quality in anthropogenically contaminated areas, especially with regard to the concentrations of lubricating and cooling fluids. The negative impact of these substances on plant development indicates potential threats to ecosystems and biodiversity. The study also emphasizes the importance of developing and implementing effective environmental protection strategies, including regulating the use and disposal of pollutants. Given the high level of toxicity at high concentrations of POPs, special attention should be paid to controlling and reducing emissions of these substances into the environment to maintain ecosystem stability and health. *Key words:* bioindication, cutting fluid, watercress.

**Постановка проблеми.** Сучасний стан довкілля вимагає постійного моніторингу та оцінки екологічного стану природних середовищ, зокрема, якості ґрунту та його впливу на рослинний світ.

Проблема полягає у необхідності розробки та вдосконалення методів біоіндикації для точної оцінки якості ґрунту та визначення дії забруднювачів на флору.

**Актуальність дослідження.** Дослідження інгібіторної дії на ріст коренів та вплив хімічних речовин на рослинну флору є вкрай актуальним у сучасному світі, де екологічні проблеми набувають все більшого значення. Розвиток ефективних методів біоіндикації для оцінки токсичності забруднювачів на ґрунт та рослинний світ дозволить вчасно виявляти проблеми екологічного забруднення, забезпечувати стале використання природних ресурсів у промисловості, а також для збереження біорізноманіття. Тому, пошук нових методів та технологій для точної оцінки токсичності речовин на рослинну флору та ґрунт стає важливим завданням для підприємств промислового сектору.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз інформації щодо моніторингу стану довкілля [1] та біоіндикація як метод екологічного моніторингу [2, 5] є важливими інструментами для визначення стану природних ресурсів та впливу людської діяльності на навколишнє середовище. У роботі [3] автор вказує, що біоіндикація є не лише ефективним, але й корисним інструментом для оцінки стану збереження екосистеми, зокрема щодо якості ґрунту. Цей метод дозволяє отримувати важливі дані про рівень забруднення ґрунту токсичними речовинами.

Автори зазначають [4], що інформацію про фітотоксичність шкідливих речовин можна отримати за допомогою відповідних тест-об'єктів (пророщення насіння модельних видів рослин на різних субстратах). Цей метод полягає у висадженні насіння рослин на спеціально підготовлених пробах ґрунту або інших матеріалів, де вони мають можливість розвиватися та рости. Під час спостережень за їхнім ростом та розвитком можна виявити вплив токсичних речовин на їхній ріст, стан кореневої системи та загальний стан рослин, що дозволяє зробити висновки щодо рівня токсичності.

Також важливо знати, як ґрунти впливають на екосистему та як екосистема реагує на різноманітні зміни в навколишньому середовищі, враховуючи фізичні та хімічні аспекти [6]. Ґрунти відіграють ключову роль у житті екосистем, оскільки вони забезпечують живильний баланс для рослин, впливають на водний режим, фільтрують токсичні речовини та зберігають біорізноманіття. Розуміння взаємозв'язку між ґрунтами та екосистемами дозволяє розробляти ефективні стратегії збереження природних ресурсів, використання ґрунтів з урахуванням їхнього впливу на навколишнє середовище.

Порівняльна оцінка ґрунтів природних і аграрних екосистем за допомогою мінімальної системи біологічних показників є важливим інструментом для розуміння екологічного стану та динаміки змін у природних ресурсах. Авторі наголошують [7], що біоіндикація, яка базується на вивченні взаємозв'язків між живими організмами та середовищем, дозволяє виявляти ранні ознаки екологічних проблем та змін у якості ґрунтів. Це, в свою чергу, дозволяє

ефективно реагувати на такі проблеми і приймати заходи для їх вирішення, що сприяє збереженню та відновленню природних екосистем. Такий підхід не лише допомагає зберегти біорізноманіття та здоров'я екосистем, але й сприяє сталому використанню природних ресурсів та підтримці екологічної стійкості.

**Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Стаття приділяє увагу нерозв'язаним питанням, пов'язаним з екологічним станом ґрунтів та їх впливом на екосистеми, зокрема розглядається питання про вплив антропогенної діяльності, такої як промислове забруднення та використання змашувально-охолоджуючих рідин (ЗОР). Розглядається вплив токсичних речовин змашувально-охолоджуючих рідин на якість ґрунтів та екосистеми.

**Новизна.** Проведено експериментальні дослідження з аналізу впливу токсичних речовин змашувально-охолоджуючих рідин на фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунтів, що розкриває нові аспекти їх взаємозв'язку та можливих наслідків інгібіторної дії на ріст коренів, підсилюючи усвідомлення про широкомасштабні екологічні виклики, пов'язані з антропогенним впливом на ґрунтові екосистеми.

**Викладення основного матеріалу.** У ході дослідження проведено біотестування різних зразків едафотопу (ґрунту), використовуючи метод проростання для визначення їх фітотоксичності. Цей метод базується на реакції тест-культури (крес-салат) на присутність забруднюючих речовин у ґрунті, що дозволяє виявити токсичну дію на розвиток тест-культур. Під час експерименту виміряно проростання, довжину надземної і кореневої систем, а також визначено токсичність едафотопів, забруднених змашувально-охолоджуючою рідиною за комплексом морфологічних і фізіологічних ознак крес-салату. Розвиток та проростання насіння оцінювали за стандартними методиками ДСТУ ISO 11269-1:2004 [8] та ДСТУ ISO 1269-2:2002 [9]. Фіксація тест-реакції рослин здійснюється за допомогою візуальних спостережень.

Для проведення експерименту було підготовлено проби забрудненого ЗОР ґрунту, а також проби контрольного ґрунту, який є стандартним для рослин, разом з пробами піску.

На першому етапі забруднений ґрунт створюється шляхом змішування відпрацьованої ЗОР з водою у пропорції 1:4 (концентрат 25%) та 1:2 (концентрат 50%) (рис. 1).

Для отримання забрудненого ґрунту, до ґрунту додається ЗОР у кількості 100 мл на 1 м<sup>2</sup> площі ґрунту. Після відбору проб маємо 4 зразка ґрунту (рис. 2):

- Ґрунт, забруднений 25% ЗОР (зразок 1);
- Ґрунт, забруднений 50% ЗОР (зразок 2);
- Якісний ґрунт (зразок 3);
- Пісок (зразок 4).

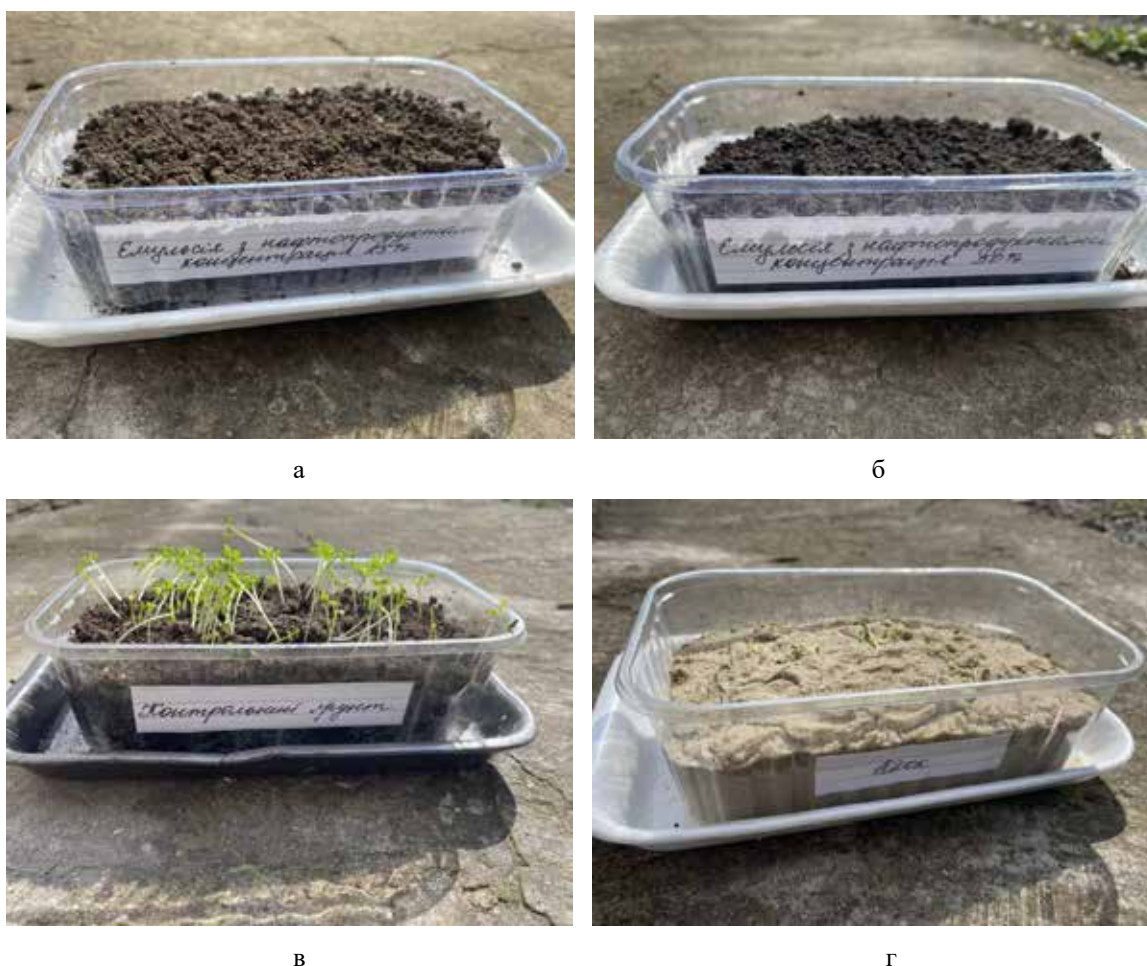


а

б

а – концентрат 25%, б – концентрат 50%

Рис. 1. Суміші змащувально-охолоджувальної рідини у відповідних пропорціях



а

б

в

г

а – ґрунт, забруднений 25 % ЗОР; б – ґрунт, забруднений 50% ЗОР; в – якісний ґрунт; г – пісок

Рис. 2. Вид рослин після пророщування протягом тижня

На основі даних з рис. 2 можна зробити висновок (візуальне спостереження), що рослини не проросли у ґрунті, який містить 25% та 50% суміш ЗОР. Це свідчить про високий рівень токсичності цих

зразків. Такий висновок говорить про можливий значний негативний вплив вказаних концентрацій ЗОР на розвиток рослин та якість ґрунту. Оскільки ми не маємо інформації про довжину коренів і верх-

ніх частин рослин (яка зазвичай використовується для визначення ефекту гальмування росту рослин), неможливо точно оцінити величину цього ефекту (дані про довжину коренів і верхніх частин рослин у якісному ґрунті та піску наведено в табл. 1). Тому, для отримання додаткових відомостей, було проведено другий етап дослідження з меншими концентраціями забруднення, а саме сумішшю ЗОР у кількості 1%, 5% та 10% (рис. 3). Відповідно, маємо 5 зразків ґрунту (рис. 4).

У цьому дослідженні використовували рослини як фітоіндикатори, вимірюючи довжину кореневої системи та верхніх частин. Результати аналізу морфологічних показників для кожного субстрату представлені в табл. 2.

Дані з табл. 2 свідчать про те, що ґрунт, забруднений ЗОР, пригнічує ріст рослин. Для оцінки фітотоксичного впливу порівнювали середні довжини коріння рослин, вирощених у забрудненому (1%, 5%, 10%) та якісному ґрунті. Виходячи із даних, що

наведені у табл. 2, можемо визначити ефект гальмування росту коріння, використовуючи формулу 1. Зведені дані внесені до табл. 3.

Величину ефекту гальмування росту рослин (фітотоксичний ефект Е) визначали за формулою:

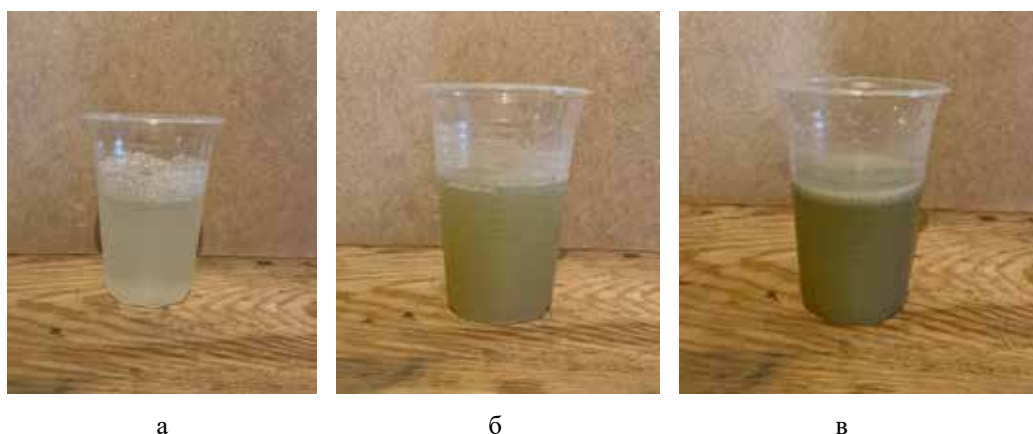
$$E = (L_k - L_d) / L_k \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $L_k$  – середня довжина коренів рослин у контрольному ґрунті, мм;

$L_d$  – середня довжина коріння рослин у дослідному ґрунті, мм.

Для розрахунку середньої довжини коріння були враховані значення цього параметра для рослин у межах серії: вирощених у ґрунті, забрудненому 1% ЗОР – 12 рослин; вирощених у ґрунті, забрудненому 5% ЗОР – 7 рослин; вирощених у ґрунті, забрудненому 10% ЗОР – 6 рослин та 12 рослин, вирощених у якісному ґрунті.

Для оцінки токсичності ґрунтів за величиною середньої довжини коріння рослин використо-



а – концентрат 1%; б – концентрат 5%; в – концентрат 10%

Рис. 3. Суміш змащувально-охолоджувальної рідини у відповідних пропорціях

Таблиця 1

Морфологічні показники фітоіндикаторів дослідних рослин (концентрація 25% та 50%)

№	Довжина коріння і верхньої частини рослин, мм*											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ґрунт, забруднений 25% сумішшю ЗОР												
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ґрунт, забруднений 50% сумішшю ЗОР												
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Якісний ґрунт та чиста вода												
1	15/ 70	12/ 65	14/ 60	15/ 55	12/ 74	13/ 47	11/ 59	10/ 62	9/ 60	11/ 61	11/ 55	15/ 65
Пісок та чиста вода												
1	17/ 40	15/ 30	10/ 30	11/ 32	7/ 31	16/ 31	10/ 42	6/ 35	15/ 45	14/ 40	9/ 31	15/ 40

Примітка: «\*» у чисельнику – наведена довжина коріння, у знаменнику – довжина верхньої частини.



1 – пісок; 2 – контрольний ґрунт; 3 – ґрунт, забруднений 1% ЗОР;  
4 – ґрунт, забруднений 5% ЗОР; 5 – ґрунт, забруднений 10% ЗОР

Рис. 4. Вид рослин після пророщування протягом тижня

Таблиця 2

**Морфологічні показники фітоіндикаторів дослідних рослин (концентрація 1%, 5% та 10%)**

№	Довжина коріння і верхньої частини рослин, мм*											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ґрунт, забруднений 1% сумішшю ЗОР												
1	55/ 37	5/ 35	10/ 35	10/ 25	15/ 28	17/ 15	10/ 30	9/ 27	11/ 33	12/ 25	9/ 35	8/ 30
Ґрунт, забруднений 5% сумішшю ЗОР												
1	20/ 15	20/ 30	15/ 20	10/ 30	5/ 10	3/ 10	12/ 10	-	-	-	-	-
Ґрунт, забруднений 10% сумішшю ЗОР												
1	23/ 15	5/ 25	15/ 35	2/ 22	1/ 19	15/ 17	-	-	-	-	-	-
Якісний ґрунт та чиста вода												
1	20/ 60	30/ 55	20/ 61	41/ 50	25/ 42	15/ 38	12/ 41	15/ 45	15/ 40	14/ 55	15/ 52	16/ 42
Пісок та чиста вода												
1	50/ 30	38/ 30	30/ 25	30/ 25	27/ 25	35/ 27	25/ 30	32/ 34	30/ 26	22/ 35	30/ 34	38/ 30

Примітка: «\*» у чисельнику – наведена довжина коріння, у знаменнику – довжина верхньої частини.

Таблиця 3

**Порівняння середніх довжин коріння та пагонів рослин**

Для рослин, вирощених	Середня довжина коріння рослин становить:	Середня довжина пагонів рослин становить:	Ефект гальмування росту коріння становить:
у ґрунті, забрудненому 1% ЗОР	14,25 мм	29,58 мм	E =28,14%
у ґрунті забрудненому 5% ЗОР	12,14 мм	17,86 мм	E =38,78%
у ґрунті забрудненому 10% ЗОР	10,17 мм	22,17 мм	E =48,71%
у якісному ґрунті	19,83 мм	48,42 мм	

вувалася шкала рівнів токсичності, де 0–20% – слабкий рівень пригнічення; 20,1–40% – середній рівень токсичності; 40,1–60% – вище середнього

рівень токсичності; 60,1–80% – високий рівень токсичності; 80,1–100% – максимальний рівень токсичності.



**Головні висновки.** Вплив токсичних речовин ЗОР на ростові процеси рослин варіюється залежно від концентрації забруднення ґрунту. Дослідивши вплив едафічних умов на розвиток крес-салату, встановлено, що наявність забруднення ґрунту сумішшю ЗОР у концентраціях 25% та 50% призвела до повного пригнічення у рості рослин. Це свідчить про високий рівень токсичності цих зразків. Ґрунт, забруднений 1% та 5% ЗОР, характеризується середнім рівнем фітотоксично-

сті, що вказує на помірний негативний вплив цих концентрацій на ростові процеси рослин. У той же час, ґрунт, забруднений 10% ЗОР, виявляє вище середнього рівень фітотоксичності, що свідчить про значний негативний вплив цієї концентрації на рослини.

Такий аналіз дозволяє розуміти, що концентрація забруднення ґрунту є важливим фактором у визначенні його токсичності для рослинних організмів та впливу на екосистему.

### Література

1. Hoivanovych, N. K. Environmental monitoring in drohobych by bioindication method. *Natural Sciences Education and Research*. 2023. Vol. 1. P. 57–62.
2. Reinikova, L., Tretjakova, R. Bioindication as an ecological monitoring method in rezekne city. *Human. Environment. Technologies. Proceedings of the Students International Scientific and Practical Conference*. 2021. Vol. 25. P. 156–163.
3. Jerez-Valle, C., García, P. A., Campos, M., Pascual, F. A simple bioindication method to discriminate olive orchard management types using the soil arthropod fauna. *Applied Soil Ecology*. 2014. Vol. 76. P. 42–51.
4. Petruk, R. V., Kravets, N. M., Kvaterniuk, S. M., Furman, Y. M., Dzierżak, R., Arshidinova, M., Jaxylykova, A. Assessment of Pesticide Phytotoxicity with the Bioindication Method. *Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals*. 2021. P.43–51.
5. Fazekašová, D., Fazekaš, J. Bioindication and Bioremediation of Mining Degraded Soil. *Rhizomicrobiome Dynamics in Bioremediation*. 2021. P. 28–47.
6. Fränzle, O. Complex bioindication and environmental stress assessment. *Ecological Indicators*. 2006. Vol. 6, № 1. P. 114–136.
7. Sherstoboeva, E. V., Chabanjuk, J. V., Fedak, L. I. Bioindication of soil ecological consistence. *Agricultural Microbiology*. 2008. Vol. 7. P. 48–56.
8. ДСТУ ISO 11269-1:2004 Якість ґрунту. Визначення дії забрудників на флору ґрунту. Частина 1. Метод визначання інгібіторної дії на ріст коренів. [Чинний від 2004-04-30] Київ, 2005. 23 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ ISO 11269-2:2002 Якість ґрунту. Визначання дії забруднювачів на флору ґрунту. Частина 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин. [Чинний від 2002-07-12] Київ, 2004. 22 с. (Інформація та документація).

УДК 504.5:574.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.13>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЦИНКУ НА РОСТОВІ ПОКАЗНИКИ РОСЛИН-ФІТОРЕМЕДІАНТІВ

Ковров О.С., Сушко З.Л.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро  
kovrov.o.s@nmu.one, sushko.z.l@nmu.one

Застосування технологій фітореMediaції є перспективним напрямом в стратегіях відновлення деградованих земель, який базується на здатності певних рослин поглинати, концентрувати та метаболізувати забруднюючі речовини завдяки механізмам гіперакумуляції. Для обґрунтування способів фітореMediaції забруднених земель і встановлення закономірностей росту рослин-фітореMediaнтів від вмісту важких металів у ґрунтах виконано лабораторні дослідження з використанням методів біотестування. Для біотестів обрано 2 тест-культури рослин-фітореMediaнтів: зернове сорго (*Sorghum bicolor*) та горох посівний (*Pisum sativum*). Для дослідження впливу цинку на ростові показники рослин використано розчин цинкового купоросу ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) для поливу з розрахунку, що 1 мл розчину містить 1 ГДК цинку у перерахуванні на 1 кг ґрунту (23 мг). Ідея експерименту полягала в тому, щоб протягом терміну експерименту (3 доби) поливати тестові рослини розчинами об'ємом  $V = 20$  мл, в яких концентрація цинку відповідає 0,5, 1, 2, 4 та 8 ГДК.

Встановлено, що найоптимальнішою концентрацією цинку в ґрунті для зернового сорго та гороху посівного є 1 ГДК, що свідчить про адекватність встановлених норм вмісту важких металів у ґрунтах зазначених у ДСанПіН 2.2.7.029-99. При даній концентрації спостерігаються найвищі показники середніх значень висоти рослин та довжини коренів. Розраховано значення фітотоксичного ефекту ростових показників рослин-фітореMediaнтів залежно від концентрацій цинку. Отримані результати свідчать, що сорго та горох можна використовувати в якості сидератів на техногенно забруднених територіях в якості заходу тимчасової фітореMediaції з метою поліпшення структури та родючості ґрунту, збагачення його азотом та пригнічення росту рудеральної рослинності. *Ключові слова:* важкі метали, цинк, рослини-фітореMediaнти, фітотоксичний ефект.

### Study of the influence of zinc on the growth indicators of phytoremediation plants. Kovrov O., Sushko Z.

The application of phytoremediation technologies is a promising direction in strategies for the restoration of degraded lands, which is based on the ability of certain plants to absorb, concentrate and metabolize pollutants due to hyperaccumulation mechanisms. In order to substantiate the methods of phytoremediation of contaminated lands and establish the growth patterns of phytoremediation plants from the content of heavy metals in soils, laboratory studies using biotesting methods were performed. For biotests, 2 test cultures of phytoremediation plants were chosen: grain sorghum (*Sorghum bicolor*) and field pea (*Pisum sativum*). To study the influence of zinc on plant growth indicators, a solution of zinc sulfate ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) was used for watering, assuming that 1 ml of the solution contains 1 MPC of zinc per 1 kg of soil (23 mg). The idea of the experiment was to water the test plants with solutions of volume  $V = 20$  ml, in which the concentration of zinc corresponds to 0.5, 1, 2, 4 and 8 MPC, during the experiment period (3 days).

It was established that the most optimal concentration of zinc in the soil for grain sorghum and field peas is 1 MPC, which indicates the adequacy of the established standards for the content of heavy metals in soils specified in DSanPiN 2.2.7.029-99. At this concentration, the highest average values of plant height and root length are observed. The value of the phytotoxic effect of growth indicators of phytoremediation plants was calculated depending on zinc concentrations. The obtained results indicate that sorghum and peas can be used as siderates in technogenically polluted territories as a measure of temporary phytoremediation in order to improve the structure and fertility of the soil, enrich it with nitrogen and suppress the growth of ruderal vegetation. *Key words:* heavy metals, zinc, phytoremediation plants, phytotoxic effect.

**Постановка проблеми.** В сучасному світі важкі метали є одними з найбільших токсичних та найпоширеніших антропогенних забруднювачів довкілля, а зокрема ґрунтового покриву. Вони присутні в усіх рівнях екологічної піраміди. Через ґрунтовий покрив та рослини в організм людини потрапляє близько 40-80 % важких металів, коли через воду та повітря – 20-40 %. Через накопичення в організмі людини, вони порушують обмін речовин, нормальну роботу систем і органів, провокують хвороби та навіть викликають рак і мутації. Цинк є найважливішим та другим за кількістю мікроелементом в організмі людини, проте його надлишок є шкідливим та

небезпечним. Рослини-гіперакумулятори мають унікальні властивості щодо поглинання і накопичення важких металів в біомасі, що є найбільш перспективним вирішенням проблеми міграції важких металів та необхідним для збереження природного балансу екосистем. Застосування технологій фітореMediaції для забруднених територій є перспективним в стратегіях відновлення деградованих земель з метою їх подальшого раціонального використання. Для виявлення гіперакумуляційних властивостей і встановлення закономірностей накопичення важких металів в рослинах необхідно виконати низку лабораторних досліджень з використанням методів біотестування.

**Актуальність дослідження.** Грунти є основним середовищем для міграції і накопичення важких металів. Вони потрапляють туди у різних формах (солі розчинні/нерозчинні та оксиди) з атмосфери (дощі, вітрова ерозія), гідросфери (поверхневий стоки, підземні і підгрунтові води), а також можуть мігрувати та вторинно їх забруднювати [1].

Єдиним надійним способом вирішити проблему важких металів в довкіллі є фітореMediaція, яка полягає в здатності певних рослин поглинати, концентрувати та метаболізувати забруднюючі речовини через унікальні біологічні механізми гіперакумуляції, іммобілізації, деградації та ін.

Для обґрунтування технологій фітореMediaції і їх ефективного використання на деградованих територіях і забруднених ґрунтах необхідно попереднє виконання лабораторних біотестових досліджень, що дозволить правильно вибрати певні рослини-гіперакумулянти для цілеспрямованого очищення довкілля від конкретного важкого металу.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Авторами вирішена науково-практична задача зниження рівня забруднення ґрунтів цинком за допомогою гіперакумуляючих властивостей певних рослин-фітореMediaнтів. Виконані дослідження є корисною основою для обґрунтування технологій фітореMediaції забруднених і деградованих ґрунтів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Мобілізація важких металів людиною шляхом розробки родовищ корисних копалин та процесінгу мінеральних руд призводить до вивільнення цих елементів у навколишнє середовище. Оскільки важкі метали не розкладаються, вони накопичуються в навколишньому середовищі і згодом забруднюють харчові ланцюги екосистем. Це забруднення становить небезпеку для навколишнього середовища та здоров'я людей [2].

Площа забруднених чи технічно змінених земель в світі швидко зростає та наразі складає 1,9 млрд га. Даними темпами кількість деградованих земель в світі до 2050 року сягне 90 % [3].

В Україні площа порушених територій ґрунтового покриву десь 15 млн га та ще 24 млн тон гумусу втрачається щорічно. Серед основних проблем – втрата гумусу, переущільнення, замулення, ерозія, забруднення важкими металами, пестицидами, радіонуклідами (цезієм, стронцієм для розпаду яких необхідно близько 300 років) та інші.

У 18 містах України середньорічні концентрації важких металів перевищують ГДК (1,1-11,2), серед них Дніпро, міста Донецької та Київської областей [4].

Значний вміст важких металів у ґрунтах, зокрема цинку, негативно впливає на стан природних екосистем, що може спричинити порушення фізіологічних та біохімічних процесів, які відбуваються у живих організмах [5].

Експериментальні дослідження показують, що цинк достатньо швидко накопичується у ґрунтах і воді та дуже повільно виводиться з них. При надходженні його на поверхню ґрунту він накопичується у ґрунтовій товщі, особливо у верхніх гумусових горизонтах, і повільно видаляється завдяки ерозії, рослинам та вилугуванню [6].

Надкритичне надходження поживних елементів, зокрема цинку, на посіви сільськогосподарських культур здатні супроводжувати різні надзвичайні ситуації і порушення екологічної рівноваги [7].

Проте, є рослини, які акумулюють надмірні концентрації цинку: талабан альпійський (*Thlaspi caerulescens*) – 52 000 мг/кг сухої маси, а також рослини сімейства Гвоздичні (*Caryophyllaceae*) – до 1 500-4 900 мг/кг сухої маси, Хрестоцвітні (*Brassicaceae*) – до 5 400-13 630 мг/кг, Злакові (*Violaceae*) та Кермекові (*Plumbaginaceae*) [8].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** В роботі представлено результати лабораторних досліджень впливу цинку на ростові показники рослин-фітореMediaнтів для обґрунтування технологій фітореMediaції забруднених земель.

**Новизна.** Виконано низку біотестів з рослинами-фітореMediaнтами та розраховано фітотоксичний ефект залежно від концентрацій цинку в ґрунті.

**Методологічне або загальнонаукове значення** полягає в обґрунтуванні доцільності застосування сорго звичайного (*Sorghum bicolor*) та гороху посівного (*Pisum sativum*) в якості рослин-фітореMediaнтів на ґрунтах, забруднених цинком.

**Викладення основного матеріалу.** Проблема забруднення важкими металами стає більш серйозною зі збільшенням темпів індустріалізації та різноманітних впливів на природні біогеохімічні цикли. На відміну від органічних речовин, важкі метали по суті є небіодеградуєчими і тому накопичуються у навколишньому середовищі. Накопичення важких металів у ґрунтах та природних водах становить небезпеку для навколишнього середовища та здоров'я людини. Ці елементи по ланцюгам живлення накопичуються в тканинах живих організмів і внаслідок біокумуляції їх концентрація зростає при переході з нижчого трофічного рівня на більш високій. У ґрунті важкі метали чинять токсичну дію на ґрунтову біоту зокрема мікроорганізми, що суттєво впливає на біопродуктивність екосистеми в цілому.

ФітореMediaція є сучасною екологією, яка базується на використанні рослин та пов'язаних з ними ґрунтових мікроорганізмів для зменшення концентрації або токсичного впливу важких металів у довкіллі.

Основні переваги фітореMediaції пов'язані з екологічно прийнятними і економічно доцільними способами вирішення екологічних проблем забруднення ґрунтів з перспективою їх відновлення до стану природних екосистем. ФітореMediaція за допомогою

певних рослин сприяє створенню піонерних рослинних угруповань, які дають потенціал для відновлення деградованих територій [9].

Піонерні угруповання формують первинну сукцесію порушеного біоценозу, частіше нерівномірну та без взаємодії між різними видами. Невибагливі до родючості ґрунту, рівня вологості та наявності поживних речовин, морозостійкі, вітрозапильні (насіння легко втримується на поверхні), мають швидкі ростові показники та велику кількість насіння, також полюють високу освітленість, тому легко ростуть на відкритих ділянках [10].

Для фітореMediaції найкраще та частіше використовують багаторічні трав'янисті рослини, які швидко розвивають біомасу та мають значну толерантність до важких металів, зокрема рослини сімейства Злаків. Разом з фітореMediaнтами доцільно використовувати сидеральні культури, які садять з метою відновлення чи покращення стану ґрунтів, наприклад рослини сімейства Бобових.

Кожна рослина здатна поглинати певний забруднювач у більшій, або меншій концентрації. Тому при виборі рослин для фітореMediaції, необхідно звернути увагу, які саме речовини вона поглинає.

Звичайне сорго (*Sorghum bicolor*) – трав'яниста одно- чи багаторічна рослина родини Злакових (*Poaceae*). Висота рослини сягає від 0,5 до 7 м. Має потужну біомасу та розвинену кореневу систему глибиною 2-2,5 м. Не потребує добрив для розвитку і пригнічує ріст бур'янів. Сорго використовують як харчову та промислову культуру, а також для вирішення екологічних проблем пов'язаних з фітореMediaцією ґрунтів, захисту від ерозії, збереження структури ґрунтового покриву.

Горох посівний (*Pisum sativum*) – трав'яниста однорічна квіткова самозапильна рослина родини Бобових (*Fabaceae*), використовується як зернобобова. Висота рослин сягає від 50 см до 2,5 м. Переваги використання гороху є невибагливість до умов культивування, можливість росту на засолених ґрунтах, збагачення ґрунту азотом завдяки розвиненій ризосфері. Горох використовують в основному як харчову культуру, а також як сидерат для покращення властивостей ґрунту і для фітореMediaції земель. Він має швидкий ріст, достатньо велику та розлогу біомасу, добре комбінується зі злаками [8].

**Ростовий тест рослин-фітореMediaнтів.** Для обґрунтування способів фітореMediaції забруднених земель і встановлення закономірностей росту рослин-фітореMediaнтів від вмісту важких металів у ґрунтах виконано лабораторні дослідження з використанням методів біотестування.

Ростовий тест складається з обліку змін ростових показників досліджуваної культури, зокрема довжини надземної частини та коріння, вирощеної на індикаторних зразках ґрунту. Тривалість експерименту – 3 тижні.

Для біотестів обрано 2 тест-культури рослин-фітореMediaнтів: зернове сорго (*Sorghum bicolor*) та

горох посівний (*Pisum sativum*). В якості модифікатора забруднення ґрунту цинковий купорос ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ).

Для біотестових експериментів використовували цинковий купорос ( $ZnSO_4$ ), який в певних концентраціях позитивно впливає на процес росту, розвитку та врожайності сільськогосподарських рослин. При потраплянні в ґрунтовий покрив  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  розпадається на катіон –  $Zn^{2+}$  та аніон –  $SO_4^{2-}$ .

Тестові рослини пророщували у спеціальних лотках для пророщування розсади з ємностями для ґрунту об'ємом 200 дм<sup>3</sup>. Посадка кожної з тестових рослин здійснювалось у 6 ємностей лотка з підготовленою ґрунтовою сумішшю. Загалом використано 12 ємностей, 6 – для насіння зернового сорго, 6 – для гороху посівного. В кожну з 12 тестових ємностей об'ємом 200 дм<sup>3</sup> кожна (по 6 ємностей для 2 тест-культур рослин-фітореMediaнтів) насипали підготовлений ґрунт по 50 г, додавали по 20 мл води в кожну та розміщували в місці з гарним освітленням на весь час тривалості експерименту. В чашках Петрі наливали 30 мл води та замочували 120-180 насінин обраних рослин-фітореMediaнтів (рис. 1).

Після замочування насіння висаджували в підготовлений ґрунт по 20-30 насінин рослин-фітореMediaнтів (в залежності від розміру): зернове сорго – 30 насінин (загалом 180 насінин), горох посівний – 20 насінин (загалом 120 насінин). Для створення парникового ефекту ємності з розсадою накривали харчовою плівкою до появи паростків. Необхідною умовою для проведення даного дослідження є підтримка достатньої вологості для проростання насінин.

Для дослідження впливу цинку на ростові показники рослин використано розчин цинкового купоросу ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) для поливу з розрахунку, що 1 мл розчину містить 1 ГДК цинку у перерахуванні на 1 кг ґрунту (23 мг).

Ідея експерименту полягала в тому, щоб протягом терміну експерименту (3 доби) поливати тестові рослини розчинами об'ємом  $V = 20$  мл, в яких концентрація цинку відповідає 0,5, 1, 2, 4 та 8 ГДК. Рослини в контрольних ємностях поливали тільки чистою водою. Схема поливу тестових ємностей з рослинами наведено на рис. 2.

Об'єм одноразового поливу розчином цинкового купоросу становить 20 мл на кожну ємність. Періодичність поливу – 1 раз через добу.

По закінченні експерименту зразки рослин акуратно виймали з кожної ємності лотка та вимірювали за допомогою лінійки довжину кореневої і надземної частини паростків. Використовуючи дані експерименту розраховано середньо арифметичні висоти рослин і довжини корінців, середньо арифметичне відхилення та дисперсію, для кожної концентрації цинку в ємностях рослин-фітореMediaнтів за результатами вимірів. Результати розрахунків показників зведено у табл. 1 і 2.

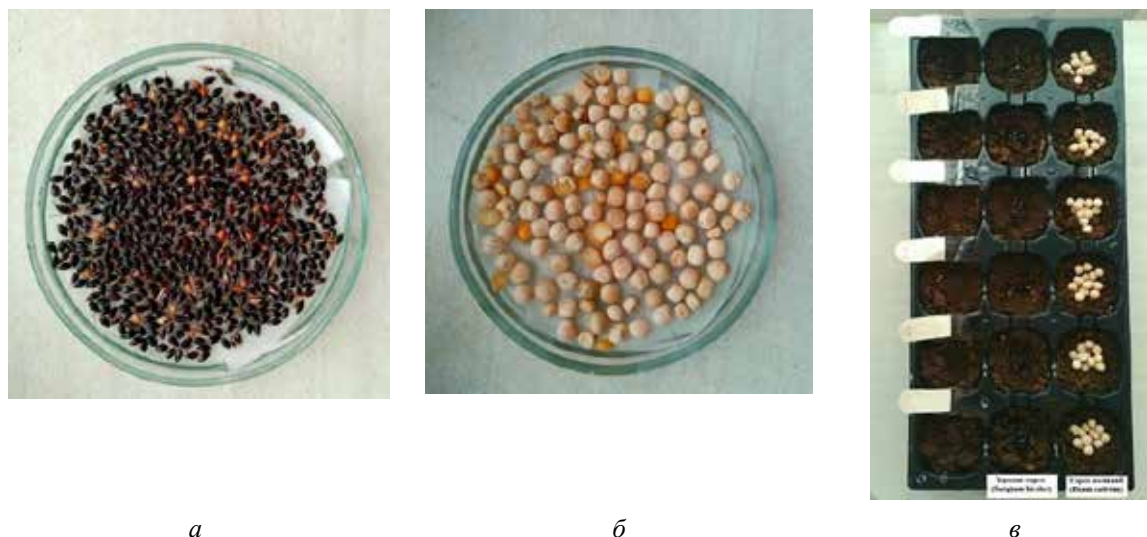


Рис. 1. Підготовка насіння рослин та ємностей з ґрунтовою сумішшю:  
а – зернове сорго; б – горох посівний; в – ємність для висадки насіння рослин

	Зернове сорго ( <i>Sorghum bicolor</i> )	Горох посівний ( <i>Pisum sativum</i> )
С – контроль – 20 мл чистої води		
1 – 0,5 ГДК – 0,5 мл розчину ZnSO <sub>4</sub> + 19,5 мл чистої води		
2 – 1 ГДК – 1 мл розчину ZnSO <sub>4</sub> + 19,0 мл чистої води		
3 – 2 ГДК – 2 мл розчину ZnSO <sub>4</sub> + 18,0 мл чистої води		
4 – 4 ГДК – 4 мл розчину ZnSO <sub>4</sub> + 16,0 мл чистої води		
5 – 8 ГДК – 8 мл розчину ZnSO <sub>4</sub> + 12,0 мл чистої води		

Рис. 2. Схема поливу рослин розчином ZnSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O

На рис. 4-5 представлено результати статистичного аналізу ростового тесту (середнє значення, дисперсія, стандартне відхилення) для рослин-фіторемедіантів залежно від поглинання цинку.

Встановлено, що найоптимальніші показники висоти рослин та довжини коренів отримані при концентрації цинку в 1 ГДК. Слід відзначити, що у ємностях з концентрацією 0,5 ГДК ріст рослин краще порівняно з контролем, що свідчить про стимулюючий ефект цинку у невеликих концентраціях.

Фітотоксичний ефект у % від впливу різних концентрацій цинку на ростові показники тестових рослин визначається за результатами вимі-

рювань довжини коренів та надземної частини рослин-фіторемедіантів:

$$\Phi E = \frac{M_o - M_x}{M_o} * 100, \% \quad (1)$$

де  $M_o$  – значення обраного параметра рослини з посуду із контрольним розчином (в даному випадку – вода);

$M_x$  – значення обраного параметра рослини з ємності з певною концентрацією цинку [11].

Результати розрахунків фітотоксичного ефекту ростових показників обраних рослин наведено у табл. 3.

На рис. 6 показано, що найбільший фітотоксичний ефект від цинку за довжиною надземної частини рослин спостерігається при перевищенні ГДК цинку в 8 раз (зернове сорго – 60,30 %, горох посівний – 60,47 %), а найменший – при 1 ГДК цинку (зернове сорго – -32,85 %, горох посівний – -42,94 %).

Найбільший фітотоксичний ефект від цинку за довжиною коренів (рис. 7) спостерігається при перевищенні ГДК цинку в 8 раз (зернове сорго – 46,54 %, горох посівний – 56,29 %), а найменший – при 1 ГДК цинку (зернове сорго – -39,63 %, горох посівний – 5,62 %).

Таким чином, найоптимальнішою концентрацією цинку в ґрунті для зернового сорго та гороху посівного є 1 ГДК, що свідчить про адекватність встановлених норм вмісту важких металів у ґрунтах зазначених у ДСанПіН 2.2.7.029-99 [12]. При даній концентрації спостерігаються найвищі показники середніх значень висоти рослин та довжини коренів. При 0,5 ГДК, Контроль та 2 ГДК спостерігається вже менший об'єм біомаси, як наземної, так кореневої частини.

При 4 ГДК вже ростові показники рослин-фіторемедіантів зменшилися більше ніж в 2 рази. А при



Рис. 3. Динаміка росту рослин-фіторемедіантів протягом експерименту:  
а – 3 дні; б – 10 діб; в – 15 діб; г – 21 доба

Таблиця 1

Середні значення ростових показників для *Sorghum bicolor*

Тестова ємність	Показник	$\bar{x} \pm m$	$\sigma^2$
Контроль	Висота рослин, см	13,88 +/- 0,16	0,44
	Довжина коренів, см	6,51 +/- 0,07	0,08
0,5 ГДК	Висота рослин, см	14,93 +/- 0,29	1,43
	Довжина коренів, см	8,24 +/- 0,13	0,29
1 ГДК	Висота рослин, см	18,44 +/- 0,25	1,06
	Довжина коренів, см	9,09 +/- 0,15	0,38
2 ГДК	Висота рослин, см	11,03 +/- 0,12	0,25
	Довжина коренів, см	7,01 +/- 0,14	0,33
4 ГДК	Висота рослин, см	7,12 +/- 0,14	0,33
	Довжина коренів, см	5,24 +/- 0,12	0,25
8 ГДК	Висота рослин, см	5,51 +/- 0,08	0,11
	Довжина коренів, см	3,48 +/- 0,07	0,08

8 ГДК спостерігається вже зменшення висоти рослин та довжини коренів майже в 3 рази. Також при 4 ГДК та 8 ГДК рослини-фіторемедіанти поступово деградує та майже не відбувається розвиток біомаси.

**Головні висновки.** В даній роботі досліджено вплив забруднення ґрунтів цинком на ростові показ-

ники рослин-фіторемедіантів з метою їх потенційного використання в технологіях фіторемедіації деградованих земель.

Встановлено, що найоптимальнішою концентрацією цинку в ґрунті для зернового сорго та гороху посівного є 1 ГДК, що свідчить про адекватність встановлених норм вмісту важких металів у ґрунтах

Таблиця 2

Середні значення ростових показників для *Pisum sativum*

Тестова ємність	Показник	$\bar{x} \pm m$	$\sigma^2$
Контроль	Висота рослин, см	14,09 +/- 0,18	0,55
	Довжина коренів, см	8,19 +/- 0,11	0,21
0,5 ГДК	Висота рослин, см	16,84 +/- 0,18	0,55
	Довжина коренів, см	7,13 +/- 0,10	0,17
1 ГДК	Висота рослин, см	20,14 +/- 0,27	1,24
	Довжина коренів, см	7,73 +/- 0,11	0,21
2 ГДК	Висота рослин, см	16,06 +/- 0,14	0,33
	Довжина коренів, см	6,58 +/- 0,07	0,08
4 ГДК	Висота рослин, см	8,63 +/- 0,18	0,55
	Довжина коренів, см	5,71 +/- 0,10	0,17
8 ГДК	Висота рослин, см	5,57 +/- 0,07	0,08
	Довжина коренів, см	3,58 +/- 0,06	0,06

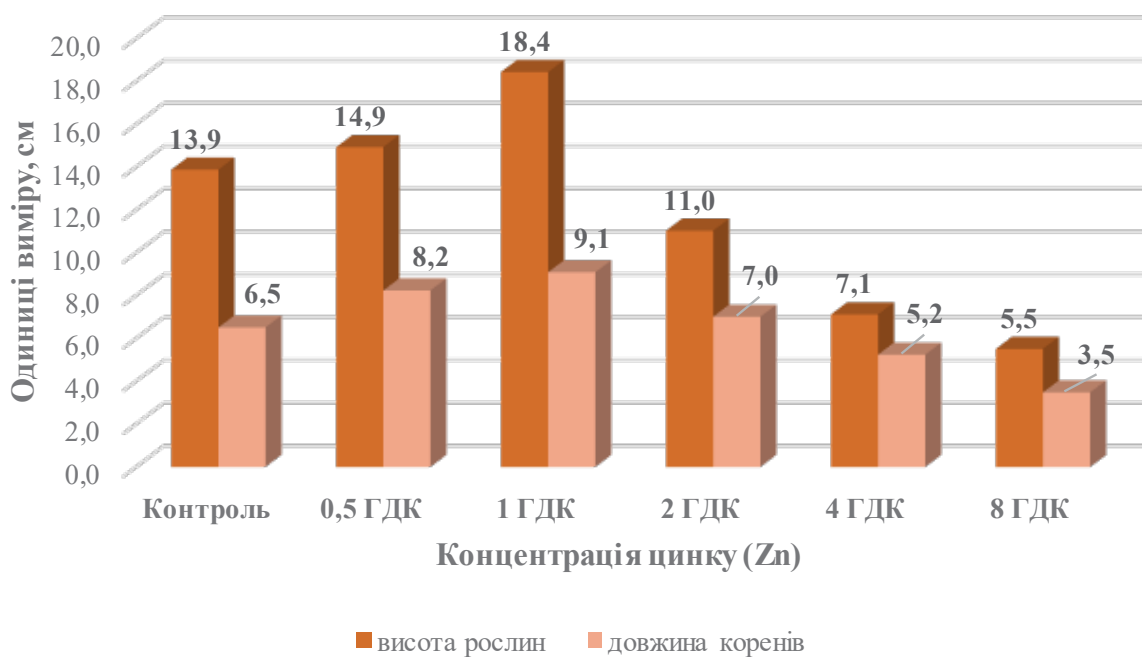


Рис. 4. Вплив концентрацій цинку на ростові показники зернового сорго

зазначених у ДСанПіН 2.2.7.029-99. При даній концентрації спостерігаються найвищі показники середніх значень висоти рослин та довжини коренів. При концентраціях цинку 0,5 ГДК, та його збільшення з 2 до 8 ГДК спостерігається зменшення об'єму біомаси, як наземної, так і кореневої частини рослин. При 4 ГДК вже ростові показники рослин-фітотоксикантів зменшилися більше ніж в 2 рази. А при 8 ГДК спостерігається вже зменшення висоти рослин та довжини коренів майже у 3 рази. Також при 4 ГДК та 8 ГДК спостерігається гальмування росту біомаси у часі.

Для сорго найбільший відсоток фітотоксичного ефекту 60,3 % та 46,54 % відповідно спостерігається для висоти рослин та довжини коренів відповідно при 8 ГДК цинку, а найменший відсоток -32,85 % та -39,63 % спостерігається для висоти рослин та довжини коренів відповідно при 1 ГДК цинку. Для гороху, найбільший відсоток фітотоксичного ефекту 60,47 % та 56,29 % відповідно спостерігається для висоти рослин та довжини коренів відповідно при 8 ГДК цинку, а найменший відсоток -42,94 % та 5,62 % спостерігається для

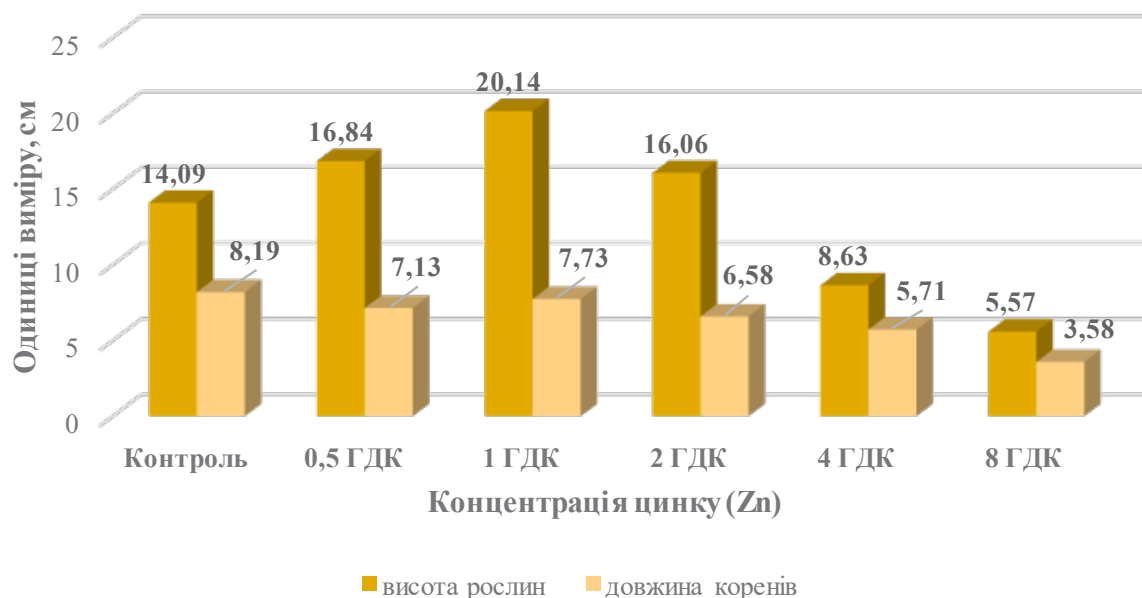


Рис. 5. Вплив концентрацій цинку на ростові показники гороху посівного

Таблиця 3

**Фітотоксичний ефект ростових показників зернового сорго та гороху посівного залежно від концентрацій цинку**

Концентрація цинку (Zn)	Параметр рослинної біомаси	Фітотоксичний ефект, %	
		Зернове сорго ( <i>Sorghum bicolor</i> )	Горох посівний ( <i>Pisum sativum</i> )
0,5 ГДК	Висота рослин	-7,56 %	-19,52 %
	Довжина коренів	-26,57 %	12,94 %
1 ГДК	Висота рослин	-32,85 %	-42,94 %
	Довжина коренів	-39,63 %	5,62 %
2 ГДК	Висота рослин	20,53 %	-13,98 %
	Довжина коренів	-7,68 %	19,66 %
4 ГДК	Висота рослин	48,70 %	38,75 %
	Довжина коренів	19,51 %	30,28 %
8 ГДК	Висота рослин	60,30 %	60,47 %
	Довжина коренів	46,54 %	56,29 %

висоти рослин та довжини коренів відповідно при 1 ГДК цинку.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати свідчать, що сорго та горох можна використовувати в якості сидератів на техногенно забруднених територіях в якості заходу тимчасової фіторекультиваци з метою поліпшення структури та родючості ґрунту, збагачення його азотом та пригнічення росту рудеральної рослинності.

**Disclaimer.** Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the

author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з освіти та культури (EACEA). Ні Європейський Союз, ні орган, що надає гранти, не можуть нести за них відповідальності.



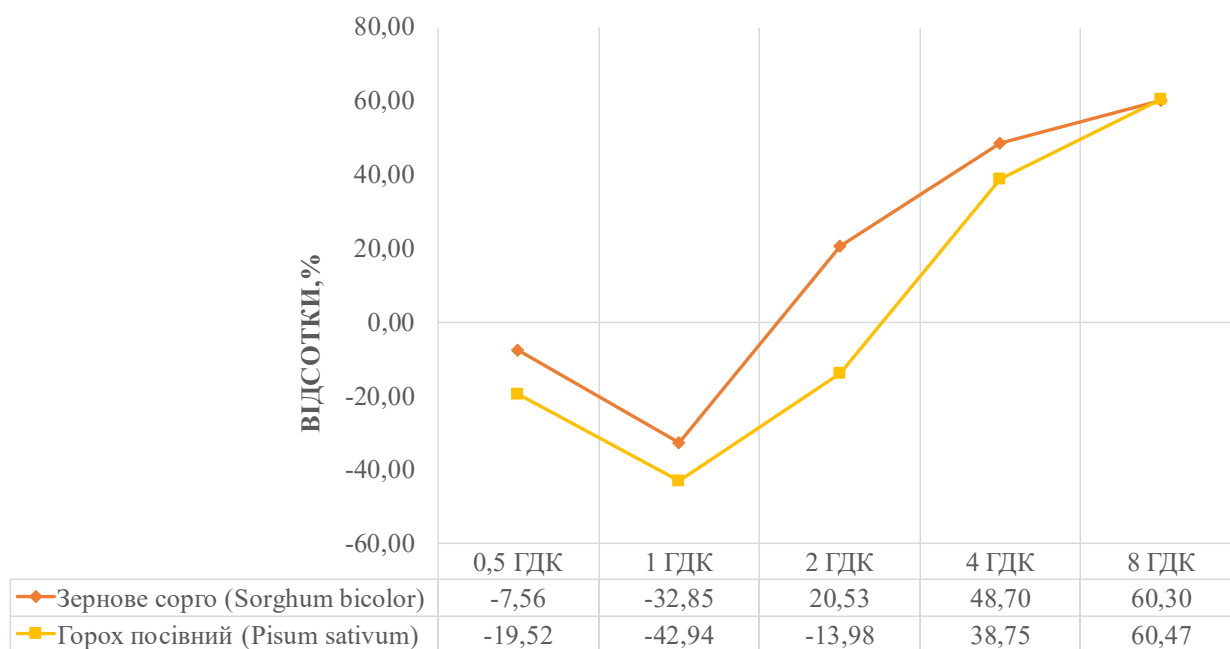


Рис. 6. Фітотоксичний ефект за висотою паростків рослин-фіторемедіантів залежно від концентрацій цинку

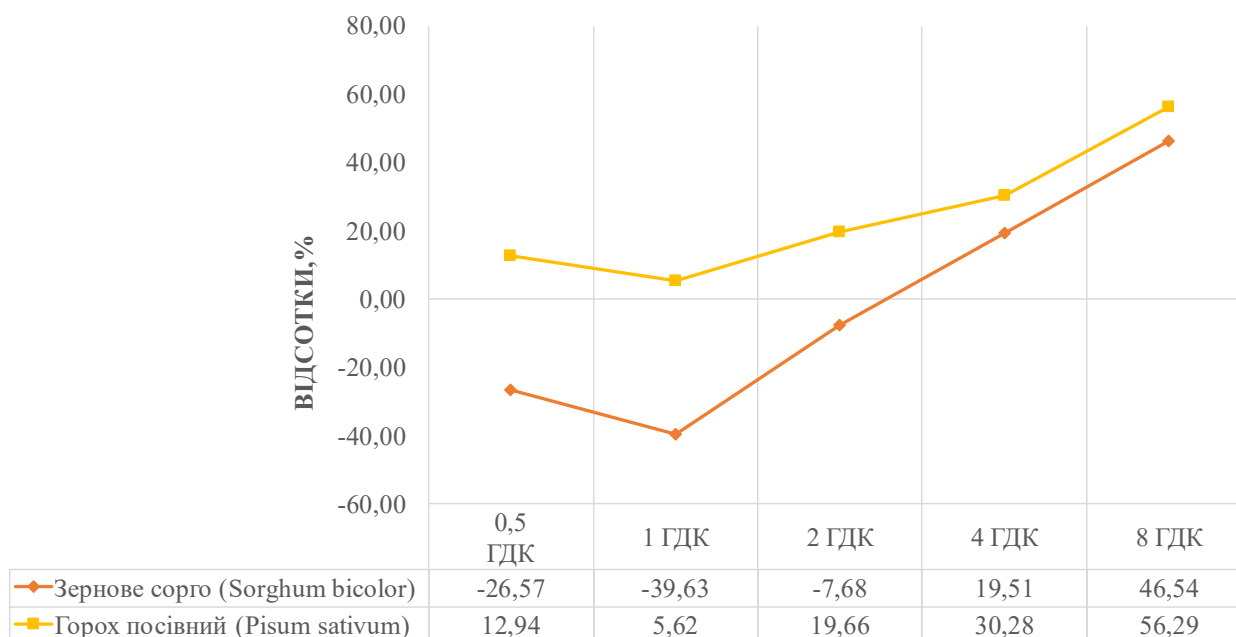


Рис. 7. Фітотоксичний ефект за довжиною коренів рослин-фіторемедіантів залежно від концентрацій цинку

### Література

1. Цицюра Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех Л.В. Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультивації у сучасних системах землеробства: монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.
2. Ali N., Khan E., Sajad M.A. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. *Chemosphere*. 2013. Vol. 91(7). P. 869-881. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.
3. Бобильов Ю.П., Бригадиренко В.В., Булахов В.Л. та ін. Екологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів / за заг. ред. О.С. Пахомова. Харків: Фоліо, 2014. 666 с.
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Київ, 2023. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 23.03.2024).

5. Тонха О.Л., Галімова В.М. Моніторинг важких металів у системі ґрунт-рослина-тварина в залежності від обробітку ґрунту. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2005. № 81. С. 200–206.
6. Андрієвська О.А. Геохімічний огляд розподілу цинку у компонентах техногенних ландшафтів поблизу військових полігонів України. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2009. № 1(9). С. 48–52.
7. Сгорова Т.М., Корнілова Н.А., Мінералов О.І. Вплив критичного надлишку мікроелементів на розвиток культури ячмінь (*Hordeum*). *Agroecological journal*. 2022. № 2. С. 86–91. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263322>
8. Цицюра Я.Г. Рекультивация і фітореємедіація деградованих земель: метод. вказівки. Вінниця: ВНАУ, 2023. 360 с.
9. Кучерявий В.П., Генік Я.В., Дида А.П., Колодко М.М. Рекультивация та фітомеліорація: навч.-метод. посібн. Львів: Вид-во НЛТУ України, 2006. 116 с.
10. Prasad M.N.V., Freitas H. Feasible Biotechnological and Bioremediation Strategies for Serpentine Soils and Mine Spoils. *Electron. J. Biotechnol.* 1999. Vol. 2, P. 35–50.
11. Горова А.І., Павличенко А.В., Борисовська О.О., Ґрунтова В.Ю., Деменко О.В. Біоіндикація: метод. рекомендації. Д.: Національний гірничий університет, 2014. 76 с.
12. Державні санітарні правила та норми. 2. Комунальна гігієна. 2.7. Ґрунт, очистка населених місць, побутові та промислові відходи, санітарна охорона ґрунту. «Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення»: ДСанПіН 2.2.7.029-99. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0029588-99#Text> (дата звернення: 23.03.2024).

## СТАН ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ТУРКІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Курганевич Л.П., Войтків П.С., Блажівський О.Я., Блажівська О.Я.

Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. П. Дорошенка, 41, 79000, м. Львів

[Lyudmyla.Kurhanevych@lnu.edu.ua](mailto:Lyudmyla.Kurhanevych@lnu.edu.ua), [petro.voytkiv@lnu.edu.ua](mailto:petro.voytkiv@lnu.edu.ua),

[oblazhivskij@gmail.com](mailto:oblazhivskij@gmail.com), [blazivskaola@gmail.com](mailto:blazivskaola@gmail.com)

Проведено аналіз структури землекористування та оцінено стан земельних ресурсів Турківської територіальної громади Львівської області у розрізі окремих старостинських округів. Встановлено, що в структурі земельних угідь найбільша частка земель припадає на ліси та інші лісовкриті площі – 53,15 %, сільськогосподарські землі займають – 40,98 %, забудовані землі – 4,02 %, відкриті заболочені землі – 0,003 %, відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом – 0,43 %, землі зайняті під водами – 1,42 % та сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом – відсутні. В цілому по громаді сільськогосподарські землі займають 16 344,3 га, де рілля складає 52,82 %, багаторічні насадження – 0,58 %, сіножаті – 7,68 %, пасовища – 37,70 % та інші с/г землі – 1,22 %. Найбільша площа сільськогосподарських земель припадає на Завадківський старостинський округ – 2 192,8 га (більше 50 % зайнято ріллею), найменша на Ісаївський старостинський округ – 836,4 га.

Екологічний стан агроландшафтів Турківської територіальної громади характеризується як задовільний. За результатами проведених розрахунків визначено, що в межах досліджуваної громади переважають екологічно стабільні та екологічно середньо стабільні території. Землі Турківської міської ради відносяться до категорії екологічно слабо стабільних територій. Однак лише в чотирьох старостинських округах рівень антропогенного навантаження на земельні ресурси характеризується як низький. У семи старостинських округах він визначений як середній. Земельні ресурси Турківської міської ради зазнають найбільшого антропогенного навантаження, для яких пропонується розробити оптимізаційну модель землекористування, що передбачає скорочення в структурі сільськогосподарських земель ріллі та доведення частки природних угідь до оптимального показника. *Ключові слова:* земельні ресурси, територіальна громада, антропогенне навантаження, екологічна стабільність земель.

**State of the land resources of Turka territorial community in Lviv region. Kurhanevych L., Voitkiv P., Blazhivskiy O., Blazhivska O.**

An analysis of the structure of land use was carried out and the state of land resources of the Turka Territorial Community of Lviv Region was assessed for the each Starosta District. It was established that in the structure of land use the forested areas are characterized by the largest share – 53,15 %, agricultural area occupies – 40,98 %, built lands – 4,02 %, wetlands – 0,003 %, lands without vegetation cover or with insignificant vegetation cover – 0,43 %, lands under water bodies – 1,42 % and dry open lands with special vegetation cover are absent. In general, agricultural lands in the territorial community occupy 16 344,3 hectares, where arable lands amount 52,82 %, perennial crops – 0,58 %, hayfields – 7,68 %, pastures – 37,70 %, and other agricultural land – 1,22 %. The largest area of agricultural lands belongs to the Zavadkiv Starosta District – 2 192,8 hectares (more than 50 % is occupied by arable lands), the smallest is in the Isayiv Starosta District – 836,4 hectares.

The ecological state of the agricultural landscapes of the Turka Territorial Community is characterized as satisfactory. According to the results of the calculations, it was determined that the ecologically stable and ecologically moderately stable areas dominate within the studied territorial community. The lands of the Turka City Council belong to the category of ecologically weakly stable territories. However, the low level of man-made pressure on land resources is only observed in four Starosta Districts. In the seven Starosta districts this level is determined as medium. The land resources of the Turka City Council receive considerably larger man-made pressure. Therefore, it is proposed to develop an optimization model of land use, which will include reduction of the share of arable agricultural lands and providing the optimal level of the share with natural lands. *Key words:* land resources, territorial community, man-made pressure, ecological stability of lands.

**Актуальність дослідження.** Серед факторів інвестиційної привабливості Турківської міської громади Львівської області чільне місце посідають природні ресурси. Стратегія розвитку громади фокусується на декількох пріоритетних бізнесових напрямках – туристично-рекреаційному, лісогосподарському та сільськогосподарському [4]. Інвестиційна пропозиція з вирощування сільськогосподарської продукції обґрунтовується наявністю ринків збуту, фінансовою підтримкою, а також сприятливими природними умовами. Крім того, на

Турківщині є можливість виготовляти автентичну крафтову бойківську продукцію з місцевої сировини. Зазначені аргументи виступають стимулом для жителів громади оцінити ресурсний потенціал території свого проживання та оберігати природні багатства свого краю як джерело їхнього добробуту. Тому дослідження стану земельних ресурсів Турківської територіальної громади шляхом аналізу рівня антропогенного навантаження та оцінки екологічної стабільності земель є *актуальним науковим завданням* сьогодення.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тематика дослідження відповідає темі науково-дослідної роботи кафедри конструктивної географії і картографії Львівського національного університету імені Івана Франка: «Проблеми трансформації природно-антропогенних геосистем західного регіону України в контексті Євроінтеграції». Номер держреєстрації: 0123U102092. Результати дослідження можуть бути використані органами місцевого самоврядування для оптимізації землекористування й вдосконалення управління земельними ресурсами громади.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Характеристика природних умов та геоecологічного стану компонентів довкілля досліджуваної території представлена науковцями у монографічних працях регіонального рівня [3, 8, 10]. Однак детальних великомасштабних досліджень природоресурсного потенціалу території на рівні новостворених старостинських округів у межах окремої, зокрема Турківської територіальної громади, наразі недостатньо.

Серед публікацій, які висвітлюють питання екоecологічної оцінки землекористування, екоecологічного оцінювання стану земельних ресурсів окремих територіальних громад України, варто зазначити дослідження Кузика І., Новицької С., Янковської Л. [7], Войтківа П. С., Іванова Є. А. [2] та інших. Міжнародний досвід сучасного стану науки і техніки в сфері землеустрою і консолідації земель у сільській місцевості Німеччини розкривається в посібнику, який підготовлений для українського читача професором, доктором Йоахімом Томасом [5].

**Методика дослідження.** Оцінка антропогенного впливу на земельні ресурси території громади проводилась нами шляхом аналізу структури угідь (співвідношення площ земель, зайнятих сільськогосподарськими угіддями, ріллею, лісами, сіножатями і пасовищами, водою, забудовою (%)), визначенням рівня сільськогосподарської освоєності території [13]. Для екоecологічного оцінювання стану земельних ресурсів громади застосовували методику визначення коефіцієнтів екоecологічної стабільності території та рівня антропогенного тиску, запропоновану Н. М. Рідеєм, Д. Л. Шофоловим [12]. В основу аналізу покладено розрахунок коефіцієнтів –  $K_{cc}$  і  $K_{ан}$ , які описують величину впливу господарської діяльності. У першому випадку враховується значення коефіцієнтів екоecологічних властивостей різних типів угідь, у другому – бальне оцінювання ступеня їхнього антропогенного навантаження.

**Виклад основного матеріалу.** Турківська територіальна громада (ТГ) розташована в межах Самбірського району Львівської області. Адміністративний центр – місто Турка. Площа громади – 398,8 км<sup>2</sup>, населення – 23,6 тис. осіб (станом на 2022 р.). Густота населення – біля 59 осіб/км<sup>2</sup>. На півночі Турківська громада межує з Стріліківською

ТГ Самбірського району, на сході з Східницькою ТГ Дрогобицького району, на півдні – Боринською ТГ Самбірського району та на заході із Республікою Польща [9]. У склад громади входить 1 місто (Турка) і 24 села, які у свою чергу об'єднані у 11 старостинських округів (СО), створених на базі одноіменних сільських рад: Хашівський, Лімнянський, Вовченський, Шум'яцький, Присліпський, Розлуцький, Явірський, Ісаївський, Ясеницький, Завадівський та Ільницький (рис. 1).

За фізико-географічним розташуванням Турківська громада знаходиться в межах Карпатської гірської країни: Зовнішньокарпатська та Вододільно-Верховинська області [6].

Територія досліджень належить до групи карпатських природних районів (К. І. Геренчук, 1972 р.): низькогірно-бескидські райони (Верньодністровський та Турківський); середньогірно-бескидські райони (Виднохідський) [11]. Вона має ряд особливостей: у рельєфі переважають низькогірні і середньогірні хребти з висотами 800-1100 м, низькогірно-горбистий рельєф (структурно-ерозійне низькогір'я) та низькогірно-увалистий рельєф верховинського типу; основний геоморфологічний район низькогірного рельєфу Стрийсько-Сянської верховини із широкою Турківською повздовжньою долиною; клімат помірний, м'який (незначні коливання температурного режиму періоду зима-літо); середня кількість опадів складає 700-900 мм; у ґрунтовому покриві переважають бурі лісові ґрунти, дерново-буроземні та вздовж р. Стрий – лучні ґрунти; більше половини території зайняті лісами та іншими лісовкритими площами; значна частка припадає на сільськогосподарські (с/г) землі.

Важливе значення для оцінювання стану земельних ресурсів має аналіз структури землекористування, яка визначає рівень антропогенного навантаження та ступінь екоecологічної стійкості земель. Як видно з діаграми структури земельних угідь (рис. 2), найбільша частка земель у межах Турківської громади припадає на ліси та інші лісовкриті площі – 21 196,1 га (53,15 %); сільськогосподарські землі займають 16 344,3 га (40,98 %); забудовані землі – 1 601,3 га (4,02 %); відкриті заболочені землі – 1 га (0,003 %); відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом – 171,9 га (0,43 %); землі зайняті під водами – 564,6 га (1,42 %) та сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом – відсутні.

Для визначення переважаючих категорій земельних угідь доцільно проаналізувати їхнє співвідношення в межах старостинських округів (рис. 3). Найбільша площа с/г земель знаходиться у межах Завадківського СО (2 192,8 га), найменша – Ісаївського СО (836,4 га). Найбільша площа лісів та інших лісовкритих площ припадає на Ісаївський СО (3 265 га), найменша – Шум'яцький СО (309 га). Найбільша площа забудованих земель визначена у межах Турківської міської ради (359,2 га), най-

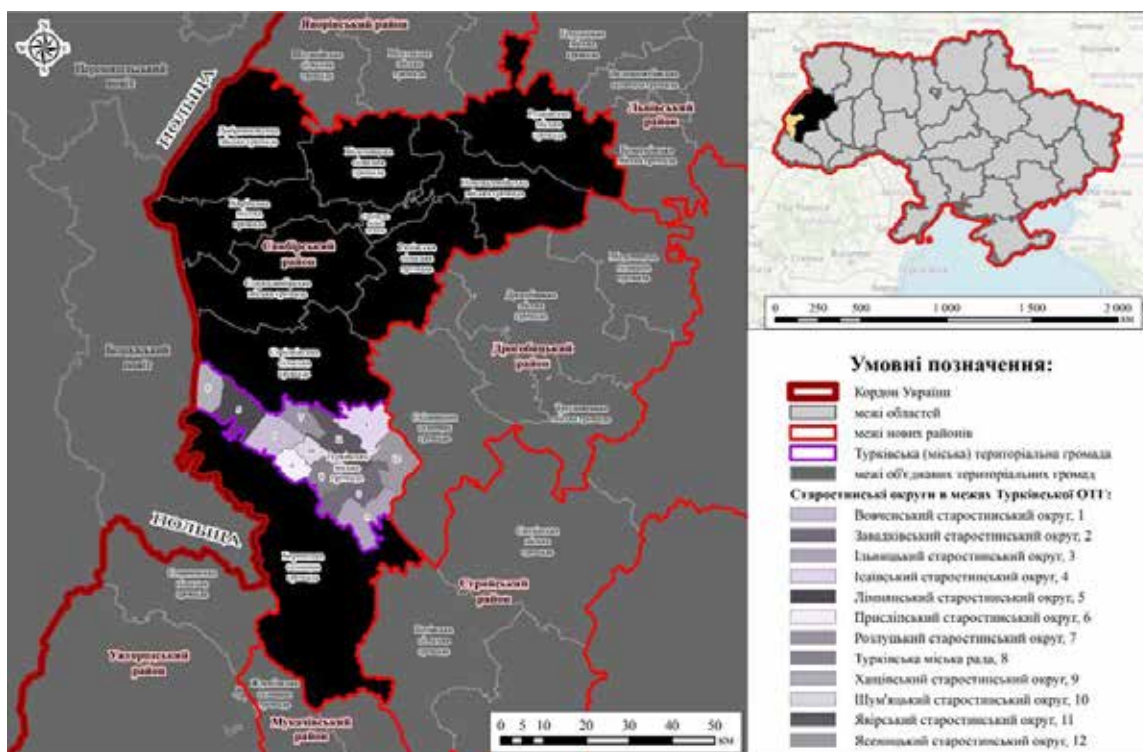


Рис. 1. Географічне розташування Турківської територіальної громади Львівської області

Джерело: складено авторами на основі Quick OSM [1]

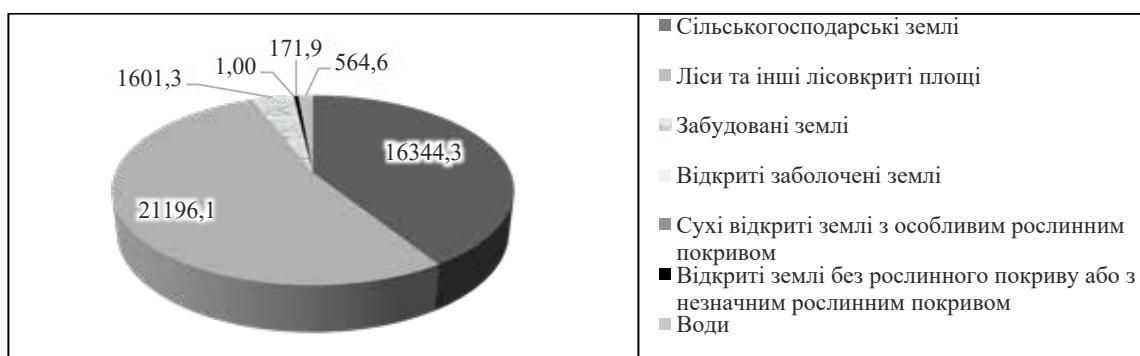


Рис. 2. Структура земель у межах території Турківської громади, га

Джерело: складено авторами за даними Земельного банку Львівщини, 2022 р.

менша – у межах Шум'яцького СО (53 га). Відкриті заболочені землі наявні лише в Розлуцькому СО – 1 га. Найбільша площа відкритих земель без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом припадає на Турківську міську раду (43,5 га), а найменша – Вовчанський СО (0,8 га). Найбільша площа земель зайнятими під водами визначена у межах Ільницького СО (105 га), найменша – у межах Присліпського та Розлуцького старостинських округів (по 10 га).

Для визначення рівня сільськогосподарського освоєння території було використано кількісні показники структури земель: рілля, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища та інші сільськогоспо-

дарські землі (під господарськими будівлями і дворами, господарськими шляхами і прогонами, землі тимчасової консервації тощо).

Якщо розглядати в цілому по громаді, то сільськогосподарські землі займають 16 344,3 га, де на рілля припадає 8 633 га (52,82 %); багаторічні насадження – 94,4 га (0,58 %); сіножаті – 1255,2 га (7,68 %); пасовища, переважно гірські – 6161,5 (37,70 %) та інші с/г землі – 200,1 га (1,22 %). Найбільша площа с/г угідь знаходиться у Завадківському СО – 13,4 % від загальної площі с/г земель у громаді, а найменша в Ісаївському СО – 5,1 %.

Для порівняння категорій сільськогосподарських земель розглянемо їхній розподіл у межах

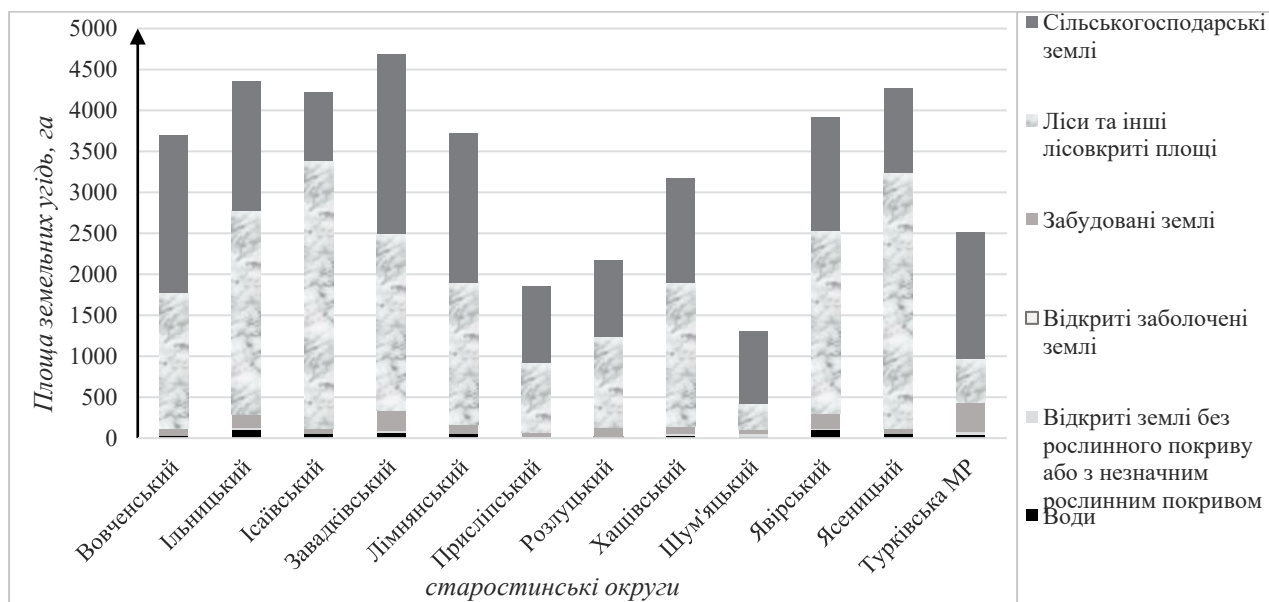


Рис. 3. Розподіл земельних угідь у межах старостинських округів Турківської територіальної громади  
Джерело: складено авторами за даними Земельного банку Львівщини, 2022 р.

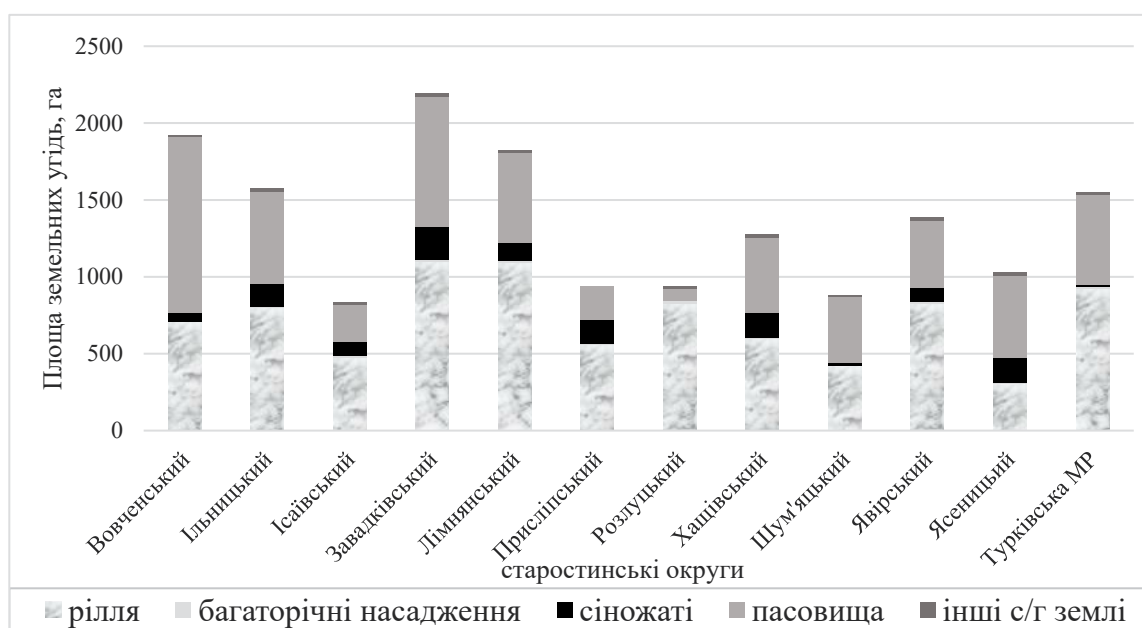


Рис. 4. Структура сільськогосподарських земель у межах Турківської громади

Джерело: складено авторами за даними Земельного банку Львівщини, 2022 р.

окремих старостинських округів (рис. 4). Рілля складає найбільшу частку від загальної площі сільськогосподарських земель у Завадківському СО – 1 100,58 га (50,19 %), а найменшу у Ясеницькому СО – 302,44 га (29,4 %). Багаторічними насадженнями зайнято найбільше земель у межах Розлуцького СО – 18,14 га (1,94 %), а найменше у Вовченському СО – 0,36 га (0,02 %). Сіножаті складають найбільші площі в Завадківському СО – 219,1 га (10 %), а найменші в Розлуцькому СО – 3,5 га (0,37 %).

Під пасовищами знаходиться найбільше с/г земель у Вовченському СО – 1 147,6 га (59,71%), а найменше в Розлуцькому СО – 72,4 га (7,74 %). Інші с/г землі займають найбільші площі в Ільницькому СО – 25 га (1,59 %), а найменші у Вовченському СО – 8,89 га (0,46 %)

Екологічний стан агроландшафтів Турківської територіальної громади, який розрахований за співвідношенням площ ріллі й угідь ощадливого використання, характеризується як задовільний. Навіть

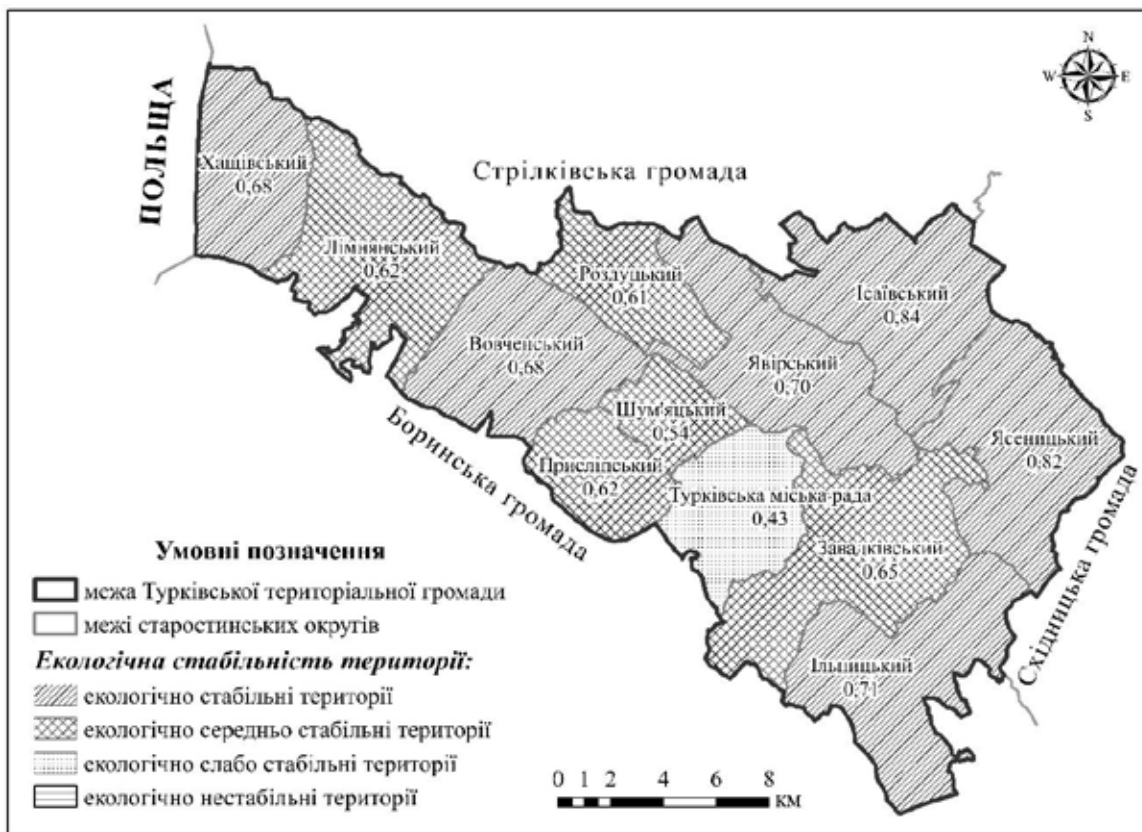


Рис. 5. Екологічна стабільність земель Турківської територіальної громади



Рис. 6. Рівень антропогенного навантаження на земельні ресурси Турківської територіальної громади

незначні структурні зміни можуть погіршити екологічну рівновагу між угіддями. Лише половина земель району досліджень визначається як екологічно стабільні території (рис. 5). Землі п'яти старостинських округів характеризуються як екологічно середньо стабільні території. Найгіршу екологічну стабільність мають землі Турківської міської ради. Низький рівень антропогенного навантаження визначено у північно-східній частині громади – Ісаївський, Явірський та Ясеницький СО, а також на заході – Хащівський СО (рис. 6).

Їхні території характеризуються значною залісненістю та помірною забудовою земель. Більше половини земельних ресурсів району досліджень зазнають середнього рівня антропогенного навантаження. Потребують особливої уваги земельні ресурси Турківської міської ради, які визначаються підвищеним рівнем антропогенного навантаження.

**Висновки.** Земельні ресурси Турківської територіальної громади відіграють важливу економічну

і соціальну роль та виступають одним із факторів інвестиційної привабливості регіону. Встановлено, що в структурі земельних угідь території досліджень більше половини земель припадає на ліси та інші лісовкриті площі – 53,15 %. Значні площі займають також сільськогосподарські землі – 40,98 %, серед яких переважає рілля (52,82 %) та пасовища (37,70 %). Екологічний стан агроландшафтів Турківської територіальної громади характеризується як задовільний.

За результатами проведених розрахунків визначено, що в межах досліджуваної громади переважають екологічно стабільні та екологічно середньо стабільні території. Підвищеним рівнем антропогенного навантаження характеризуються лише землі Турківської міської ради, для яких пропонується розробити оптимізаційну модель землекористування, що передбачає скорочення в структурі сільськогосподарських земель ріллі та доведення частки природних угідь до оптимального показника.

### Література

1. Блажівський О. Я. Здійснення SWOT-аналізу (на прикладі Турківської громади Львівської області / Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: Зб. наук. праць. Переяслав, 2023. Вип. 99. С. 15-19.
2. Войтків С. П., Іванов Є. А. Екологічне оцінювання стану земельних ресурсів Червоноградського району Львівської області. *Екологічні науки*. 2024. № 1(52). Т.1. С. 173-178.
3. Геоєкологія Львівської області : монографія / Ю. Андрейчук, Л. Безручко, В. Біланюк та ін. / за заг. ред. Є. Іванова. Львів : Простір-М, 2021. 606 с.
4. Інвестиційний паспорт Турківської міської громади Львівської області. Україна. 2022 р. URL: <https://turka-mrada.gov.ua/investicijni-pasport-15-17-07-13-03-2023/>
5. Йоахім Томас. Землеустрій і консолідація земель на сільських територіях Німеччини. Київ-Ніжин : Видавець Лисенко М. М., 2021. 428 с.
6. Кравчук Я. С. Рельєф Українських Карпат : монографія. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 576 с.
7. Кузик І., Новицька С., Янковська Л. Геоєкологічна оцінка структури землекористування Підгороднянської територіальної громади. *Наукові записки*. № 2. 2023. С. 97-105. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.2.12>
8. Львівська область: природні умови та ресурси: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів : Видавництво Старого Лева, 2018. 592 с.
9. Офіційний сайт Турківської міської громади. URL: <https://turka-mrada.gov.ua>
10. Пилипович О. В., Ковальчук І. П. Геоєкологія річково-басейнової системи верхнього Дністра : монографія / за наук. ред. проф. І. П. Ковальчука. Львів-Київ : ЛНУ імені Івана Франка, 2017. 284 с.
11. Природа Львівської області / за ред. К. І. Геренчука. Львів : Львівський університет, 1972. 156 с.
12. Рідей Н. М., Шофолов Д. Л. Екологічна стандартизація для забезпечення сталого землекористування та охорони земель. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2009. Вип. 1 (12). С. 41–50.
13. Фоновий моніторинг навколишнього природного середовища : монографія / за ред. М. М. Приходька. Івано-Франківськ : Фоліан т, 2010. 324 с.



## ОЦІНКА ВПЛИВУ НА СТАН ҐРУНТІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ДРІБНИХ ОБ'ЄКТІВ КОМБІНОВАНОГО СКЛАДУ<sup>1</sup>

Тихомирова Т.С., Титаренко А.І., Косенкова І.Д.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

tetiana.tykhomyrova@khp.edu.ua

У роботі досліджено вплив на ґрунти урбанізованих територій дрібних об'єктів комбінованого складу, а саме блискіток від святкових хлопавок. Вперше привернена увага до такого типу сміття, причин його появи, зроблено припущення щодо впливу блискіток на екосистеми ґрунтів урбанізованих територій. Проведено дослідження місць їх утворення, розповсюдження та подальшого зосередження. Дослідження показали, що переважна більшість блискіток утворюються на поверхні ґрунтів прибудинкових територій, дитячих майданчиків, рідше – біля розважальних та спортивних закладів. Стрімке зростання утворення такого типу сміття після 2022 року може бути пов'язане з тотальною заборонаю на використання піротехнічних феєрверків на території України, що призвело до зростання попиту на різноманітні хлопавки. Проаналізовано переніс блискіток на певні відстані у різні періоди року, вивчено вплив різних факторів на цей процес.

Історично у хлопавках вміщували конфеті, яке було зроблено з двостороннього паперу або навіть старих газет та журналів. Таке начиння не наносило критичної шкоди довкіллю, адже було не стійким до дії атмосферних осадів та розкладалось за період до 1 року. Сучасні хлопавки начинені різними за розміром та формою металізованими блискітками, які виготовляються з фольги або металізованого полімерного матеріалу. Вони не розкладаються у природі впродовж тривалого часу.

Проведені дослідження показали неефективність ручного прибирання, яке є переважачим способом прибирання прибудинкових територій, в контексті вилучення блискіток з поверхні ґрунтів. Доведено, що чим складніша геометрична форма блискіток, тим більша їх частина залишається на поверхні ґрунтів, міцно зчіпляючись з залишками рослинності в холодний період року, тоді як у теплий період року кризь отвори великих за розміром блискіток навіть проростають трав'янисті рослини, тим самим ще більше закріплюючи блискітки як елемент екосистеми.

Додатковий тип забруднювача, який має великий термін розкладання та важко вилучається з поверхні ґрунтів, створює додаткове навантаження на екосистеми ґрунтів урбанізованих територій, зменшуючи їх здатність надавати екосистемні послуги. *Ключові слова:* захист ґрунтів, урбанізовані території, блискітки, прибудинкові території, екосистемні послуги.

**Impact assessment of small parts made from combined composition on soil state in urbanized areas. Tykhomyrova T., Tytarenko A., Kosenkova I.**

The paper examines the impact of small objects made from combined composition on the soils of urbanized areas. These small objects are sequins from holiday crackers. For the first time, attention was drawn to this garbage type, the reasons for its appearance. Assumptions about the sequins impact on the soil ecosystems of urban areas were made. A study of their formation places, distribution and further concentration was carried out. Studies have shown that sequins majority are formed on the adjacent areas soil surface, children's playgrounds, less often – near entertainment and sports facilities. The rapid increase in this garbage type generation after 2022 may be related to the pyrotechnic fireworks total ban on the territory of Ukraine, which led to an increase in demand for various non-pyrotechnical crackers. The transfer sequins over certain distances in different year periods was analyzed, the factors that influence on this process were studied.

Historically, crackers contained confetti, which was made from double-sided paper or even old newspapers and magazines. Such confetti did not cause critical damage to the environment, because they were not resistant to atmospheric precipitation and decomposed within a period of up to 1 year. Modern non-pyrotechnical crackers are filled with metallized sequins of different sizes and shapes, which are made from foil or metallized polymer material. They do not decompose in nature for a long time.

The conducted studies have shown the hand cleaning inefficiency, which is the predominant method of cleaning adjacent areas, in the context to remove sequins from the soil surface. It has been proven that the more complex sequins' geometric shape, the greater their part remains on the soil surface, firmly clinging to the plants remains in the cold period of the year, while in the warm period of the year grassy plants even sprout through the holes of the large sequins, thereby further cementing sequins as an ecosystem element.

An additional pollutant type, which has a long decomposition period and is difficult to remove from the soil surface, creates an additional burden on the soil ecosystems of urban areas, reducing their ability to provide ecosystem services. *Key words:* soil protection, urbanized areas, sequins, adjacent areas, ecosystem services.

**Постановка проблеми.** Навантаження на екосистеми урбанізованих територій постійно зростає внаслідок діяльності людей. Ґрунти у мегаполісах найчастіше мають високий або навіть незворотній

ступінь деградації, вони виснажені та мають низьку родючість. На цей процес впливають багато факторів, одним з яких є накопичення – тимчасове або постійне – різного типу побутового та промислового сміття на поверхні ґрунтів. Серед усіх типів побутового сміття, що опиняється на поверхні ґрунтів, найскладнішим для видалення є дрібне, тонке сміття різного складу та походження.

<sup>1</sup> Збір даних щодо кількості дрібного сміття та фіксація його місцеположення у різних регіонах України виконувались, в тому числі, студентами кафедри хімічна техніка та промислова екологія НТУ «ХПІ» в якості складової наукової роботи студентів.

**Актуальність дослідження.** Привернення уваги населення до проблеми потрапляння дрібного побутового сміття у ґрунти в урбоекосистемах потенційно сприятиме підвищенню екологічної культури та покращенню поводженню з відходами. Науковий аналіз причин та наслідків знаходження на поверхні ґрунтів певних типів сміття спонукатиме населення до свідомого поводженню з певними категоріями сміття, в тому числі через недопущення їх потрапляння в екосистеми. У даній роботі вперше привернена увага до такого типу сміття, як блискітки з хлопавок, які залишаються на поверхні ґрунтів після свят та впливають на стан ґрунтів.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема дослідження відповідає політиці України щодо впровадження концепції сталого розвитку, зокрема зафіксованим цілям та задачам у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [1, с.88], Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р № 820-р) [2, с. 3], а також бюджетній тематиці кафедри хімічна техніка та промислова екологія НТУ «ХПІ» «Розробка наукових основ управління та утилізації твердих відходів» (номер держреєстрації 0124U001841).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Переважна більшість публікацій за останні роки стосується вивчення морфологічного складу побутового сміття та формування системи сталого поводження з різними типами відходів, а також впливу сміттєзвалищ на стан екосистем, в тому числі і урбанізованих територій. Так, у [3, с. 286] проаналізовано морфологічний склад твердих побутових відходів однієї родини з тиждень, та встановлено, що окрім харчових відходів у складі сміття переважає дрантя та полімерні матеріали – залишки пакування. Автори [4, с. 158; 5, с. 129] детально досліджують регіональні особливості поводження з твердими побутовими відходами та різницю у кількісному та якісному складі. У [6, с. 29] описані різні способи організації збору та вивезення твердого побутового сміття з зазначенням переваг та недоліків кожного способу. Вплив на навколишнє середовище полігонів твердих побутових відходів досліджують автори [7, с. 89], які визначили склад фільтрату полігону твердих побутових відходів та його вплив на екосистеми прилеглих територій.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Малодослідженим є вплив невеликих за розміром частинок побутового сміття, яке можна чітко класифікувати за типом та походженням, на екосистеми ґрунтів урбанізованих територій. Не вирішеною є проблема їх повного вилучення з екосистем та попередження появи.

**Новизна.** Вперше досліджено збільшення кількості одного з типів дрібного сміття, а саме блискі-

ток від хлопавок, на прибудинкових територіях, проаналізовано причини його утворення та вплив на екосистеми ґрунтів. Також запропоновано комплекс заходів щодо зменшення кількості даного типу сміття в урбоекосистемах.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** У даній роботі використовували методом візуального спостереження та підрахунку кількості блискіток на поверхні ґрунтів у різних регіонах України; розмір блискіток визначали за допомогою штангенциркулю; вологість – гравіметричним методом за методикою, описаною у [8, с. 7]; температуру поверхні ґрунту – за допомогою термометрів за методикою, наведеною у [9, с. 33]

**Викладення основного матеріалу.** На першому етапі досліджень було проаналізовано склад дрібного сміття (площа якого не перевищує 50 см<sup>2</sup>) на прибудинкових територіях газонного типу, тобто не вкритих асфальтом, бруківкою чи іншими видами штучного покриття. Підрахунок кількості сміття, наведене у табл. 1 проводився впродовж лютого кожного року, далі дані усереднювали, у 2022 році дослідження не були завершені, тому дані за 2022 рік у таблиці відсутні. Проведений аналіз показав, що кількість недопалків, обгорток від цукерок, кришечок від пляшок залишається майже не змінною у 2021 та 2023-2024 роках, певні коливання для м. Львів та Вінниця у 2023-2024 рр. в бік збільшення можна пов'язати з вимушеною міграцією населення у ці місяці після 24.02.2022 (табл. 1). Збільшення кількості дрібних часток скла у м. Харків у 2023 та 2024 році пов'язано з систематичними обстрілами та руйнуванням вікон. Кількість блискіток стрімко зросла у 2023 р. порівняно з 2021р. та зберегла тенденцію до зростання у 2024 р. у всіх досліджуваних містах.

Блискітки з непіротехнічних хлопавок наразі виготовляються з матеріалу комбінованого складу, а саме металізованого полімеру. Термін розкладання всіх полімерних матеріалів перевищує 100 років, на відміну від паперу, з якого раніше виготовляли конфеті для хлопавок. Збільшення кількості блискіток на поверхні ґрунту автори напругу пов'язують з тотальною заборонаю на використання піротехнічних феєрверків та інших піротехнічних засобів після 24.02.2022. Заборона на хлопавки відсутня й вони залишаються чи не єдиним доступним заміщаючим феєрверки засобом для святкування зимових свят, а іноді й інших визначних подій – весілля, ювілею, випускного. Використання сучасних непіротехнічних хлопавок на відкритому просторі збільшує навантаження на екосистеми ґрунтів урбанізованих територій.

Полеві дослідження також показали збільшення кількості блискіток, які мають складну форму (табл. 2, рис. 1) у 2024 р порівняно з 2021. На думку авторів, це також свідчить про зростаючий попит на хлопавки та появи на ринку різних типів хлопавок для збільшення асортименту.

Таблиця 1

**Кількість дрібного сміття на прибудинкових територіях на ділянці 10x10 см у різних регіонах України по роках**

Населений пункт	Вид сміття, шт					
	недопалки	обгортки від цукерок	кришки		блискітки від хлопавок	скло
			від ПЕТ-пляшок	від скляних пляшок		
Львів						
2021	2	1	1	1	2	1
2023	3	3	1	2	8	1
2024	2	3	1	2	12	1
Вінниця						
2021	3	2	1	1	0	0
2023	4	1	1	1	6	0
2024	5	2	2	1	8	1
Харків						
2021	3	2	1	1	3	1
2023	4	3	1	2	7	4
2024	4	2	1	2	9	5

Таблиця 2

**Кількість блискіток складної форми на ділянці 10x10 см у різних регіонах України**

Населений пункт	Кількість блискіток різної форми, шт			
	кругла	зірочка	ялинка	сніжинка
Львів				
2021	2	0	0	0
2024	4	3	3	2
Вінниця				
2021	0	0	0	0
2024	3	2	3	0
Харків				
2021	2	1	0	0
2024	2	2	2	3



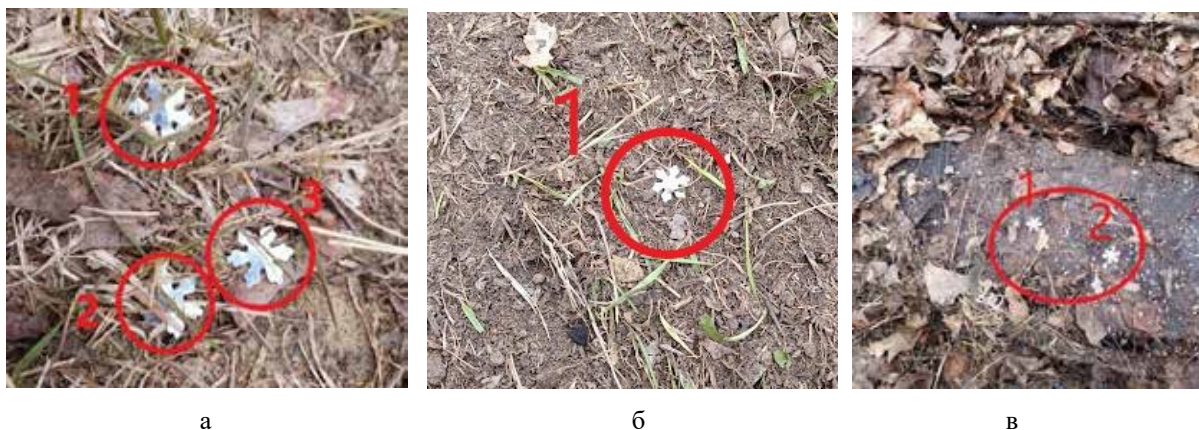
а – кругла форма, діаметр 2.2 см, Харків (2021); б – форма зірочки, Вінниця (2024);  
в – форма ялинка, Львів (2024), г – форма сніжинка, Харків (2024)

*Рис. 1. Зовнішній вигляд блискіток, ідентифікованих під час досліджень*

У 2024 р у всіх населених пунктах спостерігається збільшення кількості блискіток у формі ялинки та сніжинки. Така складна розгалужена форма призводить до більш міцного зчеплення блискіток з поверхнею ґрунту за рахунок механіч-

ного зачеплення з залишками трав'янистих рослин або свіжими

паростками. Це в свою чергу призводить до ускладнень у вилученні блискіток під час прибирання. Прибудинкові території, а також території



а – ділянка до прибирання, б – ділянка після прибирання, в – блискітки у купі зеленого сміття

Рис. 2. Неefективність вилучення блискіток складної форми з поверхні ґрунту при ручному способі прибирання території

Таблиця 3

### Зміна температури та вологості ґрунтів, забруднених блискітками

Параметр	Характеристика ділянки, на якій приводились вимірювання		
	без блискіток	під одиначною блискіткою круглої форми	щільно вкрита блискітками ділянка
Температура, °С	17,2	15,7	15,2
Вологість, %	28	31	34

дитячих майданчиків та стадіонів найчастіше прибираються вручну, за допомогою мітел та грабелів. Так, було встановлено, що під час прибирання території поблизу стадіону у м. Харків за допомогою грабелів в'ялових та мітли на ґрунтовому майданчику з залишками минулорічної трави та листя, одна з трьох блискіток залишилась на поверхні ґрунту (рис. 2а та 2б), а дві інших разом з листям були зібрані до купи зеленого сміття (рис. 2в). У подальшому невилучені в даному випадку з купи зеленого сміття блискітки потрапляють до місця компостування зелених відходів та стають небажаним елементом компосту, потенційно зменшуючи його ефективність.

Залишаючись тривалий час на поверхні ґрунту, блискітки призводять до локальних змін вологості та температури під ними (табл. 3, вимірювання проводились у травні 2023 року у м. Львів, за температури повітря +25°С). Матеріал, з якого виготовлені блискітки перешкоджає випаровуванню вологи та проходженню світла до поверхні ґрунту під ними. При незначній кількості блискіток на 1 м<sup>2</sup> це не буде мати критичного впливу на рослинність, але при щільному забрудненні значних ділянок (20-50 блискіток на 1 м<sup>2</sup>) це призведе до відсутності рослинного покриву на ґрунті.

Проведені дослідження також показали, що після моменту потрапляння блискіток на поверхню ґрунту під час новорічних та різдвяних свят, навесні вони

розносяться талими водами в радіусі до 3х метрів від місця першого відносно компактного розташування. Цей фактор збільшує площу ґрунтів урбанізованих територій, яка забруднюється небажаним типом сміття.

**Головні висновки.** Використання непіротехнічних хлопавок, які начинені блискітками з полімерного металізованого матеріалу призводить до забруднення прибудинкових ґрунтових ділянок малогабаритним сміттям з великим терміном розкладання. Досліджений тип сміття важко видаляється з поверхні ґрунту при прибиранні та залишається у вигляді небажаного елемента, зменшуючи здатність ґрунтів урбанізованих територій надавати екосистемі послуги. Було виявлено зменшення температури поверхні ґрунту, вкритого блискітками та збільшення його вологості, що може негативно впливати на мікроорганізми верхнього шару ґрунту. Також матеріал блискіток є світлонепроникними, що зумовлює відсутність рослинності під ними.

Низька екологічна культур та необізнаність населення про негативні наслідки використання непіротехнічних хлопавок, а також заборона на використання піротехнічних феєрверків, призводить до стрімкого засмічення ґрунтів урбанізованих територій новим типом малогабаритного полімерного сміття. Привернення уваги до цієї проблеми є важливим елементом сталого розвитку суспільства.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані дані можуть бути використані у просвітницькій діяльності, а також взяти до уваги при розробці регіональних планів управління відходами.

Перспективним є дослідження процесів трансформації блискіток у ґрунті, їх внеску у хімічне забруднення ґрунтів, наслідків вимотування цього типу дрібного сміття в екосистемі.

#### Література

1. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> (дата звернення: 18.04.2024)
2. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. *Офіційний вісник України*. 2017. № 94. Ст. 2859. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
3. Недавня В.О., Любимова Н.О. Сміття-глобальна проблема людства *Молодь і технічний прогрес в АПВ*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції Харків: ХНТУСГ, 2021. С. 285-287 [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/39795/1/Molod\\_i\\_tekhn\\_prohres\\_v\\_APV\\_T2\\_2021\\_285-287.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/39795/1/Molod_i_tekhn_prohres_v_APV_T2_2021_285-287.pdf)
4. Янковська Л., Новицька С. Проблеми та перспективи поводження з твердими побутовими відходами в Тернопільській області. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. 2020. № 1 (48). С. 156-162.
5. Куліш І. О. Боротьба зі сміттям у Харківській області. *Науковий журнал «Інженерія природокористування»*. 2021. № 4(22). С. 128-133.
6. Сталінська І. В. Поводження з побутовими відходами: конспект лекцій. Харків, 2019. 84 с.
7. Самойлік, М. С., Молчанова, А. В. (2018). Екологічні аспекти впливу полігонів твердих побутових відходів на навколишнє середовище. *Фільтрат. Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 1-2. С. 88-91.
8. ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Ґрунти: Методи лабораторного визначення фізичних властивостей [Чинний від 10-01-2010], Київ, 2009. 32с. (Національний стандарт України)
9. Вінічук М.М. Метеорологія та кліматологія : практикум. Житомир: ЖДТУ, 2019. 99 с.

## ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ В КОМБІНОВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ІОНІСТОРАМИ ТА ЛІТІЙ-ІОННИМИ АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ

Білецький О.О., Залуський Д.М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ

biletsky27@gmail.com

В цій статті проведено дослідження електротехнічних процесів при коливальному заряді нелінійного конденсатора – іоністора (суперконденсатора) від реального літій-іонного акумулятора (неідеального джерела постійної електрорушійної сили) при комбінованому поєднанні їх в єдине джерело живлення. Показано, що якщо забезпечити велику добротність контуру заряду – можна заряджати іоністори, за умови коливального заряду від реального джерела постійної електрорушійної сили, до напруг, які будуть перевищувати напругу джерела. В даній роботі доведено, що за умови роботи при початкових напругах з від’ємними значеннями можна досягти максимальну напругу на клеммах іоністорів, яка буде до 2 разів більшою, ніж напруга на джерелі постійної напруги. Даний підхід дозволяє в деяких випадках обходитись без підвищувального трансформатора напруги. Перевірено, що при збільшенні значення добротності контуру коливального заряду буде забезпечено максимум напруги на клеммах іоністора (суперконденсатора). Досліджено два різні значення добротності контуру заряду і отримано ряд експериментальних даних. При дослідженні враховувалась залежність величини добротності коливального контуру зарядки іоністора від привладоної напруги до затискачів іоністора. Приведено шляхи збільшення величини напруги при коливальному заряді батарей іоністорів від ЛІАБ (реального джерела постійної напруги) при варіації величини добротності контуру заряду та різних умовах по початковій напрузі на клеммах іоністорів. Комбіноване поєднання батарей суперконденсаторів (СК) та літій-іонних акумуляторних батарей (ЛІАБ) дозволяє продовжити термін служби акумуляторів за рахунок забезпечення імпульсних режимів батарей СК. При цьому можливо забезпечити достатньо високий коефіцієнт передачі при коливальному чи аперіодичному заряді батарей іоністорів від батарей акумуляторів. Виконано дослідження кількості енергії, що поступає в іоністор; кількості енергії, що відбирається від ЛІАБ; кількості енергії, що втрачається в контурі заряду іоністора (СК) та коефіцієнта, що відображає передачу енергії від ЛІАБ при зарядці від реального джерела ЕРС. *Ключові слова:* енергетичні процеси, іоністор, нелінійний конденсатор, суперконденсатор, джерело постійної електрорушійної сили, комбіноване джерело електроживлення.

### Energy processes in combined power supplies with ionistors and lithium-ion accumulatory batteries. Biletskyi O., Zaluskyi D.

In this article, a study of electrotechnical processes during the oscillating charge of a nonlinear capacitor – an ionistor (supercapacitor) from a real lithium-ion battery (a non-ideal source of constant electromotive force) is carried out when they are combined into a single power source. It is shown that if a high Q-factor of the charge circuit is ensured, ionistors can be charged, under the condition of an oscillating charge from a real source of constant electromotive force, to voltages that will exceed the source voltage. In this work, it is proved that, under the conditions of operation at initial voltages with negative values, it is possible to reach the maximum voltage at the terminals of the ionistors, which will be up to 2 times higher than the voltage at the constant voltage source. This approach allows in some cases to do without a voltage step-up transformer. It has been verified that with an increase in the Q-factor of the circuit of the oscillating charge, the maximum voltage at the terminals of the ionistor (supercapacitor) will be ensured. Two different values of the Q-factor of the charge circuit were studied and a number of experimental data were obtained. The research took into account the dependence of the Q-factor of the oscillating circuit of the ionistor charging on the applied voltage to the ionistor clamps. Ways of increasing the voltage value during the oscillating charge of the battery of ionistors from LIAB (a real source of constant voltage) with variation in the value of the Q-factor of the charge circuit and under different conditions according to the initial voltage at the terminals of the ionistors are given. The combined combination of supercapacitor batteries (SC) and lithium-ion rechargeable batteries (LIAB) allows you to extend the life of batteries by providing pulse modes with SC batteries. At the same time, it is possible to ensure a sufficiently high transmission ratio during fluctuating or aperiodic charging of ionistor batteries from storage batteries. A study of the amount of energy entering the ionistor was carried out; the amount of energy taken from LIAB; of the amount of energy lost in the ionistor charge circuit (IC) and the coefficient reflecting the energy transfer from the LIAB when charging from a real EMF source. *Key words:* energy processes, ionistor, nonlinear capacitor, supercapacitor, source of constant electromotive force, combined source of power supply.

**Постановка проблеми.** В інноваційних енергетичних системах все частіше використовуються джерела електроживлення з паралельним поєднанням батарей іоністорів (суперконденсаторів) та літій-іонних акумуляторних батарей.

При такому поєднанні високої питомої енергії акумуляторних батарей з високою питомою потужністю батарей іоністорів можна забезпечити в навантаженні високу потужність для різного типу електродвигунів в електротранспорті та забезпечити

енергію на тривалий час за рахунок літій-іонних акумуляторних батарей [1–5]. В ряді наукових робіт на основі досліджень зазначено [2, 6], що комбіноване поєднання батарей суперконденсаторів (СК) та літій-іонних акумуляторних батарей (ЛІАБ) дозволяє продовжити термін служби акумуляторів за рахунок забезпечення імпульсних режимів батареями СК. При цьому можливо забезпечити достатньо високий коефіцієнт передачі при коливальному чи аперіодичному заряді батарей іоністрів від батарей акумуляторів.

**Актуальність дослідження.** В деяких дослідженнях зі звичайними конденсаторами [4, 7, 8] доведено ефективність використання ненульових початкових на клеммах конденсаторів при заряді від реальних джерел постійної електрорушійної сили, що суттєво підвищувало енергетичні показники.

Мета полягала у пошуку шляхів збільшення величини напруги при коливальному заряді батареї іоністрів від ЛІАБ (реального джерела постійної напруги) при варіації величини добротності контуру заряду та різних умовах по початковій напрузі на клеммах іоністрів.

**Виклад основного матеріалу.** При зарядці іоністора від ЛІАБ в коливальному режимі процес зарядки переривається завдяки напівпровідниковому елементу при зміні полярності струму в зарядному колі (рис. 1). У відповідності до еквівалентної схеми зарядного кола комбінованого джерела електроживлення (рис. 1) іоністор отримує заряд від ЛІАБ через

транзисторний напівпровідниковий ключ, індуктивність контуру  $L$  та опір контуру заряду. В ролі напівпровідникового ключа використовується біполярний транзистор з ізольованим затвором (IGBT транзистор).

Завдяки високій добротності зарядного кола можна зарядити батарею іоністрів до напруг, які вищі за напругу джерела електрорушійної сили в 2 рази.

В еквівалентній схемі зарядного контуру іоністора (рис. 1) застосовано ЛІАБ з номінальною напругою 2,3 (В) та активним опором 0,012 (Ом). Батарея іоністрів замінена еквівалентною схемою з декількома вітками з різними сталими часу. До активного опору кола додано опір провідників  $R_{\text{пр}} = 0,01$  (Ом).

Перша вітка представлена активним опором  $R_1 = 0,0025$  (Ом) та ємністю, яка враховує залежність від напруги на клеммах іоністора  $C_v(U_1) = kU$ , де  $k = 190$  (Ф/В) та постійної частини ємності  $C_1 = 270$  (Ф). Значення опору та сталої ємності другої вітки складають  $R_2 = 0,9$  (Ом) і  $C_2 = 100$  (Ф). Опір та ємність вітки номер три становлять відповідно  $R_3 = 5,2$  (Ом) і  $C_3 = 220$  (Ф). В еквівалентній схемі для відображення процесу саморозряду іоністора застосовано опір  $R_4 = 9000$  (Ом) [2, 9, 10]. Завдяки напівпровідниковому комутатору реалізовано фіксацію максимуму напруги на клеммах іоністора, коли  $dU_{\text{СК}}(t)/dt = 0$ . Для аналізу електротехнічних та енергетичних характеристик в колах заряду батареї іоністрів від ЛІАБ треба дослідити енергетичні процеси при зарядці батареї іоністо-

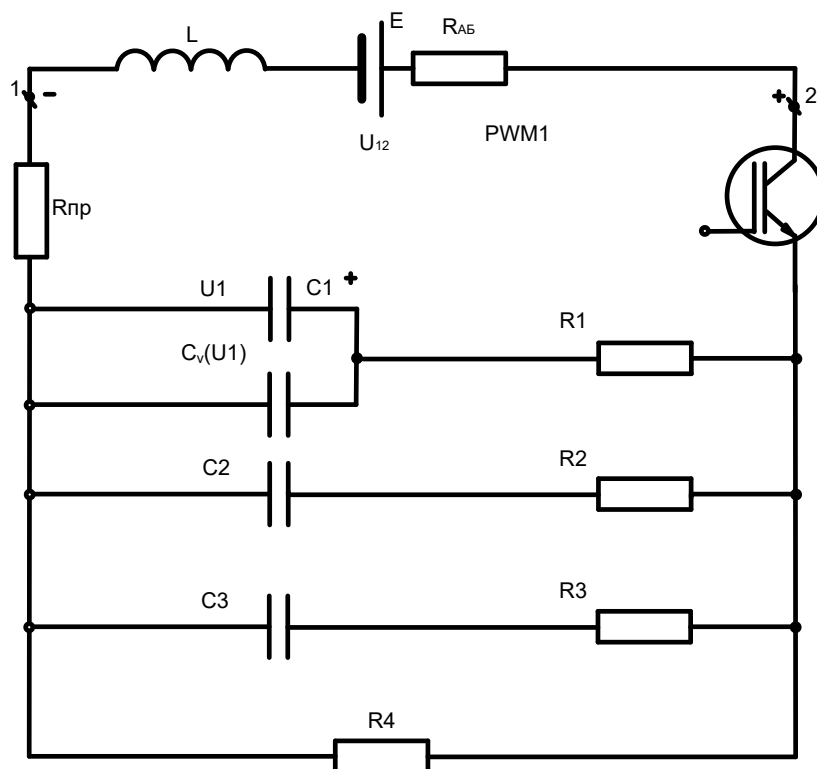


Рис. 1. Схема еквівалентного кола заряду іоністора

рів (СК) від ЛАБ (реального джерела постійної ЕРС) при варіації початкових умов за напругою на затискачах батареї іоністорів (СК) при зміні напруги в межах  $U_{AB} < U_{OCK} < +U_{AB}$ . В межах даного дослідження умови по струму в контурі заряду були нульовими.

Виконано дослідження кількості енергії, що поступає в іоністор; кількості енергії, що відбирається від ЛАБ; кількості енергії, що втрачається в контурі заряду іоністора (СК) та коефіцієнта, що відображає передачу енергії від ЛАБ при зарядці від реального джерела ЕРС. Проаналізовано діапазон напруг від  $-U_H, -0,9 \cdot U_H, \dots, +U_H$ . У відповідності до передових наукових досліджень [2, 4, 10] сумарна ємність іоністора представлена як сума сталої ємності  $C_1 = \text{const}$  та ємності  $C_v(U) = k \cdot |U|$ , що апроксимована лінійною залежністю від напруги на затискачах іоністора.

$$C(U) = C_1 + k \cdot |U| \tag{1}$$

Умовою при якій можливий заряд в коливальному режимі іоністора від ЛАБ є відповідність параметрів електричного кола при яких виконується вираз для добротності контуру:

$$Q = \frac{1}{R_\Sigma} \cdot \sqrt{\frac{L}{C(U)}} > 0,5 \tag{2}$$

Враховуючи формули (1) – (2), для коливального контуру заряду добротність є залежною від величини напруги на затискачах іоністора при зарядці від ЛАБ.

Проаналізуємо як змінюється величина добротності  $Q(U)$  при варіації напруги на затискачах іоністора в діапазоні  $-U_{AB} < U_{OCK} < +U_{AB}$ . При аналізі цієї закономірності прийнято два варіанти параметрів індуктивності  $L_1=1,697$  (Гн) та  $L_2=42,438$  (Гн). Також враховувався сумарне значення опору контуру заряду  $0,0245$  (Ом). При даних параметрах електричного коливального контуру добротності будуть рівні  $Q_1(U_-) = 2$  та  $Q_2(U_-) = 10$ .

Проведемо аналіз варіації добротностей контуру заряду  $Q_1(U)$  та  $Q_2(U)$  відповідно до виразу (2). При цих значеннях параметрів контуру заряду та за умови номінальної напруги на затискачах іоністора  $|U_-|$  значення добротностей складають  $Q_1(|U_-|) = 2$

та  $Q_2(|U_-|) = 10$ . Екстремум – максимум добротності  $Q_1 = 3,236$  досягається за умови нульових початкових умов по напрузі на затискачах іоністора, при аналогічній умові величина другої добротності  $Q_2 = 16,18$ . Дане дослідження показало, що при значенні напруги  $U = 1$  (В) добротність складає  $Q_1 = 2,479$ , а при підвищенні напруги на клеммах іоністора до величини  $U = 3,9$  (В) добротність складатиме  $Q_1 = 1,672$ . При значенні індуктивності  $L_2=42,43$  (Гн) величина добротності контуру становить  $Q_2 = 8,362$  при напрузі на затискачах СК при  $U = 3,9$  (В), а при зниженні напруги до  $U = 1$  (В) величина добротності  $Q_2$  збільшиться в 1,5 раза.

Перевірено, що добротності  $Q_1(U)$  та  $Q_2(U)$  будуть збільшені на 92 %, якщо зміниться напруга на клеммах іоністорів з -3,9 до 0 (В). При аналізі та дослідженні комбінованих джерел електроживлення з іоністорами та ЛАБ необхідно враховувати те, що значення добротності контуру залежить від величини напруги на затискачах СК.

Досліджено закономірність як змінюється максимальна напруги при коливальному режимі зарядки іоністора, яка приведена до значення  $U_{AB}$  ( $U'_{CKmax} = U_{CKmax} / U_{AB}$ ) від значення напруги на затискачах іоністора при початку зарядки, яка приведена до значення  $U_{AB}$  ( $U_{OCK} / U_{AB}$ ). Режими досліджені при добротностях коливального контуру  $Q_1(U_H) = 2$  та  $Q_2(U_H) = 10$  відповідно (таблиця 1).

При аналізі залежностей напруги зарядки іоністорів, яка приведена до значення напруги на затискачах ЛАБ  $U'_{CKmax} (U_{OCK} / U_{AB})$  (таблиця 1) показано, що при роботі з початковими значеннями напруг в межах  $U_{OCK} = U_{AB}$  до  $U_{OCK} = -U_{AB}$  по мірі наближення до  $U_{OCK} = -U_{AB}$  максимальне значення напруги зарядки іоністора  $U'_{CKmax}$  варіюється нелінійно в межах від  $U_{AB}$  до воєичин, що перевищують майже в два рази величину номінальної напруги ЛАБ при високих значеннях добротності коливального зарядного контуру.

Підтверджено, що при значенні добротності кола зарядки іоністора від ЛАБ  $Q_1(U_H) = 2$  і при значенні напруги на затискачах  $U_{OCK} / U_{AB} = 0,8$  екстремум по напрузі на затискачах іоністора буде рівним  $U'_{CKmax} = 1,07$ . Якщо і надалі зменшувати початкове значення напруги до 0 – то отримаємо максимальне

Таблиця 1

**Залежність максимальної напруги заряду СК, приведеної до величини  $U_{AB}$  від початкової напруги СК, приведеної до величини  $U_{AB}$ , для двох значень добротності  $Q_1(U_H) = 2$  та  $Q_2(U_H) = 10$**

		$U_{OCK} / U_{AB}$										
Q=2		-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	,2	0,4	0,6	0,8	1
$U_{CKmax}$		1,32	1,32	1,31	1,29	1,26	1,24	1,21	1,75	1,12	1,07	1
Q=10		-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$U_{CKmax}$		1,69	1,68	1,66	1,61	1,56	1,51	1,46	1,37	1,28	1,15	1



значення  $U'_{СК\max} = 1,24$ . З метою підвищення максимуму по напрузі на затискачах іоністорів необхідно використовувати від'ємні початкові умови по напрузі на затискачах іоністорів, відповідно при  $U_{ОСК}/U_{АБ} = -0,8$  напруга буде складати  $U'_{СК\max} = 1,32$ .

Встановлена закономірність, що при збільшенні добротності кола при коливальному заряді іоністора максимальне значення напруги на затискачах іоністора  $U'_{СК\max}$  буде зростати більше. Наприклад при добротності контуру 10 та при нульовому значенні напруги – максимальне значення напруги іоністора  $U'_{СК\max} = 1,52$ , а якщо взяти умови при  $U_{ОСК}/U_{АБ} = 0,8$  – то значення екстремуму напруги складатиме  $U'_{СК\max} = 1,15$ .

Відповідно якщо і надалі зменшувати початкові умови по напрузі на затискачах іоністора до  $-0,8$  – можна отримати підвищення значення напруги на затискачах до  $U'_{СК\max} = 1,68$ .

В деяких випадках при підвищенні величини добротності кола зарядки іоністора від ЛІАБ можна забезпечити більш величини максимуму по напрузі на клеммах іоністорів  $U'_{СК\max}$ . В даному випадку перевірено, що при величині добротності контуру  $Q_1(U_H) = 2$  – максимальне значення напруги  $U'_{СК\max} = 1,32$ , але при підвищенні величини добротності до  $Q_2(U_H) = 10$  – можна досягти значення  $U'_{СК\max} = 1,69$  при умові, що початкова напруга на клеммах іоністора  $U_{ОСК} = -U_{АБ}$  [2, 6].

### Головні висновки.

1. При зарядці іоністора в коливальному режимі від літій-іонної батареї, за умови високої добротності кола зарядки  $Q$ , зарядка іоністорів відбувається до напруг, що значно перевищують напругу на акумуляторній батареї.

2. При великих добротностях кола зарядки іоністорів  $Q(U_H) > 10$  підтверджено, що при подальшому зменшенні напруг в межах від  $U_{ОСК} = U_{АБ}$  до значень  $U_{ОСК} = -U_{АБ}$ , значення екстремуму напруги зарядки іоністора  $U'_{СК\max}$  варіюється нелінійно в діапазоні від значень  $U_{АБ}$  до значень, які значно більші (до 2 раз) від значення напруг на літій-іонній акумуляторній батареї (реальному джерелі постійної ЕРС).

3. Перевірено, що при збільшенні значення добротності контуру коливального заряду буде забезпечено максимум напруги на клеммах іоністора (СК)  $U'_{СК\max}$ . Відповідно при величині добротності контуру  $Q_1(U_H) = 2$  – максимум напруги  $U'_{СК\max} = 1,32$ , а при підвищенні добротності до  $Q_2(U_H) = 10$  – екстремум по напрузі дорівнює  $U'_{СК\max} = 1,69$  за умови, що початкова напруга на клеммах іоністора (СК)  $U_{ОСК} = -U_{АБ}$ .

4. Подібний підхід реалізовує можливість підвищувати максимальну напругу на клеммах іоністорів (СК)  $U'_{СК\max}$ . За допомогою даної методики реалізовано підхід інколи обходитись без трансформатора напруги.

### Література

1. A. Burke Present and future supercapacitors: technology and applications. *Presented at the supercapacitor USA*. Santa Clara, California. 2014.
2. Білецький О. О. Енергетичні процеси в колах заряду суперконденсаторів зі змінними початковими напругами: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.05. Київ, 2016. 195 с.
3. Білецький О. О., Супруновська Н. І., Щерба А. А. Залежність енергетичних характеристик кіл заряду суперконденсаторів від їх початкових і кінцевих напруг. *Технічна електродинаміка*. 2016. No. 1. с. 3–10.
4. A. Burke Ultracapacitors alone and in combination with batteries in hybrid- electric vehicles: system considerations and performance. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer Publishing, 2011.
5. A. Burke, M. Miller, H. Zhao. Lithium batteries and ultracapacitors alone and in combination in hybrid vehicles: fuel economy and battery stress reduction advantages. *JSR*. 2010. 21.23: 15.
6. O.O. Biletskyi, V.I. Kotovskyi, N. Višniakov, A. Šešok Investigation of the Energy Characteristics of a Circuit under the Charge of a Supercapacitor and an Equivalent Linear Capacitor. *Applied Sciences* 12 (18), 9182.
7. O.O. Biletskyi, V.I. Kotovskyi Investigation of energy processes in circuits of oscillatory charge of supercapacitors Вісник НТУУ" КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування. 2019. С. 5–14.
8. Білецький О. О., Котовський В.Й. Енергетичні процеси в колах із суперконденсаторами та неідеальними джерелами постійної напруги в комбінованих системах живлення електромобілів Науково-практичний журнал "Екологічні науки". 2018, с. 63–66.
9. L. Zubieta, R. Bonert. Characterization of double-layer capacitors for power electronics applications. *IEEE Trans. on Ind. Appl.* 2000. Vol. 36. № 1. P. 199–205.
10. Білецький О. О., Щерба А. А., Супруновська Н. І. Енергетичні характеристики кіл аперіодичного заряду суперконденсаторів від акумуляторних батарей. *Вісник Нац. ун-ту "ХПИ": зб. наук. пр. Темат. вип. : Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика*. 2015. No. 12 (1121). с. 379–383.

УДК 504.064.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.17>

## ЩОДО ПИТАННЯ ПРО МЕТОДОЛОГІЮ МІНІМІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ У ДЖЕРЕЛІ ЇХ ВИНИКНЕННЯ – ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ

**Волошин В.С.**

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»  
вул. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро  
[vsvlshn52@gmail.com](mailto:vsvlshn52@gmail.com)

На основі попередніх робіт автора систематизовано основні причини виникнення відходів у технологічних процесах: це структура сировини, що використовується у виробничій системі, її компонентність, а також якість джерел енергії, що беруть участь у технологічному процесі. Всі вони розглядаються як основа принципу термодинамічної двоєдності, який характерний для будь-якого технологічного процесу і стосується того, що по відношенню до певної частини компонентів сировини один і той же технологічний процес проявляє себе як сильно нерівноважна термодинамічна система і функціонує за законами нелінійної термодинаміки, і, в той же час, по відношенню до іншої частини сировини проявляє себе як слабо нерівноважна, або перебуваючи в стані термодинамічної рівноваги, і підкоряється законам лінійної термодинаміки. Така двоєдність порівнянна з тим, що продукція в технологічному процесі вважається результатом упорядкованої послідовності впливу на одну частину сировини із заданим станом і мінімумом енергетичних витрат. А відходи виробництва можуть бути кваліфіковані як результат невпорядкованого впливу тих самих явищ, тієї ж енергії і тієї ж технічної системи на другу частину сировини в умовах, не передбачених цією технологією. У статті представлено нові підходи до впорядкування сировинної бази та визначення активних джерел енергії, здатних забезпечити умови термодинамічної двоєдності як основи для мінімізації відходів у самому технологічному процесі. Наведено методи компонентного структурування сировини, а також шляхи підвищення ефективності енергетичної присутності в системі з метою впливу на різноманітні компоненти вихідної сировини, а саме: зміна характеру джерела енергії, вже існуючого в технологічному процесі, використання принципово інших джерел енергії порівняно з тим, що вже існують в технології. а також синхронізація існуючих компонентів сировини і запропонованих джерел енергії за умовами досягнення термодинамічної нерівноваженості. Як приклад розглянуто умови створення теоретично обґрунтованого фізико-хімічного реактора, що дозволяє реалізувати таку методику в доменному виробництві. *Ключові слова:* відходи, сировина, структура сировини, компонентність сировини, енергія, джерела енергії, продукція, принцип термодинамічної двоєдності, полімодальні технології.

### **On the question of the methodology of waste minimization at the source of occurrence. Voloshyn V.**

Based on the previous works of the author, the main causes of waste in technological processes are systematized: this is the structure of raw materials used in the production system, its component, as well as the quality of energy sources involved in the technological process. All of them are considered as the basis of the principle of thermodynamic duality, which is characteristic of any technological process and consists in the fact that one and the same technological process in relation to the In the case of a certain part of the components of the raw material, it manifests itself as a strongly non-equilibrium thermodynamic system and functions according to the laws of nonlinear thermodynamics, and, at the same time, in relation to another part of the raw material, it manifests itself as weakly non-equilibrium, or being in a state of thermodynamic equilibrium, and obeys the laws of linear thermodynamics. Such a duality is comparable to the fact that products in a technological process are the result of an orderly sequence of actions on raw materials with a predetermined state and a minimum of costs, including energy costs. And production waste can be qualified as the result of disordered effects of the same phenomena, the same energy and the same technical system on the second part of raw materials under conditions not provided for by this technology. The paper outlines new approaches to streamlining the raw material base and identifying active energy sources that can provide conditions for thermodynamic duality as a basis for minimizing waste in the technological process itself. Methods of component structuring of raw materials are presented, which allow to achieve conditions for minimizing waste at the source of origin, as well as ways to increase the efficiency of energy presence in the system in order to affect the most different components of the feedstock, namely, a change in the nature of the energy source already existing in the technological process and the use of fundamentally different energy sources compared to the one already existing in the technology, as well as the synchronization of the existing component of the raw materials and the proposed energy sources. As an example, the conditions for creating a theoretically grounded physicochemical reactor that allows implementing such a methodology in blast furnace production are considered. *Key words:* waste, raw materials, structure of raw materials, component content of raw materials, energy, energy sources, products, the principle of thermodynamic duality, polymodal technologies.

**Постановка проблеми.** Контроль промислових відходів на нинішньому рівні не можна вважати задовільним. Хоча б тому, що, як результат такої діяльності, обсяг раніше перероблених відходів навіть у розвинених країнах ледве покриває обсяг знову отриманих відходів від галузей, що забруднюють навколишнє середовище. З 24,6 млн т доменного

шлаку, виробленого в Європі в 2020 році, 19,4 млн т гранулюються, вже після їх отримання, для подальшого використання. При цьому в багатьох країнах старі металургійні шлакові відвали стоять практично недоторканими [1]. З 11 млн т металургійного шлаку, що отримано в 2021 році в Україні, в шлакові відвали було спрямовано до 8 млн. тонн, а рівень загальної

переробки нових металургійних відходів не досягав 30% [2]. У країні накопичено всього близько 300 млн т такого шлаку, і щороку на відвали без переробки відправляється не менше 10 млн т нового шлаку. Причому ці зусилля коштують приблизно стільки ж грошей, як, власне, і вартість самої галузі, що забруднює навколишнє середовище. Звідси випливає, що сучасні методи переробки та мінімізації промислових відходів, які є високорозвиненими за кількістю та якістю, не здатні ефективно знизити техногенне навантаження ані на українців, ані на нашу планету, що вимірюється в цілому мільярдами тонн відходів.

Щороку, завдяки зусиллям науки та бізнесу, світ отримує декілька сотень нових технологічних процесів, які замінюють існуючі як більш ефективні, готові до виробництва більш дешевої та якісної комерційної продукції. Але якщо цю хвилю технологій оцінювати не тільки за показниками товарної продукції, а й за утворенням відходів, результат буде далеко не на користь нових технологій навіть у такій сфері, як нановиробництво. Їх наслідком стають нові відходи, часто ще більш небезпечні для людини, хоча і в менших кількостях.

**Актуальність дослідження.** Для того, щоб боротися з відходами, необхідно щось робити не тільки з існуючими, а й з новими технологічними процесами. Захищати нові технології від явищ, які пов'язані з появою відходів потрібно навіть не в законодавчій площині, а в інженерній. Існуючі технологічні процеси необхідно системно поєднувати з технологіями ефективної переробки промислових відходів в обсягах, що перевищують існуючі виробництва сукупної товарної продукції. Настав час сказати собі, що надзвичайна вимушеність зусиль щодо зниження загального техногенного навантаження на навколишнє середовище сьогодні настільки висока, що вимагає зовсім інших якісних зусиль і засобів для їх реалізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розроблена авторами методика мінімізації утворення відходів у джерелі їх виникнення [3, 4, 5], тобто в самому технологічному процесі, завжди знаходить підтримку серед фахівців з охорони навколишнього середовища, але є проблемною для послідовників серед практичних технологів і виробників. Однією з причин є складність з перебудовою вже налагоджених технологічних процесів, але ж і цього недостатньо. Відсутність чітких правил, яких слід дотримуватися при розробці нових технологій на самому початку їх створення, не сприяє тому, що такі технології з самого початку можуть бути мінімізовані за статтею – «відходи».

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Метою даної роботи є актуалізація методів і підходів, які слід враховувати при створенні нових та модернізації існуючих технологічних процесів. Ці підходи повинні мати навіть не юридичну,

а інженерну основу для свого існування в сучасних технологічних процесах.

**Новизна.** Представлено нові підходи до системного структурування сировини та узгодженого виділення активних джерел енергії, здатних забезпечити умови термодинамічної двоєдності як основи мінімізації відходів у самому технологічному процесі.

**Методологічна значимість** цих досліджень пов'язана з розумінням того, що продукція в технологічному процесі є результатом впорядкованої послідовності механічних, фізико-хімічних та ін. дій над сировиною з наперед заданим станом і мінімумом витрат, включаючи енергетичні витрати. Відходи виробництва, навпаки, можуть бути отримані в результаті невпорядкованого впливу тих же самих явищ та дій, тих же закономірностей, тієї ж енергії і тієї ж технічної системи на зовсім другу частину сировинних компонентів в умовах не передбачені цією технологією. Теза залишається вірною: виробництво йде тільки для продукції; виробництво не для відходів.

**Виклад основного матеріалу.** Для того щоб зрозуміти причини виникнення відходів в будь-якому технологічному процесі, необхідно, перш за все, звернути увагу на структуру сировинної бази цього процесу, на її неоднорідність і компонентність. Диференціація сировинної бази на окремі складові є першим кроком до розуміння механізмів утворення відходів.

Другим кроком є розуміння принципу термодинамічної двоєдності для будь-якого технологічного процесу, коли *один і той же технологічний процес по відношенню до певної частини компонентів сировини проявляє себе як сильно нерівноважна термодинамічна система і функціонує за законами нелінійної термодинаміки, і, в той же час, по відношенню до іншої частини сировини, він проявляє себе як слабо нерівноважний, або знаходиться в стані термодинамічної рівноваги, і підкоряється законам лінійної термодинаміки.* Для такої термодинамічної двоєдності виробництва товарної продукції та відходів маємо право відзначити наявність накладення цих двох незворотних процесів (рис. 1). Це твердження повністю відповідає третьому закону енергетичної ентропії, який показує, що ентропію відкритих систем можна зменшити, споживаючи енергію із зовнішніх джерел і перерозподіляючи її між системою і зовнішнім середовищем на користь першої.

І третім кроком в таких механізмах є необхідність узгодження якості енергії, яка бере участь в технологічному процесі, з різноманіттям компонентів ( $N$ ) сировини таким чином, щоб забезпечити для них умови максимальної термодинамічної нерівноваженості. За загальним правилом, різноманіття та якість джерел енергії, що беруть участь у перетворенні сировинних потоків у процесі, має бути спрямоване не лише на перетворення окремих компонентів сировини ( $n$ ) у корисні продукти. Структура цих

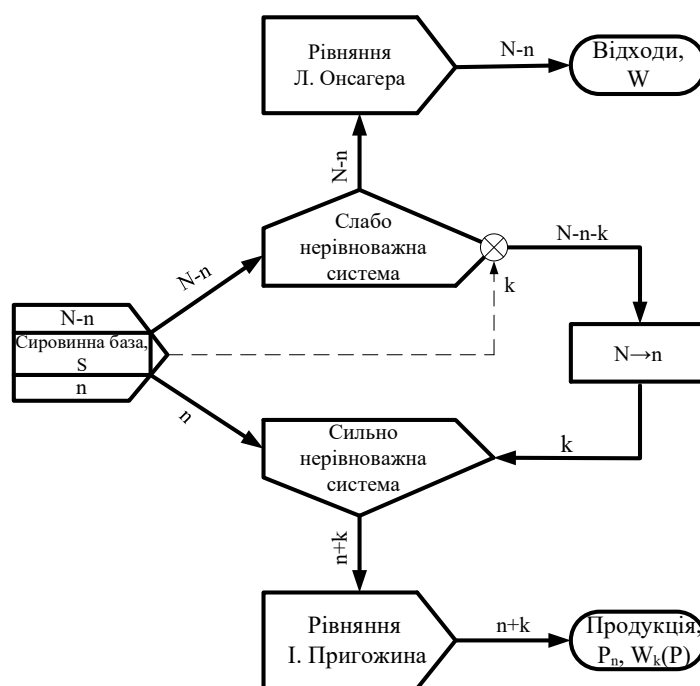


Рис. 1. Схема реалізації принципу термодинамічної двоєдності в технологічному процесі:  $N$  – загальна кількість компонентів у сировинній базі;  $n$  – кількість компонентів, що відповідають за отримання товарної продукції;  $k$  – число складових сировинної бази з відходоутворюючих компонентів, які здатні в технологічному процесі перетворюватися в товарну продукцію;  $(N-n-k)$  – кількість компонентів сировинної бази, що входять до складу чистих відходів

джерел повинна бути розрахована на перетворення всього спектру компонентів ( $N$ ) сировини в корисні продукти (рис. 2).

Для цього ми маємо наступне.

Методи компонентного структурування сировини, що дозволяють досягти умов для мінімізації відходів у джерелі виникнення – технологічному процесі, можуть включати:

- дроблення, сепарація, подрібнення, в результаті яких змінюється активна поверхня сировини, підвищується її хімічна, адгезійна, сорбційна активність і т. д.;

- поділ за хімічною ознакою, структурування за назвами хімічних сполук і елементів, що вступають в реакцію різноманітними способами, зокрема, за їх хімічної активності;

- поділ матеріалу за фазовими властивостями, особливо на межах фазових переходів, наприклад, для рідкого, твердого або газоподібного станів, за хімічною та іншими видами активності;

- поділ за фізичними властивостями: щільністю, електричними або магнітними властивостями, реологічними властивостями матеріалу та ін.;

- поділ при переході на мікрорівень за індивідуальними властивостями сировини;

- поділ окремих компонентів сировини за їх динамічними характеристиками з подальшим енергетичним впливом у часі.

Шляхи підвищення ефективності енергетичної присутності в системі з метою впливу на найрізноманітніші компоненти вихідної сировини включають в себе кілька напрямків, а саме:

1. Зміна характеру джерела енергії, що вже існує в технологічному процесі, зокрема:

- зміна щільності енергії у її певному вигляді;
- збільшення або зменшення потужності енергії, що подається в технологічний процес;

- зміна знаку прикладання відомого виду енергії на протилежний, за можливості;

- прикладання енергії не постійного, а знако-змінного стану в часі;

- використання строго періодично змінної в часі енергії відомого типу;

- збільшення частоти змінного виду енергії, зміна її амплітуди або зсув фази змінної енергії;

- перехід від змінного енергетичного поля до імпульсного, більш жорсткого по потужності і частоті;

- модуляція форми енергетичного впливу в часі або за потужністю;

- застосування резонансних властивостей до існуючого енергетичного поля, тощо.

Такі модифікації в енергетичній сфері існуючого типу для технологічного процесу дозволяють підвищити активність різних компонентів його сировинної бази, забезпечити цілеспрямовану зміну власти-

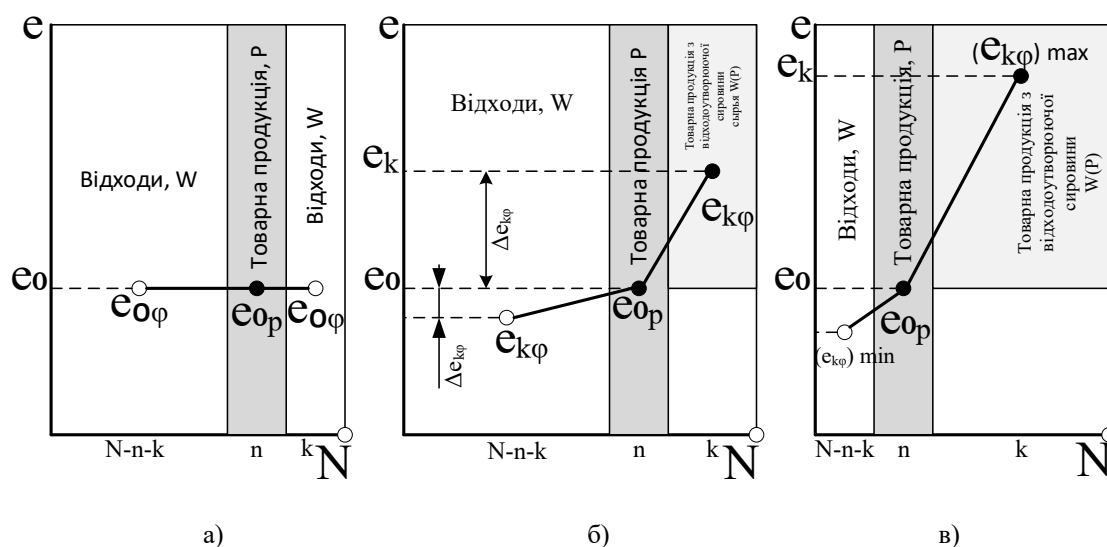


Рис. 2. Загальний характер розподілу приведеної енергії для впливу на  $k$ -компоненти сировинної бази в традиційному (а) і полімодальному (б) і (в) технологічних процесах при введенні в систему додаткових джерел енергії  $e_k$  без зазначення їх якості

востей окремих компонентів таким чином, щоб їм можна було надати споживчі властивості і вивести зі стану можливих відходів (див. рис. 1).

2. Використання в технології принципово інших джерел енергії в порівнянні з існуючими, це другий спосіб зміни енергетичного впливу в рамках існуючого технологічного процесу передбачає.

Всі види енергії підрозділяються за якістю, щільністю і силою впливу на матеріали. Крім того, існують енергетичні зв'язки, які дозволяють використовувати деякі види енергії для посилення ефектів інших видів енергії. Наприклад, механічний вплив на окремі компоненти сировини може бути значно збільшено, якщо ці компоненти піддати простому нагріванню, особливо якщо передбачені умови диференційованого нагріву окремих компонентів. Різні комбінації теплового впливу з паралельними акустичними або магнітними енергетичними ефектами також можуть дати бажаний результат у вигляді цілеспрямованої зміни властивостей окремих компонентів сировини. Тощо.

Сюди ж відноситься модуляція одного енергетичного сигналу іншим, схожим за певними характеристиками: щільністю, амплітудою, фазовими зрушеннями енергетичного сигналу. Це легко уявити для електромагнітних і подібних впливів.

І третій напрямок підвищення енергетичної ефективності – це синхронізація наявних компонентів сировини та запропонованих джерел енергії. До нього входять:

– узгодження (або, навпаки, розузгодження) компонентів сировини за фізичними, хімічними та іншими властивостями з частотними характеристиками використовуваної енергії;

– мінімізація лінійних розмірів компонентів сировини з приведенням їх параметрів до заданих

частот енергетичного поля з метою їх резонансної взаємодії;

– штучне розширення можливостей і властивостей окремих компонентів сировини по відношенню до застосовуваних енергетичних ефектів (мітки, молекулярні включення, ізопаки).

В результаті такої взаємодії джерел енергії і структурованої за  $N$  – компонентами сировини в технологічному процесі з'являються можливості для виникнення зовсім інших властивостей тих компонентів, які раніше існували в даній технології як непотрібні і становили основу відходів даного виробництва (див. рис. 2, а). У запропонованому підході для кожного такого  $k$  – компонента виникає новий енергетичний вплив  $e_k$ , зведений, наприклад, до масових або об'ємних характеристик сировинного компонента, який здатний надати цьому компоненту властивості товарної продукції з відходоутворюючої сировини (див. рис. 2, б). І, нарешті, з умов максимального енергетичного впливу (не обов'язково одним і тим же джерелом енергії) можна досягти максимально можливої компонентності сировини ( $n+k \rightarrow N$ ), майже кожний з яких, завдяки новим або модернізованим джерелам енергії, здатний перетворюватися в товарну продукцію в рамках існуючого, але вже модернізованого технологічного процесу (див. рис. 2, в).

У світлі вищевикладеного ставиться завдання запобігання (або мінімізації) утворення відходів ще в процесі виробничої діяльності, модифікацією енергетики і впорядкуванням сировинної бази технологічного процесу (рис. 3). До сих пір перед людиною такі інженерні завдання не ставилися.

Розглянемо ці положення на прикладі однієї з найбільш складних, з точки зору утворення відходів, технологій, виробництва чавуну в доменній

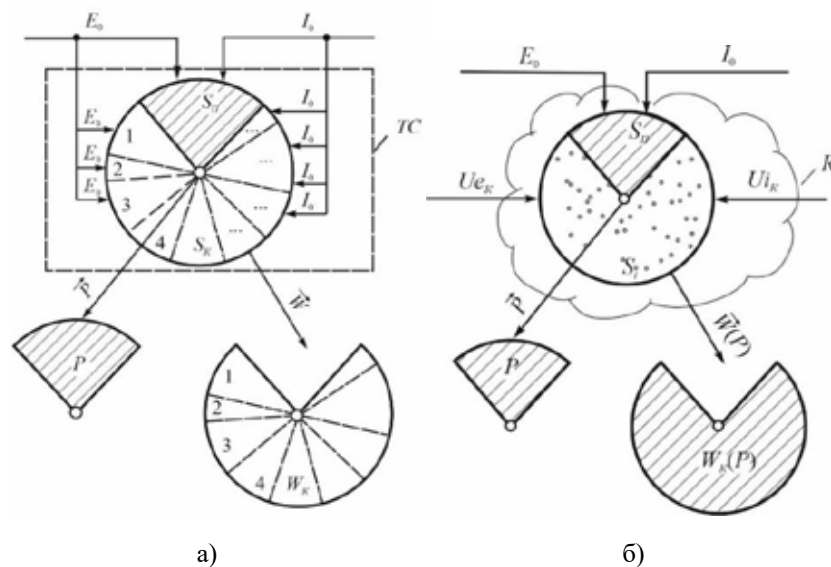


Рис. 2. Загальний характер розподілу приведеної енергії для впливу на  $k$ -компоненти сировинної бази в традиційному (а) і полімодальному (б) і (в) технологічних процесах при введенні в систему додаткових джерел енергії  $e_k$  без зазначення їх якості

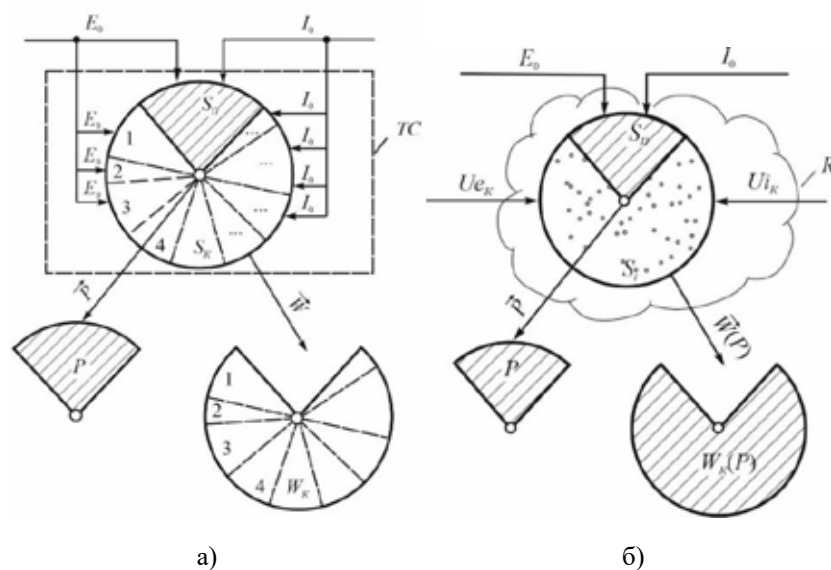


Рис. 3. Умовна схема традиційного (а) і полімодального (б) технологічного процесу. Тут:  $TC$  – технічна система щодо організації технологічного процесу;  $E_0$  – початкова енергія для підтримки технологічного процесу;  $E_1$  – вихідні відомості для організації технологічного процесу;  $S_n$  – багатоконпонентна сировинна база в тій її частині, яка відноситься до продукції;  $S_k$  – багатоконпонентна сировинна база в тій її частині, яка відноситься до відходів;  $P$  – корисна продукція;  $W$  – спосіб отримання відходів;  $W_k$  – відход;  $n$  – компонентність сировини, що відноситься до продукції;  $k$  – компонентність сировини, що відноситься до відходів;  $R$  – деякий полімодальний реактор;  $U_{e_k}$  – додаткове енергетичне втручання в компонентну базу сировини;  $U_{i_k}$  – додаткове інформаційне втручання в компонентну базу сировини;  $W_k(P)$  – методи перетворення потенційних компонентів відходів в товарну продукцію в рамках полімодального реактора  $R$

печі. Шлакові відходи доменного виробництва є найбільш поширеними і небезпечними в металургії. Незважаючи на величезну кількість методів їх пост-технологічної переробки та утилізації, доменні шлакові відвали залишаються, а мільйони тонн відходів забруднюють навколишнє середовище.

Подивимося на цю проблему з іншого боку (див. рис. 3, б). Традиційна конструкція доменної печі добре відома. Зазвичай шлаковий продукт доменної плавки в кількості не менше 40% від загальної кількості сировини йде у відходи через шлаковий отвір в печі. Найбільш поширений склад рідкого шлаку

включає оксиди кремнію, кальцію, магнію, алюмінію, фосфору, заліза, магнію, марганцю, міді і деякі інші. Відразу варто відзначити, що існуюча доменна піч не дозволяє вирішити завдання мінімізації таких оксидів і запобігання їх потраплянню в шлак. Для цього потрібні інші рішення.

Для простоти розглянемо новий агрегат як наш теоретичний полімодальний реактор ( $R$ ), який повинен бути розрахований не тільки на виробництво товарного чавуну, але і на реалізацію інших фізико-хімічних процесів, що супроводжують основний доменний процес у вигляді трансформації інших компонентів сировини на користь товарної продукції, яка виробляється разом.

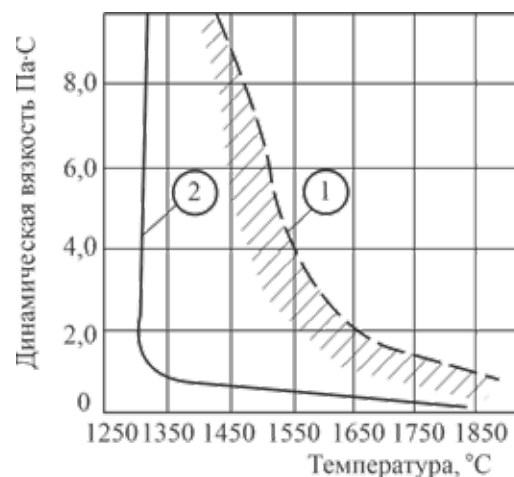
Першою умовою альтернативної технології є створення умов сильної термодинамічної нерівноваженості в певній частині печі (реактора –  $R$ ) щодо ряду рудних оксидів, що складають основу шлакоутворення.

Надалі ми будемо посилатися на окремі матеріали робіт відомих українських вчених Патона Б. Є., Медовара Б. І. за 1970 р., Казачкова Є. О., Чепурного А. Д. за 1995 р., Чуманова В. І. за 2009 р., Сержанова Г. М. та ін. за 2015 рік.

На сьогоднішній день відомо, що шлакові розплави в певному температурному діапазоні являють собою особливий вид комплексних рідких електrolітів із досить складною структурою, до складу якого входять багатоконпонентні іонні комплекси, субоксиди різного складу, окремі молекули і асоціати. Для того, щоб виділити хоча б відносно чисті компоненти з металургійного шлаку в певному фізико-хімічному реакторі, необхідні більш ретельні дослідження їх поведінки в умовах підвищених температур і низької в'язкості. Якщо вдасться підняти температуру в нашому фізико-хімічному реакторі до такого ступеня, що шлак отримає властивості рідини з в'язкістю межах  $0,05\text{--}1,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$  (рис. 4), для такої рідини можуть бути застосовані до першого наближення характеристичні електrolітичні залежності. В цілому ці залежності є більш складними, тому, що в традиційній металургії не було потреб щодо вивчення перегрітих шлаків, але їх спрямованість стає саме такою.

У разі, коли розчин містить певну кількість іонів з номенклатури металургійних шлаків, різниця в потрібних енергіях  $\Delta Q = \{Q(n_2) - Q(n_1)\}$ , або прихована теплота плавлення, є одним з параметрів, які можуть бути використані для перегрітих металургійних шлаків як визначник нерівноваженості цих систем. Тому сильно перегрітий розплавлений шлак може бути об'єктом деякого енергетичного впливу з метою надання йому якостей корисного продукту. Для цього потрібно забезпечити необхідну енергію в реакторі, визначити спосіб її впливу на такий шлак і технічне оснащення такого процесу.

Тому не можна не враховувати можливості організації процесів електrolітичної дисоціації, які за пев-



1 – при вмісті  $\text{SiO}_2 \approx 60\%$  ;

2 – при вмісті  $\text{SiO}_2 \approx 39\%$

Рис. 4. Температурна залежність динамічної в'язкості розплавленого шлаку

Джерело: складено автором згідно з дослідженням проф. Є. О. Казачкова, 1995

них умов (насамперед високих температур розплаву) можуть бути варіантом вирішення проблеми поділу відомої частини шлакових компонентів. Наприклад, не суперечить логіці, що у фізико-хімічному доменному реакторі теоретично можна:

- створити високотемпературний електrolізер з використанням електричної енергії, можливо, на графітових електродах;
- виділити найбільш реакційноздатні мінерали і компоненти з початкової доменної шихти;
- забезпечити умови для активації поверхні високотемпературного доменного шлаку;
- забезпечити необхідну в'язкість шлаку для високотемпературного електrolізу;
- забезпечити обробку поверхні шлаку розчином відповідної кислоти, з метою впорядкування його структури.

Сьогодні ці пропозиції можуть здатися неактуальними або нездійсненними. Проте, як показав академік Б. І. Медовар, досвід створення технологій електрошлакового переплаву в Інституті зварювання ім. Є. О. Патона показує, що існує як теоретична, так і практична основа роботи з рідкими електrolітичними шлаками в електричному полі і при температурах близьких до  $2500 \text{ }^\circ\text{C}$ . При цьому українські науковці тримають високу планку в цих дослідженнях [6].

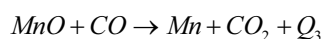
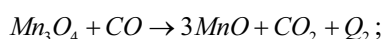
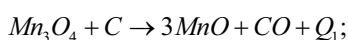
Розглянемо деякі з відомих методів відновлення основних компонентів, присутніх в доменному шлаку, які теоретично можуть бути реалізовані в нашому гіпотетичному реакторі. Поки що ми свідомо уникатимемо проблем практичної реалізації запропонованих методів, враховуючи їх складність,

потрібність в додаткових дослідженнях та незвичність для традиційних технологів.

**1. Відновлення кремнію з сировини і шлаку.** З металотермії відомо, що відновлення кремнію з його оксиду алюмінієм можливо при температурі 1433 °С. Розглянемо реакцію:  $3SiO_2 + 4Al = 3Si + Al_2O_3$ , в якій оксид кремнію в термодинамічних умовах повністю взаємодіє з алюмінієм при  $t = 400$  °С, утворюючи кремній і  $Al_2O_3$ . При більш високих температурах відбувається утворення  $Al_2SiO_5$ ,  $SiO_{(c)}$  та ін. За даними В. І. Чуманова (2009), ступінь утворення кремнію на рівні 97–100% досягається в діапазоні температур 500–1000 °С при визначеній кількості алюмінію. При цьому тиск в реакторі не впливає на перебіг цих хімічних реакцій. Узгодимось, що теоретично такі умови можуть бути створені на відповідному рівні доменного реактора, не допускаючи потрапляння більшої частини оксидів кремнію в горн до чавуну. Але цей процес підлягає більш ретельному вивченню, як самостійний об'єкт для дослідження.

Для повноти картини можна звернутися до методів відновлення кремнію з оксиду і в струмені водневої плазми ( $SiO_2 + 2H_2 \rightarrow Si + 2H_2O$ ). Звичайно, чистий кремній ми не отримаємо, будуть забруднення. Але він вже не буде підпадати до відходів, стаючи сировиною для подальшого виробництва монокристала.

**2. Відновлення марганцю.** У доменній сировині марганець присутній у вигляді оксидів  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$  або діоксиду  $MnO_2$ , в доменному шлаку – тільки у вигляді  $MnO$ . У печі відновлення марганцю до чистого елемента може протікати в атмосфері вуглекислого газу стадіями від вищих оксидів до нижчих, прямим шляхом:



Відновлення марганцю з  $MnO$  твердим вуглецем здійснюється при температурі від 1100 °С в межах заплечиків печі. Мається на увазі приблизно 30–45% марганцю, який переходить в шлак і підлягає екстракції. Решта марганцю шихти поглинається чавуном. Питання про вилучення чистого марганцю із закритого реактора доменної печі залишається відкритим.

**3. Зменшення фосфору.** По ряду відомих причин цілком можливо, що фосфор, як елемент більшості видів мінеральної сировини на планеті, стане тим фактором, який змусить людей більш дбайливо ставитися до залишків цієї сировини взагалі.

Вміст фосфору в агломераційній руді коливається від 0,05–0,06% і іноді досягає 1,5%. Електротермічний метод відновлення фосфору з його оксидів передбачає реакцію з коксовим вуглецем в присутності кремнезему і може бути записаний

як  $Ca_3P_2O_8 + 5C + nSiO_2 \rightarrow P_2 + 3CaO \cdot nSiO_2 + 5CO$ . Кінетика реакції проявляється при наявності високотемпературного розплаву і деякого модуля кислотності за рахунок  $SiO_2$ . При цьому кислотність реакційноздатної зони може бути забезпечена і за рахунок наявності оксидів алюмінію заради відновлення кремнію. Практично всі початкові умови для такої реакції (розплав, кокс, оксид кремнію, наявність кислого середовища, температура) присутні в доменному реакторі. Недолік тільки один: традиційна доменна піч ані конструкційно, ані технологічно не пристосована для таких реакцій.

Такі теоретичні дослідження можуть бути продовжені і надалі. Загальні характеристики полімодального доменного реактора  $R$ , в якому теоретично можуть протікати такі та інші реакції, наведені в таблиці 1.

Безумовно, розбіг температур для таких технологій та існуючих в реактивній зоні хімічних елементів і їх з'єднань, дуже суттєвий, що може привести до елементарного хімічного протиріччя.

Якщо прийняти наведені вище виклади, то доменна піч повинна бути перетворена в певний фізико-хімічний реактор ( $R$ ) (див. рис. 3, б), в якому відбувається функціональне розділення багатокomпонентної сировини ( $S$ ) у вигляді аглодоменої руди, флюсових добавок і коксу на окремі компоненти: деякі сполуки кремнію, сірки, фосфору, окремо миш'як, окремо інші компоненти рудного матеріалу (табл. 2). При цьому умовна кількісна складова корисної товарної продукції ( $P$ ) може досягати 88–95% до ваги використовуваної руди, коксу і добавок. У цьому випадку замість 45% сировини в доменному виробництві переводилось би до відходів всього 5–10% цієї сировини у вигляді «поки» непереробленої її частини. Зокрема, в такому реакторі можуть використовуватися високотемпературні електролітичні або хімічні (каталітичні) джерела енергії. Так, їх ще потрібно розвивати, але «гра варта свічок». По суті, мова йде про відомі способи ( $W$ ) мінімізувати відходи в джерелі їх виникнення, тобто в самому технологічному процесі.

Очевидно, що створити реактор з такими параметрами непросто. Але до цього треба прагнути. Адже, по суті, мова йде про способи мінімізації відходів в джерелі їх виникнення, тобто в самому технологічному процесі і без необхідності додаткової переробки таких відходів вже після їх створення.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Ми залишаємося впевненими, що запропонована технологічна полімодальна ідеологія буде прийнята далеко не всіма. Тим більше, що реальних прикладів ще дуже мало. Традиційні фахівці і технологи, основним завданням яких протягом багатьох років було вдосконалення існуючих технологій і приведення технологічних показників до рівня максимальної продуктивності або до максимального рівня якості основної продукції, відне-



Таблиця 1

## Зведені показники впливу на відходоутворення для умовного полімодального реактора

№	Показник	SiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	Температура плавлення (оксид /елемент), °C	1713/1414	535/1246	340/45
2	Температура в зоні реакції, °C	500/1000	1050/1100	~1300
3	Вміст компонентів у шлаку, %	50/60	0,7/2,0	0,05/1,5%
4	Активний реагент	Al	C <sub>me</sub> , CO	C, SiO <sub>2</sub>
5	Реакція відновлення: – для SiO <sub>2</sub> 3SiO <sub>2</sub> + 4Al = 3Si + 2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – для MnO      MnO + CO → Mn + CO <sub>2</sub> и    MnO + C → Mn + CO – для P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Ca <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>8</sub> + 5C + nSiO <sub>2</sub> → P <sub>2</sub> + 3CaO · nSiO <sub>2</sub> + 5CO			
6	Термодинамічна характеристика процесу	Екзотермізм	Ендотермізм	Ендотермізм
7	Продукт реакції, %	Si(97/99)	Mn(15/73)	P(56/99)
8	Просторова координата в реакторі для реакції	Лещадь доменного реактора	Заплички реактора, шахта	–
9	Спосіб вилучення з реактора	?	?	?
10	Небажані взаємодії	SiC, FeS	Розчин марганцю в чавуні, Mn <sub>2</sub> C	Fe <sub>2</sub> P

Таблиця 2

## Прогнозовані дані щодо розподілу типових компонентів сировинної бази полімодального доменного процесу між товарною продукцією та відходами, зведеному до відносних кількісних показників товарного чавуну, %

Компоненти сировинної бази	Склад компонента у первинній сировині	Типова Технологія		Полімодальна технологія*	
		Товарна продукція	Промисловий відхід	Товарна продукція	Промисловий відхід
Залізо	16 – 72	60	–	60	–
Кремній	8 – 10 >	–	25 – 30	23 – 28	~2
Фосфор руди	0,15	–	0,1 – 0,25	0,15	–
Фосфор коксу	0,015 – 0,04	–	0,03 – 0,05	0,01 – 0,04	–
Вуглець коксу	80 – 88	3 – 4	–	3 – 3,5	0,5
Сірка руди	0,1 – 0,3	–	0,11 – 0,25	0,2	–
Сірка коксу	0,5 – 1,8	–	0,05 – 0,10	–	–
Миш'як	0,05 – 0,09	–	0,03 – 0,05	0,01 – 0,05	–
СаО вапняку	55	–	3 – 4	~2	–
SiO <sub>2</sub> вапняку	45	–	2,5 – 3,0	~1	–
Коксова зола	8 – 12	–	8 – 10	–	5 – 11
ВСЬОГО:	–	63 – 64	33,3 – 40,7	89,37 – 94,9	7,5 – 13,5

\* – оціночні варіанти розподілу компонентів, задіяних в технологічному процесі, якщо в ньому присутні полімодальні технології.

суться з обережністю до можливостей кардинально перебудувати встановлений технологічний процес в будь-якій галузі виробництва. Однак глобальний характер процесів накопичення промислових відходів змусить шукати нові шляхи їх мінімізації, адже це вже пов'язано з існуванням людини на нашій планеті. І це стосується абсолютної кількості існуючих і нових технологій.

**Висновки.** Створення полімодальних технологій, в принципі, можливо, якщо при їх проектуванні враховувати такі технологічні умови, як структуризація сировинної бази на основі принципу термодинамічної двоєдності і формування джерел енергії, здатних систематично впливати на максимально можливу частину компонентів сировини в технологічному процесі на межі термодинамічної невірноваженості.

## Література

1. EUROSLAG, The European Association Representing Metallurgical Slag Producers and Processors. Statistics. URL: <http://www.euroslag.com/>. Accessed 27 November 2021.
2. Довкілля України за 2020 рік: статистичний збірник. Державна служба статистики України. Київ, 2021. С. 111–112.
3. Волошин В. С., Лістратова Н. Ю. Термодинаміка утворення відходів та стратегія розвитку сучасних енергетичних технологій. *V Міжнародна науково-практична конференція «Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації»*, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України «Академперіодика». Київ, 2023. С. 139–142.
4. Волошин В. С. Заглушення відходоутворювання в джерелі виникнення – сучасний виклик у технологічних процесах. *Нац. Форум: «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології»*. Київ, 2018. С. 78–83.
5. Voloshyn V. S. Alternative method of control over wastes – a contemporary -environmental and economics system in Ukraine: Monograf. OKTAN PRINT s.r.o. Prague, 2019. P. 108–120.
6. Lyuty O. P. Metallurgical school of the Kyiv polytechnic institute and sources of electros slag remelting. *Зб. наук. праць: Історія науки і техніки*. Вип. 8. Вид. Державний економіко-технологічний університет транспорту. Київ, 2016. С. 166–176.

## ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Лопушанська М.Р.<sup>1,2,3</sup>, Іванов Є.А.<sup>1</sup>, Вижва А.М.<sup>2</sup>, Циганок Л.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Університетська, 1, 79007, м. Львів

<sup>2</sup>Товариство з обмеженою відповідальністю «НОРДІК-БУД»  
вул. Шота Руставелі, 7, 79005, м. Львів

<sup>3</sup>Асоціація професіоналів довкілля «РАЕВ»  
а/с 25, 03087, м. Київ

maria.lopushanska.agrn@lnu.edu.ua, yevhen.ivanov@lnu.edu.ua,  
a.vyzhva@nordikbud.com.ua, liudmyla.paeu@gmail.com

Під час реалізації проєктів з відновлюваної енергетики важливо у повному обсязі оцінити потенційний вплив на довкілля з метою його мінімізації. Оцінку впливу на довкілля від різних об'єктів відновлюваної енергетики, які розміщені у Львівській області, здійснено на основі авторської методики оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики (автори: М. Лопушанська, Є. Іванов, А. Вижва, Л. Циганок). Методика носить виключно рекомендаційний оціночно-аналітичний характер та не суперечить чинному нормативно-правовому і нормативно-методичному забезпеченню щодо здійснення оцінки впливу на довкілля в Україні.

Для оцінки впливу на довкілля обрано вісім об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області, що перебувають на різних етапах реалізації проєктів – їх будівництва, експлуатації і реконструкції. На основі проведеної оцінки впливу на довкілля для цих об'єктів відновлюваної енергетики зроблено висновки, що найвищі показники сумарного впливу на всіх етапах життєвого циклу проєкту отримують об'єкти малої гідроенергетики (300–305 балів), а найменший – об'єкти сонячної енергетики (191–211 балів).

При реалізації проєктів з відновлюваної енергетики найбільший вплив на довкілля простежується на етапі будівництва електростанції (до 33,94 %) та залежить від її географічного положення, специфіки природних умов, близькості території природно-заповідного фонду та об'єктів Смарагдової мережі.

Серед обраних об'єктів відновлюваної енергетики визначено, що найбільша частка припадає на мілітарні впливи, зокрема для об'єктів сонячної енергетики – 86–94 бали, що становить 44–45 % від загального впливу проєкту, для об'єктів вітроенергетики – 83–93 бали (38 %), а для об'єктів малої гідроенергетики – 94 бали (31 %). Можливий мілітарний вплив на об'єкти сонячної енергетики зумовлений значними розмірами електростанцій, що робить їх вразливими до військових атак.  
*Ключові слова:* відновлювана енергетика, впливи, оцінка впливу на довкілля, сонячна енергетика, вітрова енергетика, мала гідроенергетика, відновлювані джерела енергії.

### Environmental impact assessment for renewable energy objects in the Lviv region. Lopushanska M., Ivanov Ye., Vyzhva A., Tsyganok L.

When implementing renewable energy projects, it is important to fully assess the potential environmental impacts in order to minimize them. The environmental impact assessment of various renewable energy projects located in the Lviv region was conducted based on the author's methodology for environmental impact assessment for renewable energy facilities (authors: M. Lopushanska, Ye. Ivanov, A. Vyzhva, L. Tsyganok). The methodology is of a purely advisory and analytical nature and does not contradict the current regulatory and methodological framework for environmental impact assessment in Ukraine.

For the environmental impact assessment, eight renewable energy projects in the Lviv region were selected, each at different stages of project implementation—construction, operation, and reconstruction. Based on the environmental impact assessment conducted for these renewable energy projects, it was concluded that small hydropower plants have the highest total impact at all stages of the project life cycle (300-305 points), while solar energy plants have the lowest (191-211 points).

During the implementation of renewable energy projects, the greatest environmental impact is observed during the construction phase of a power plant (up to 33.94%), which depends on its geographical location, specific natural conditions, and proximity to nature reserves and Emerald Network sites.

Among the selected renewable energy projects, it was determined that military impacts constitute the largest share, particularly for solar energy projects (86-94 points), which account for 44-45% of the total project impact. For wind energy projects, military impacts amount to 83-93 points (38%), and for small hydropower projects, they total 94 points (31%). The potential military impact on solar energy plants is attributed to their large size, which makes them more vulnerable to military attacks. *Key words:* renewable energy, impacts, environmental impact assessment, solar energy, wind energy, small hydropower energy, renewable energy sources.

**Постановка проблеми.** Проходженню процедури з оцінювання впливу на довкілля згідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» підлягають всі об'єкти відновлюваної енергетики, окрім об'єктів сонячної енергетики. У складі проєктно-кошторисної документації

розробляють розділ «Оцінка впливів на навколишнє середовище», у якому висвітлюють усі впливи на довкілля від діяльності. Проте, ці документи не враховують життєвого циклу проєкту, а виключно вплив від будівництва, реконструкції та експлуатації.

Комплексна оцінка впливу діяльності на довкілля протягом всього життєвого циклу об'єкта відіграє важливу роль, оскільки дає можливість оцінити всі етапи реалізації проекту «від колиски до могили».

**Актуальність дослідження.** Під час реалізації проектів з відновлюваної енергетики важливо у повному обсязі оцінити потенційні впливи на довкілля з метою їхньої мінімізації. Інтенсивність цих впливів на довкілля від об'єктів відновлюваної енергетики залежить від різних факторів, зокрема географічного розташування, виду діяльності, близькості об'єктів, які потенційно можуть зазнати впливу на різних етапах життєвого циклу проектів тощо. Проведення розрахунку та аналізу всіх факторів впливу дає змогу об'єктивно оцінити вплив на довкілля та запроєктувати заходи з метою його уникнення.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Запропонована «Методика оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики» [1] на всіх етапах життєвого циклу проекту дає змогу комплексно оцінити впливи для об'єктів відновлюваної енергетики. Саме завдяки застосуванню цієї методики варто уніфікувати підходи до оцінки впливів на довкілля і порівняти впливи від різних об'єктів відновлюваної енергетики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні затверджено методики оцінки впливу на навколишнє природне середовище державними стандартами чи наказами Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, а також пропозиції розроблені та запропоновані науковими установами [2–8]. Також за основу оцінювання взято інформацію щодо географічного розміщення та особливості функціонування різних об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області з опублікованих раніше авторами монографій [9, 10] і статей [11–16].

**Метою роботи** є оцінка впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики Львівської області, а також порівняння впливів від обраних об'єктів відновлюваної енергетики.

**Новизна.** У статті проведено оцінку впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики на окремі компоненти довкілля на всіх етапах життєвого циклу проекту. На прикладі об'єктів відновлюваної енергетики Львівської області оцінено впливи на довкілля та подано диференціацію у розподілі впливів залежно від типу електростанції та її розташування.

**Методологічне значення.** Зроблено розрахунки інтенсивності впливів для об'єктів відновлюваної енергетики Львівської області та проаналізовано головні відмінності цих впливів. Оцінку впливу на довкілля від об'єктів відновлюваної енергетики Львівської області здійснено на основі «Методики оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики» (автори: М. Лопушанська, Є. Іванов, А. Вижва, Л. Циганок) [1]. Методика

носить виключно рекомендаційний оціночно-аналітичний характер та не суперечить чинному нормативно-правовому і нормативно-методичному забезпеченню щодо здійснення оцінки впливу на довкілля в Україні.

**Викладення основного матеріалу.** Для оцінки впливу на довкілля обрано вісім об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області, що перебувають на різних етапах реалізації проектів – їх будівництва, експлуатації та реконструкції. Станом на 2024 р. у Львівській області відсутні об'єкти відновлюваної енергетики, які виведені з експлуатації чи перебувають на етапі завершення життєвого циклу проекту. Серед об'єктів відновлюваної енергетики обрано такі:

– три сонячні електростанції (СЕС): «Самбірська СЕС», «Яворів-1» і «Глиняни»;

– три вітрові електростанції (ВЕС): «Старий Самбір-1», «Сколівська ВЕС» (Стрийський район) і «Сколівська ВЕС» (Дрогобицький район);

– дві малі гідроелектростанції (МГЕС): Явірська МГЕС і Сокальська МГЕС.

Для кожного із обраних об'єктів відновлюваної енергетики розроблено матрицю впливів на кожен фактор довкілля на всіх етапах життєвого циклу проекту, проаналізовано сумарні оцінки інтенсивності впливів на компоненти (фактори) довкілля для етапів життєвого циклу проекту.

**Оцінка впливу на довкілля для об'єктів сонячної енергетики.** Для оцінки впливу на довкілля обрано три сонячні електростанції у різних частинах Львівської області: «Самбірська СЕС» у Самбірському районі, СЕС «Яворів-1» у Яворівському районі і СЕС «Глиняни» у Львівському районі. Характеристику об'єктів дослідження подано у таблиці 1.

Як репрезентативний об'єкт для оцінки впливу на довкілля для сонячної енергетики обрано найпершу сонячну електростанцію на заході України – «Самбірську СЕС». Станцію експлуатують вже понад 11 років. Оцінку впливів на довкілля здійснено на основі даних [1, 13–15]. За її результатами отримано сумарні оцінки інтенсивності впливів на компоненти (фактори) довкілля для етапів життєвого циклу проекту цієї сонячної електростанції (рис. 1).

Для сонячної електростанції обрано панелі китайського виробництва, тому вплив на довкілля на етапі виробництва продукції відсутній. Серед етапів життєвого циклу проекту найбільший вплив на довкілля спостерігаємо на етапі будівництва електростанції, що становить 75 балів та оцінюється як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу. Найменший рівень впливу має етап її експлуатації (-8 балів), який оцінюємо як позитивний. Серед компонентів (факторів) довкілля на всіх етапах життєвого циклу проекту найбільші значення впливу припадають на екологічні, що складають 68 балів, а найменший вплив – на соціально-економічні, який не перевищує 26 балів. Серед

Таблиця 1

## Характеристика об'єктів сонячної енергетики

Характеристика	«Самбірська СЕС»	СЕС «Яворів-1»	СЕС «Глиняни»
Загальна характеристика об'єктів дослідження			
Рік будівництва [15]	2012, 2015	2018–2019	2018–2019
Стан об'єкта [15]	Експлуатується		
Встановлена потужність, МВт [15]	8,2	71,85	21,7
Площа, га [15]	22,2	140,0	46,8
Кількість сонячних панелей, шт [15]	32 003	260 520	75 912
Виробник сонячних панелей	Китай		
Параметри для здійснення оцінки впливу на довкілля			
Середня температура січня, °С [16]	-3,0	-2,9	-2,9
Середня температура липня, °С [16]	+19,1	+19,7	+19,9
Середньорічна кількість опадів, мм [16]	907	828	832
Глобальне горизонтальне випромінювання, кВт·год/м <sup>2</sup> [17]	1 330–1 340	1 320–1 330	1 340
Відстань до найближчих водних об'єктів, м	105	53	30
Відстань до найближчої житлової забудови, м	245	100	47
Відстань до об'єктів техногенного середовища, м	60	918	135
Відстань до об'єктів Смарагдової мережі, м	26	0	0
Відстань до об'єктів природно-заповідного фонду, м	1 505	1 164	1 632

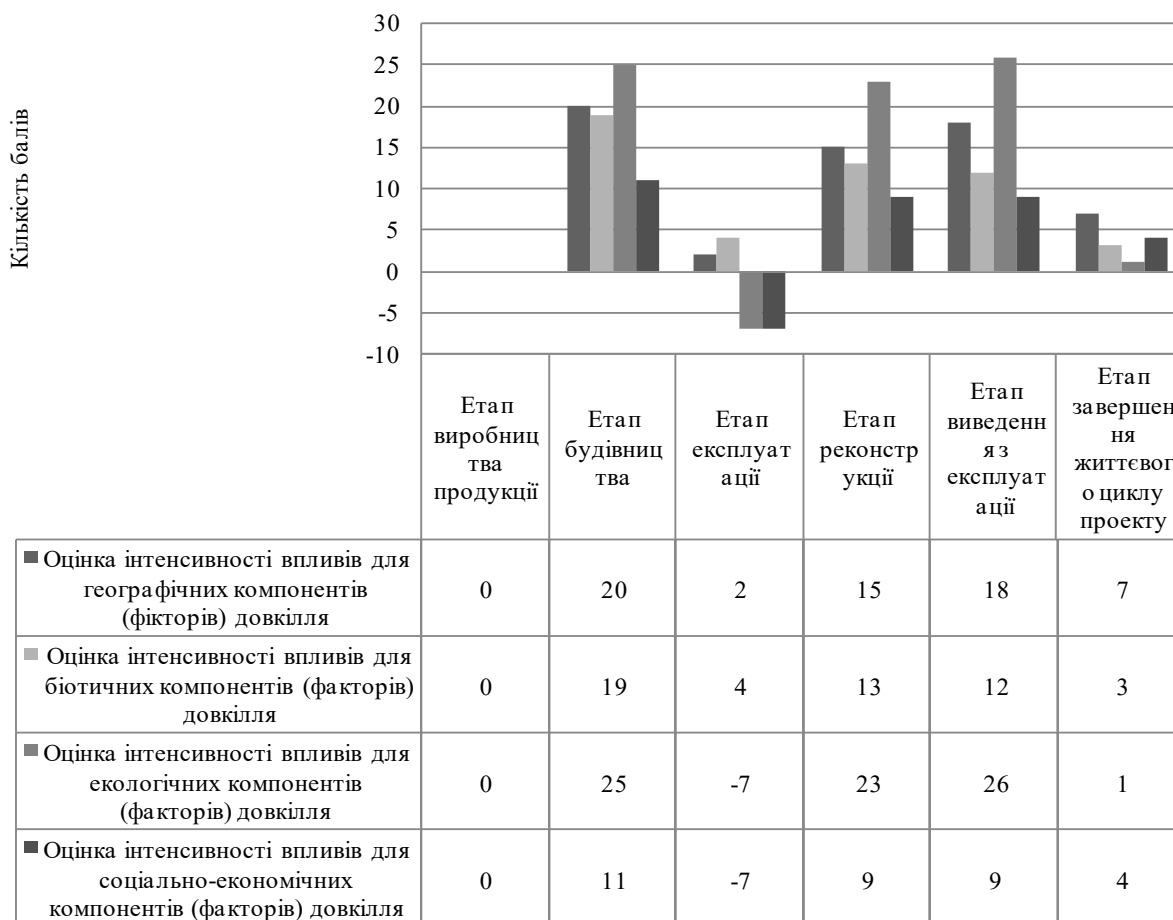


Рис. 1. Сумарне оцінювання інтенсивності впливів на компоненти (фактори) довкілля для етапів життєвого циклу проекту «Самбірська СЕС»

окремих типів впливів, найбільші показники матиме мілітарний, а найменші – прямий і кумулятивний впливи (рис. 2).

Сумарне оцінювання впливів на всіх етапах життєвого циклу проекту становить 207 балів, при цьому оцінка мілітарного впливу становить 93 бали, або 45 % від загального впливу проекту, на прямий вплив припадає 5 балів (2,4 %), а на кумулятивний – 11 балів (5,3 %).

Найбільший вплив на компоненти довкілля отримали на етапі будівництва об'єкта, на який припадає 34 % від загального впливу життєвого циклу проекту. Це зумовлено використанням спеціального обладнання, яке може мати прямий негативний вплив із утворенням викидів і відходів та потужним шумовим забрудненням. Найменший рівень впливу на довкілля спостерігаємо на етапі експлуатації об'єкта (-5 %), що зумовлено відсутністю джерел антропогенного забруднення і він оцінений як позитивний. На етап виведення з експлуатації припадає 29 % від сумарної оцінки впливу від всіх проектів (рис. 3).

За аналогічною методикою здійснено оцінювання впливу на довкілля для двох інших об'єктів сонячної енергетики. Сумарна оцінка впливу на етапах життєвого циклу проекту СЕС «Яворів-1» становить 211 балів, а проекту СЕС «Глиняни» – 191 бал.

Загалом, у процесі реалізації проектів з сонячної енергетики у регіоні найбільшу інтенсивність впливу на довкілля відзначаємо на етапі будівництва, яка залежить від географічного положення СЕС, зокрема близькість до водних об'єктів, територій природно-заповідного фонду і Смарагдової мережі тощо. Також під час етапів будівництва, реконструк-

ції та виведення з експлуатації найбільша частика впливів зумовлена використанням спеціальні техніки, яка може мати прямий або непрямий впливи на екологічні компоненти (фактори) довкілля, зокрема через утворення викидів, відходів, шумового навантаження тощо. У разі штатної роботи станції відсутні відходи, проте ймовірність їх утворення збільшується, оскільки зношується обладнання.

В цілому, на кожному з етапів реалізації проектів сонячної енергетики у Львівській області вплив оцінюється як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу, а на етапі експлуатації СЕС вплив оцінюється як позитивний.

**Оцінка впливу на довкілля для об'єктів вітрової енергетики.** Для оцінки впливу на довкілля об'єктів вітроенергетики обрано три електростанції у різних частинах Львівської області: «Сколівська ВЕС» у Стрийському районі, ВЕС «Старий Самбір-1» у Самбірському районі та однойменна «Сколівська ВЕС», але вже у Дрогобицькому районі. Характеристику об'єктів дослідження подано у таблиці 2.

Результати оцінки впливу на довкілля об'єктів вітрової енергетики у Львівській області розглянуто у статті [1]. Сумарне оцінювання впливу на етапах життєвого циклу проекту «Сколівська ВЕС» у Стрийському районі становить 243 балів, ВЕС «Старий Самбір-1» – 216 балів, «Сколівська ВЕС» у Дрогобицькому районі – 223 бали.

**Оцінка впливу на довкілля для об'єктів малої гідроенергетики.** Для оцінювання впливу на довкілля обрано дві малі гідроелектростанції у різних частинах Львівської області – Явірську

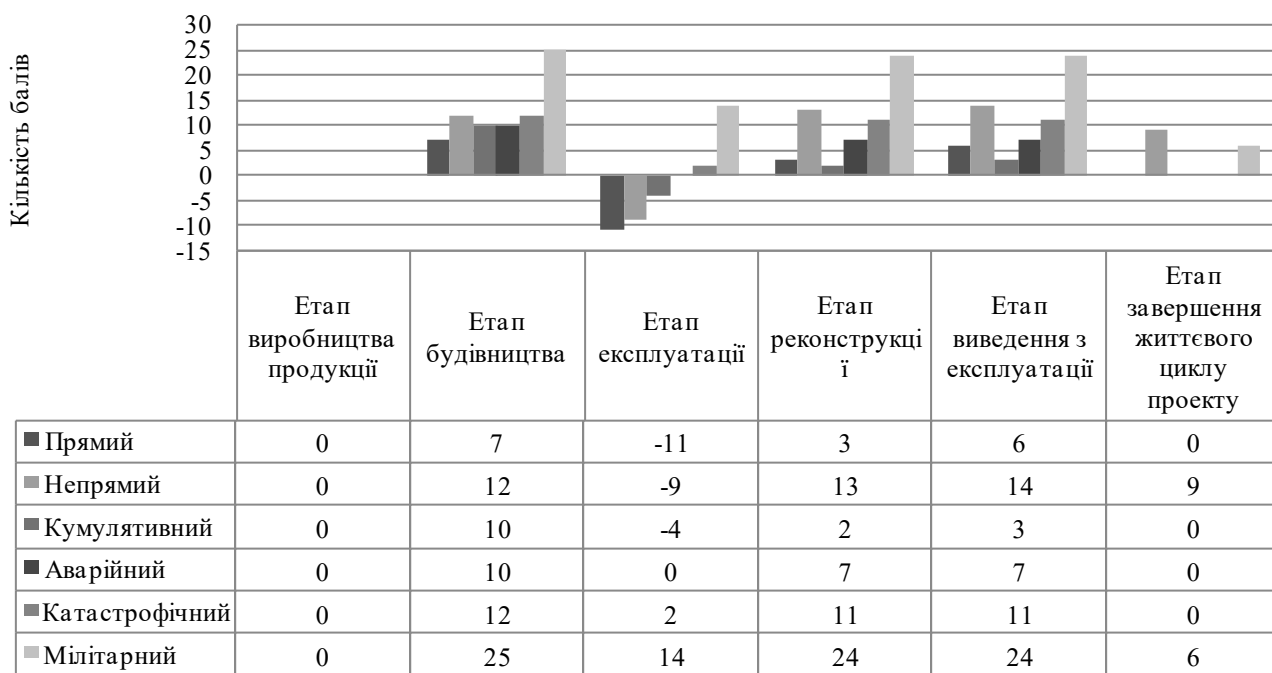


Рис. 2. Сумарне оцінювання типів впливів довкілля на етапах життєвого циклу проекту «Самбірська СЕС»

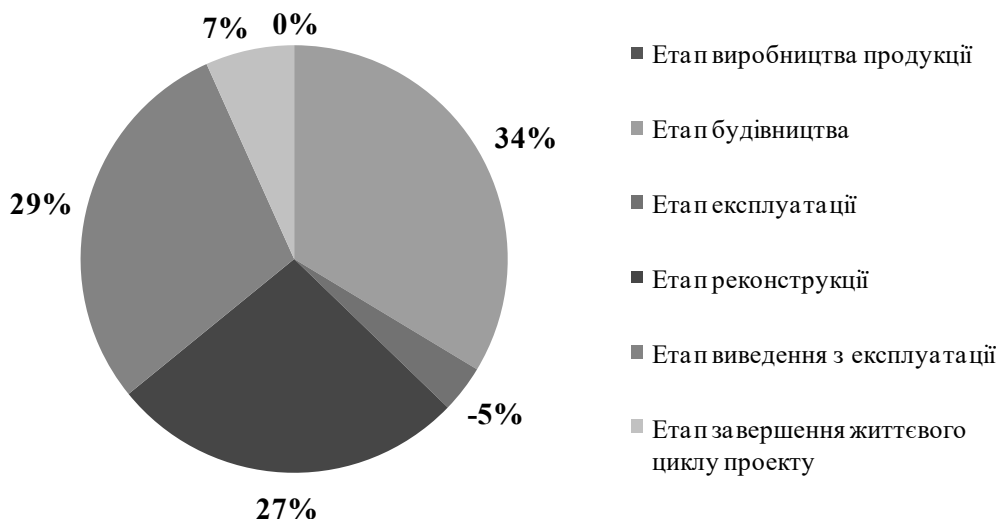


Рис. 3. Розподіл сумарної оцінки інтенсивності впливів для етапів життєвого циклу проекту «Самбірська СЕС»

Таблиця 2

#### Характеристика об'єктів вітрової енергетики

Характеристика	«Сколівська ВЕС»*	ВЕС «Старий Самбір-1»	«Сколівська ВЕС»**
Загальна характеристика об'єктів дослідження			
Рік будівництва	2021–2025	2014, 2016	2022–2024
Стан об'єкта	Будується	Експлуатується	
Встановлена потужність, МВт	60	13,2	54,6
Кількість вітрових установок, шт	до 14	4	10
Виробник вітрових установок	Іноземний***	Данія	Німеччина
Параметри для здійснення оцінки впливу на довкілля			
Середня швидкість вітру на висоті 100 м, м/с [18]	7,5–9,0	6,4	7,5–8,5
Середня щільність потужності на висоті 100 м, Вт/м <sup>2</sup> [18]	450–920	450	700–880
Відстань до найближчих водних об'єктів, м	167	798	196
Відстань до найближчої житлової забудови, м	1 500	792	350
Відстань до об'єктів техногенного середовища, м	300	294	9 730
Відстань до об'єктів Смарагдової мережі, м	3 780	562	160
Відстань до об'єктів природно-заповідного фонду, м	54	202	2 765

Примітки: \* вітрова електростанція у Стрийському районі; \*\* вітрова електростанція у Дрогобицькому районі; \*\*\* Буде уточнений робочим проектом.

МГЕС у Самбірському районі, у басейні р. Стрий і Сокальська МГЕС у Червоноградському районі, у басейні р. Західний Буг. Характеристики об'єктів дослідження подано у таблиці 3.

Як репрезентативний об'єкт малої гідроенергетики розглянемо малу електростанцію «Сокальська МГЕС», що розміщена у Червоноградському районі. Після завершення реконструкції вона стане найпотужнішою малою гідроелектростанцією у Львівській

області. Оцінку впливів на довкілля здійснено на основі даних [15, 19]. За її отримано сумарні оцінки інтенсивності впливів на компоненти (фактори) довкілля для етапів життєвого циклу проекту цієї малої гідроелектростанції (рис. 4).

Для малої гідроелектростанції буде встановлено гідротурбіни іноземного виробництва, тому вплив на довкілля на етапі виробництва продукції відсутній. Серед етапів життєвого циклу реалізації проекту

## Характеристика об'єктів малої гідроенергетики

Характеристика	Явірська МГЕС	Сокальська МГЕС
Загальна характеристика об'єктів дослідження		
Рік будівництва	1961, 2008	1970, 2019
Стан об'єкта	Експлуатується	Реконструюється
Встановлена потужність, МВт	0,45	0,999
Кількість турбін	1	1
Виробник турбін	Іноземний	Чехія
Параметри для здійснення оцінки впливу на довкілля		
Середньорічна кількість опадів, мм [15]	1 102	743
Водний об'єкт	р. Стрий	р. Західний Буг
Відстань до найближчої житлової забудови, м	307	232
Відстань до об'єктів техногенного середовища, м	322	1 079
Відстань до об'єктів Смарагдової мережі, м	0	0
Відстань до об'єктів природно-заповідного фонду, м	6 044	7 654

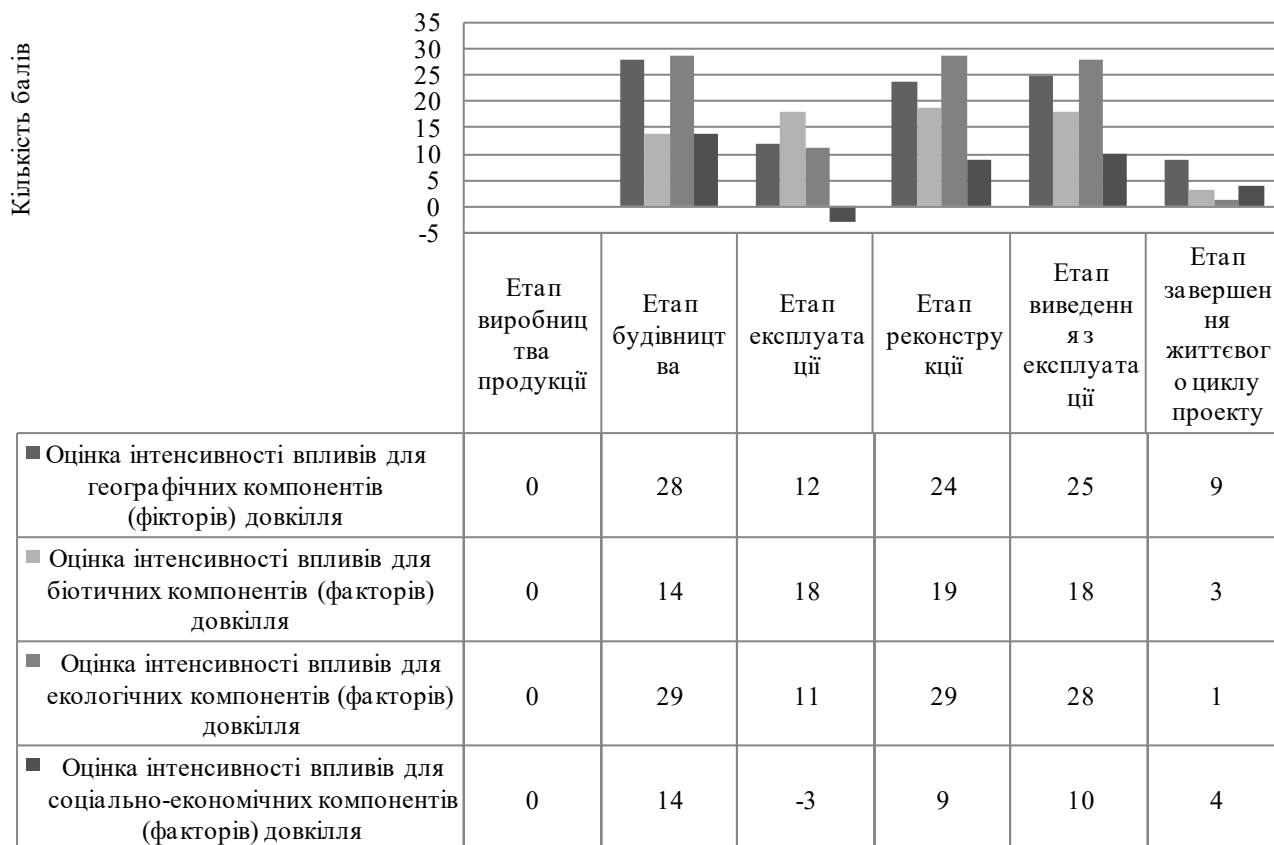


Рис. 4. Сумарні оцінки інтенсивності впливів на компоненти (фактори) довкілля для етапів життєвого циклу проекту «Сокальська МГЕС»

найбільший вплив на довкілля спостерігатимемо на етапі будівництва електростанції, що становитиме 85 балів, а найменший вплив – на етапі завершення життєвого циклу проекту (17 балів) і в обох випадках оцінюється як незначний негативний із локаль-

ним впливом на короткотривалу перспективу. Серед компонентів (факторів) довкілля на всіх етапах життєвого циклу проекту найбільші значення впливу припадають на екологічні, що складають 98 балів, а найменший вплив – на соціально-економічні, який



не перевищує 34 бали. Серед окремих типів впливів, найбільші показники матиме мілітарний, а найменші – прямий і кумулятивний впливи (рис. 5).

Сумарне оцінювання впливів на всіх етапах життєвого циклу проекту становить 302 бали, при цьому оцінка мілітарного впливу становить 94 бали, або 31,1 % від загального впливу проекту, на прямий вплив припадає 25 балів (8,3 %), а на кумулятивний – 25 балів (8,3 %). Для всіх етапів життєвого циклу проекту вплив оцінюється як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу, за винятком етапу експлуатації, де прямий вплив оцінюємо як позитивний за рахунок скорочення викидів парникових газів.

Найбільший вплив на компоненти (фактори) довкілля простежується на етапі будівництва об'єкта, на який припадає 28 % від загального впливу життєвого циклу проекту. Це зумовлено, як і при будівництві інших об'єктів відновлюваної енергетики, використанням спеціального обладнання, яке може мати прямий негативний вплив із утворенням викидів і відходів та шумовим забрудненням. Найменший рівень впливу на довкілля спостерігаємо на етапі завершення життєвого циклу проекту (6 %) і він оцінений як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу. Вплив під час експлуатації об'єкта становить 13 % (рис. 6).

За аналогічним підходом й методикою здійснено оцінювання впливів на довкілля для об'єкта малої гідроенергетики «Явірська МГЕС». Сумарна оцінка впливу на всіх етапах життєвого циклу цього проекту становить 305 балів.

Загалом, у процесі реалізації проектів з малої гідроенергетики найбільшу інтенсивність впливу на довкілля простежуємо на етапі будівництва, яка залежить від географічного положення МГЕС, зокрема розташування у межах об'єктів екомережі, Смарагдової мережі, а також гідрологічної характеристики річок. На етап реконструкції та етап виведення з експлуатації МГЕС припадає до 27 %, оскільки передбачено використання техніки, що спричиняє додаткове навантаження на довкілля. На етапи експлуатації і завершення життєвого циклу проекту електростанцій припадає найменший вплив, який становить 12 і 6 % відповідно.

У цілому, на кожному з етапів реалізації проекту малої гідроенергетики у Львівській області вплив оцінюється як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу. Найвище оцінено впливи МГЕС для екологічних компонентів (факторів) довкілля на етапах їхнього будівництва і реконструкції, а найнижче – для соціально-економічних (суспільних) факторів на етапі експлуатації електростанцій.

**Порівняльна характеристика оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики.** На основі проведеного оцінювання впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області виявлено, що найбільший сумарний вплив на всіх етапах життєвого циклу проекту мають об'єкти малої гідроенергетики, а найменший – об'єкти сонячної енергетики.

За типами впливу найбільша частка припадає на мілітарний вплив, який для об'єктів сонячної енергетики оцінено у 86–94 бали, для об'єктів вітрової

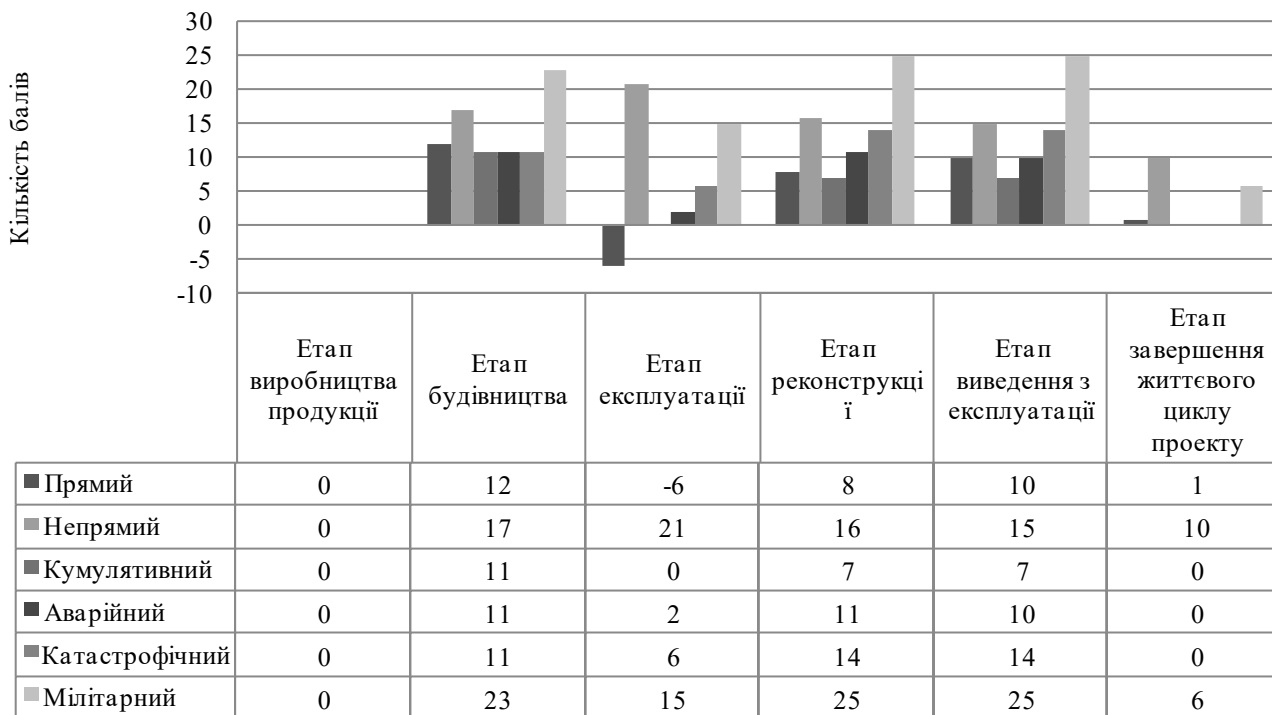


Рис. 5. Сумарне оцінювання типів впливів довкілля на етапах життєвого циклу проекту «Сокальська МГЕС»

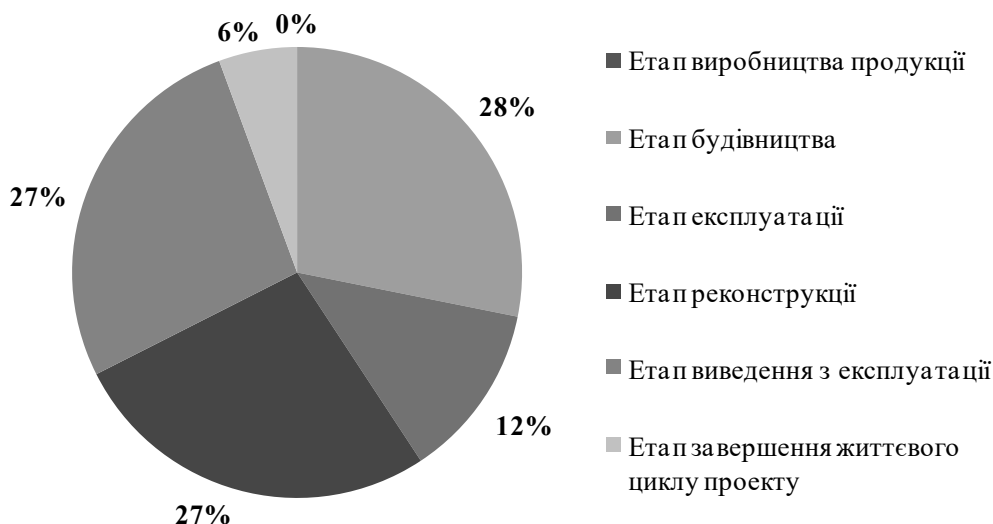


Рис. 6. Розподіл сумарної оцінки інтенсивності впливів для етапів життєвого циклу проекту «Сокальська МГЕС»

енергетики – у 83–93 бали, а для об'єктів малої гідроенергетики – у 94 бали (рис. 7). На щастя, у Львівській області не зафіксовано жодного влучання чи пошкодження об'єктів відновлюваної енергетики внаслідок військових дій.

Серед інших типів впливів найбільша частка припадає на непрямий (опосередкований), який для об'єктів сонячної енергетики оцінено у 34–39 балів, для об'єктів вітрової енергетики – у 42–48 балів, для малих гідроелектростанцій – у 79–80 балів. Велику частку опосередкованого впливу зумовлено близькістю до території екомережі, Смарагдової мережі, для окремих об'єктів – до територій природно-заповідного фонду, а також для ВЕС і МГЕС створенням шумового впливу під час експлуатації.

Найменша частка припадає на прямий вплив, зокрема для об'єктів сонячної енергетики – 4 бали, для об'єктів вітрової енергетики – 9 балів і для об'єктів малої гідроенергетики – 25–27 балів. Серед головних прямих впливів для малих гідроелектростанцій, зокрема можна відзначити навантаження на русло річки, де через створення греблі штучно ділиться річка на дві різні частини, в яких з часом створюються власні специфічні екосистеми. Також змінюється течія річки, що часто призводить до евтрофікації у верхньому б'єфі чи скупченню сміття у нижньому б'єфі (рис. 8 а,б).

Результати проведеного оцінювання впливу на довкілля відображено на карті, з якої бачимо, що найбільші показники впливів властиві для об'єктів малої гідроенергетики, а найменші – для об'єктів сонячної енергетики (рис. 9). Серед всіх етапів життєвого циклу проекту для різних об'єктів відновлюваної енергетики найбільша частка припадає на етапи будівництва, реконструкції і виведення з експлуатації (рис. 10). Це зумовлено використанням специфіч-

ної техніки, яка може мати тимчасові впливи на компоненти (фактори) довкілля (рис. 11 а,б). Також для об'єктів малої гідроенергетики значну частку впливу спостерігаємо під час етапу експлуатації.

**Висновки.** Пропонуємо на розгляд такі головні висновки:

1. Під час реалізації проектів з відновлюваної енергетики найбільший вплив на довкілля простежується на етапі будівництва електростанції (до 33,94 %) та залежить від її географічного положення, специфіки природних умов, близькості територій природно-заповідного фонду та об'єктів Смарагдової мережі.

2. Реалізація проектів з сонячної енергетики передбачає найбільший вплив на довкілля на етапі будівництва (до 33,94 %) та залежить від географічного положення СЕС, близькості до водних об'єктів, територій природно-заповідного фонду, екомережі, Смарагдової мережі тощо. У цілому, на кожному з етапів реалізації проектів сонячної енергетики вплив оцінено як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу, а на етапі експлуатації – як позитивний.

3. Реалізація проектів з малої гідроенергетики передбачає найбільший вплив на довкілля на етапі будівництва (до 28,52 %) та залежить від географічного положення МГЕС, розташування у межах об'єктів екомережі, Смарагдової мережі, а також гідрологічних характеристик річок. На кожному з етапів реалізації проекту вплив оцінено як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу.

4. На основі проведеного оцінювання впливу виявлено, що найбільший сумарний вплив на всіх етапах життєвого циклу проекту мають об'єкти малої гідроенергетики (300–305 балів), а найменший – об'єкти сонячної енергетики (191–211 балів).

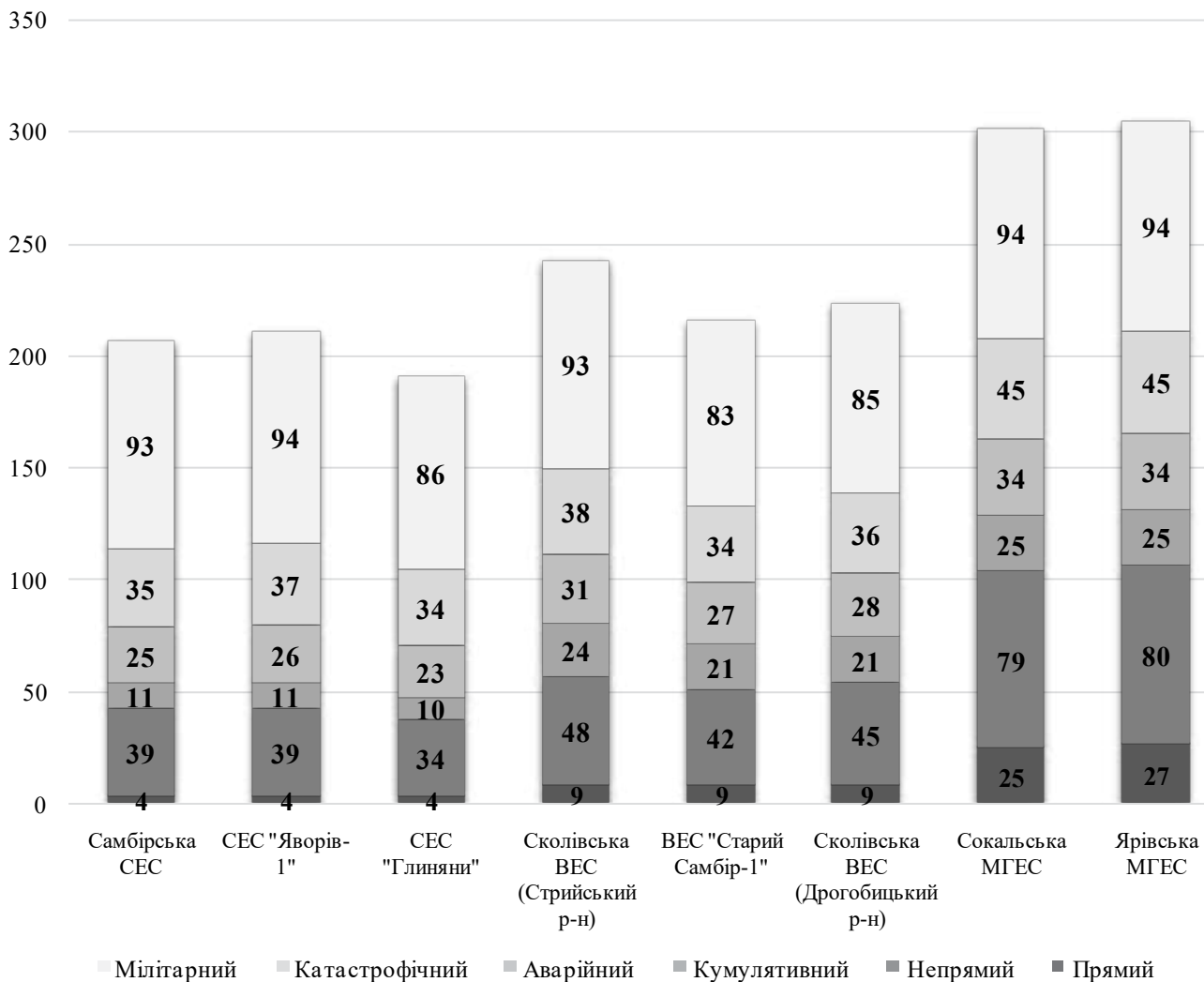


Рис. 7. Сумарне оцінювання типів впливів довкілля на всіх етапах життєвого циклу проектів об'єктів відновлюваної енергетики



Рис. 8. Специфічні екосистеми у районах малих гідроелектростанцій: а) евтрофікація у верхньому б'єфі Сокальської МГЕС; б) скупчення сміття у нижньому б'єфі Явірської МГЕС (фото М. Лопушанської)

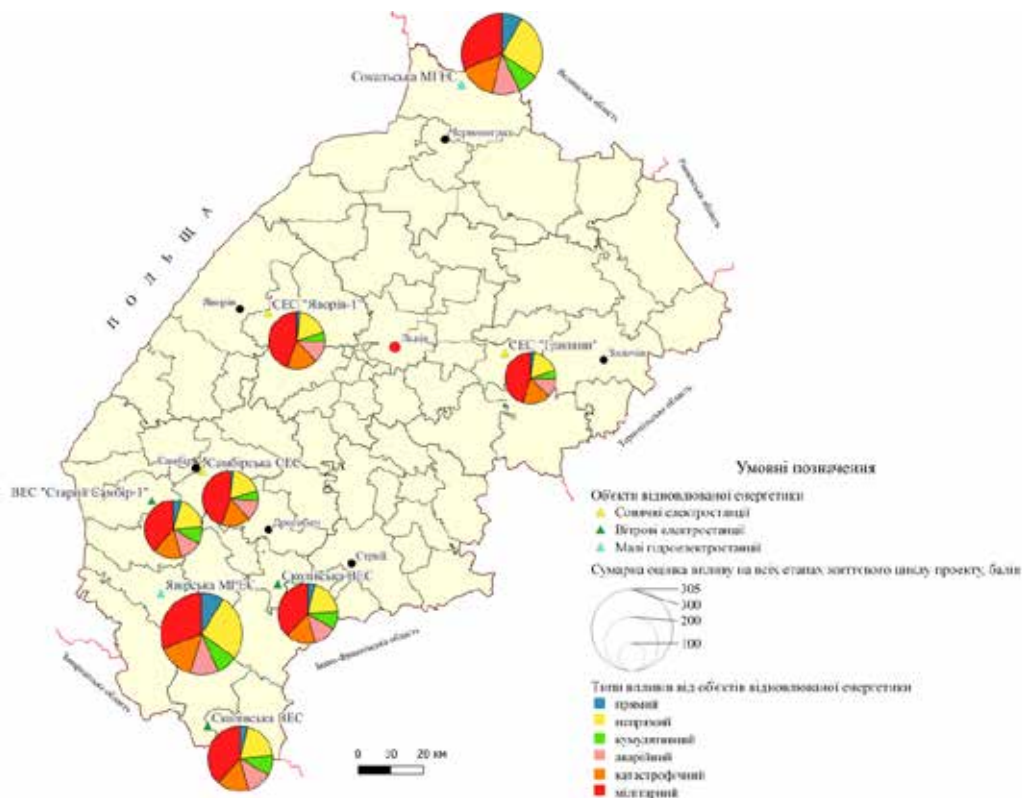


Рис. 9. Сумарне оцінювання типів впливів довкілля на всіх етапах життєвого циклу проектів

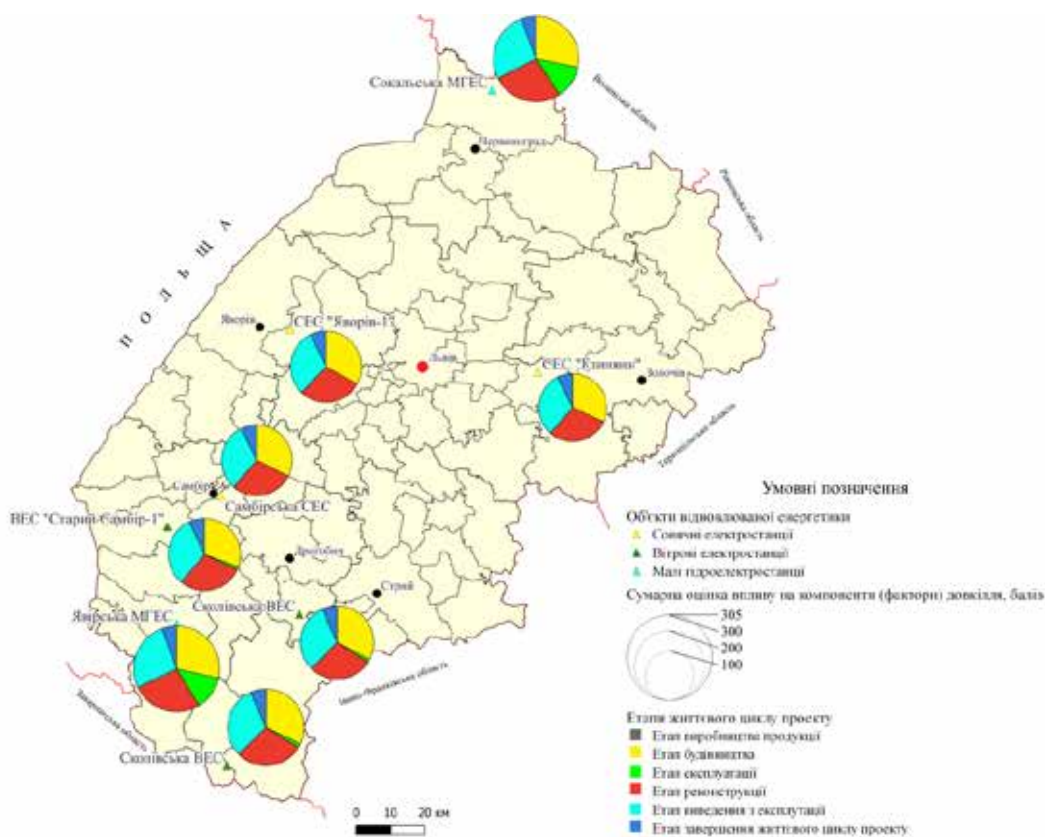


Рис. 10. Сумарні оцінки інтенсивності впливів на компоненти (фактори) довкілля для етапів життєвого циклу проектів



а



б

Рис. 11. Будівництво об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області: а) «СЕС Глиняни»; б) «Сколівська ВЕС» у Дрогобицькому районі (фото М. Лопушанської)

### Література

1. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А., Вижва А.М., Циганок Л.В. Методика оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики (на прикладі об'єктів вітрової енергетики у Львівській області). *Екологічні науки*. 2024. № 1 (52). Т. 1. С. 126–133. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.19>
2. Адаменко Я.О., Архипова Л.М., Москальчук Н.М. Методика екологічної оцінки використання відновлюваних джерел енергії. *Екологічна безпека*. 2015. № 2 (20). С. 37–42. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez\\_2015\\_2\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2015_2_8)
3. Adamenko Ya., Arkhyrova L., Mandryk O., Moskalchuk N. Integral Environmental Impact Assessment of Projects Use Wind Energy. *Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare. Seria D. Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering*. 2015. Vol. XXIX. № 2. P. 89–93.
4. Науково-методичні рекомендації щодо підготовки звіту ОВД при будівництві малої ГЕС (Методичний посібник) / за ред. С.О. Афанасьєва. Київ, 2019. 94 с.
5. Петраков Я.В., Гнедіна К.В. Методика інтегрального оцінювання впливу альтернативної енергетики на навколишнє середовище в умовах нестационарної економіки. *Проблеми економіки*. 2017. № 4. С. 148–155.
6. ДСТУ 8339:2015. Вітроенергетика. Вітроелектростанції. Оцінення впливу вітроелектростанцій на навколишнє середовище. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=62884](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62884)
7. ДБН А.2.2-1:2021. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС). [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=98038](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98038)
8. Про затвердження Загальних методичних рекомендацій щодо змісту та порядку складання звітів з оцінки впливу на довкілля : Наказ Міндовкілля від 15.03.2021 р. № 193. <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkillya-193-vid-15-03-2021/>
9. Геоєкологія Львівської області: монографія / Ю. Андрейчук, Л. Безручко, В. Біланюк та ін. / за заг. ред. С. Іванова. Львів: Простір-М, 2021. 606 с. [https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/Geoecology-of-Lviv-Region\\_2021.pdf](https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/12/Geoecology-of-Lviv-Region_2021.pdf)
10. Львівська область: природні умови та ресурси: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів: В-во Старого Лева, 2018. 592 с. [https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/09/Roslynnyu-pokryv\\_L-vivs-ka-oblast-2018.pdf](https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/09/Roslynnyu-pokryv_L-vivs-ka-oblast-2018.pdf)
11. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Гідрологічні чинники та їхня роль у розвитку відновлюваної енергетики у Львівській області. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 105–113. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.14>
12. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Кліматичні чинники та їхня роль у розвитку сонячної енергетики у Львівській області. *Екологічні науки*. 2022. № 6 (45). С. 54–59. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.9>
13. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Вітрова енергетика у Львівській області та проблеми перероблення непридатних вітрових установок. *Екологічні науки*. 2022. № 2 (41). С. 156–163. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.27>
14. Ivanov Ye., Lopushanska M., Teslovych M. Environmental restrictions of planning the construction of renewable energy facilities in the Lviv region. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022»* (October 3–5, 2022, Lviv, Ukraine). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590068>
15. Фондові матеріали ТОВ «Еко-Оптіма». Львів, 2024.
16. Climate-Data.org. <https://en.climate-data.org>
17. Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/>
18. Global Wind Atlas. <https://globalwindatlas.info/en>
19. Реконструкція існуючого комплексу споруди водозливної греблі у селі Ульвівок Червоноградського району Львівської області з метою будівництва міні-ГЕС потужністю 999 кВт : звіт з оцінки впливу на довкілля. <https://eia.menr.gov.ua/uk/case/id-10082>

УДК 581.55+581.524.34 (477.63)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.19>

## ОСОБЛИВОСТІ ЕКОМОРФІЧНОГО СКЛАДУ УГРУПОВАНЬ РОСЛИН ТЕХНОГЕННИХ ЕКОТОПІВ ВІДВАЛІВ КРИВБАСУ

Маленко Я.В., Кобрюшко О.О., Верба Д.Д.

Криворізький державний педагогічний університет

пр. Університетський, 54, 50086, м. Кривий Ріг

yanamal1971@gmail.com, kaliostro8019@ukr.net, dianaverba30@gmail.com

Відвали гірничозбагачувальних комбінатів – невід’ємний елемент індустріального ландшафту Кривбасу. Кожен з них, як індивідуальний своєрідний конгломерат гірських порід, складне урочище поліекотопічного типу, суміщає в своїх межах серійні угруповання рослин, що мають певний склад і відбивають послідовність (фазність, стадійність, серійність) природного відновлення рослинного покриву. Склад угруповань рослин – своєрідна призма, що відбиває чисельні пристосувальні особливості організмів до існування, виживання та поширення у специфічних умовах техногенних екоотопів. Дослідження складу з деталізацією на рівні окремих урочищ, фондів екоморф та їхнього таксономічного об’єму має теоретичний інтерес і практичне значення для окреслення векторів сучасного флорогенезу, розробки ефективних, зонально доцільних заходів прискорення самозаростання та повернення у господарське використання значних площ порушених земель.

Вивчення екологічного складу рослинних угруповань відвалів «2-3» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», які розташовані у південно-західній зоні Кривбасу, дозволяє констатувати провідну роль у процесах самозаростання рудерантів, рудеральних степантів, степантів і рудеральних пратантів, ксеромезофітів і мезоксерофітів, геліофітів, гемікриптофітів і терофітів, мезотрофів. Співвідношення екоморф у спектрах угруповань різних частин (зон) відвалів варіюють. В угрупованнях різних фаз і стадій самозаростання ємність спектрів екоморф змінюється. Спектри екоморф піонерних угруповань звужені з виразним домінуванням рудерантів, ксеромезофітів і мезоксерофітів, геліофітів, терофітів і гемікриптофітів, мезотрофів. Спектри екоморф серійних угруповань проміжних стадій природного відновлення рослинності розширені. Ємності екоморфічних спектрів медіальних фаз перехідно-степової стадії самозаростання відзначає відносна стабілізація за рахунок зонально притаманних морф. Різні екоморфи мають неоднаковий таксономічний об’єм і спектри. Таксономічні фонди сільвантів, рудеральних сільвантів, галофітів, культурантів, еуксерофітів, геліоціофітів, фанерофітів і хамефітів, паразитів в межах відвалів «2-3» формуються виключно за рахунок представників *Magnoliopsida*. Розширені спектри таксономічного об’єму (за родинами) властиві рудерантам, степантам і рудеральним пратантам, мезоксерофітам і ксеромезофітам, геліофітам, мезотрофам. У процесі розвитку угруповань спектри таксономічного об’єму змінюються (розширюються, звужуються) як за рахунок варіювання співвідношень таксонів, так і внаслідок випадіння чи додавання деяких з них. *Ключові слова*: рослинні угруповання, відвали, техногенні екоотопи, спектр, таксон, екоморфа, таксономічний об’єм екоморф.

### **Peculiarities of ecological composition of plant communities in technogenic ecotopes of Kryvbas dumps. Malenko Ya., Kobriushko O., Verba D.**

Dumps of mining and processing plants are an integral element of the industrial landscape of Kryvbas. Each of them as a unique conglomerate of rock formations is a complex assemblage of polyecotopic type combining within its boundaries serial plant communities that have a certain composition and reflect the sequence (phasicity, seriality) of natural regeneration of vegetation cover. The composition of plant communities is a unique prism reflecting numerous adaptive features of organisms to existence, survival, and spread in the specific conditions of technogenic ecotopes. Studying the composition in detail at the level of individual sites, ecomorph funds, and their taxonomic volume is of theoretical interest and practical significance for delineating the vectors of modern florogenesis, developing effective zonal measures to accelerate self-overgrowth, and return of significant areas of disturbed land to economic use.

Studying the ecological composition of plant communities in the dumps «2-3» of PJSC «ArcelorMittal Kryvyi Rih», located in the southwest zone of Kryvbas, allows us to note the leading role in the processes of self-overgrowth of ruderals, ruderal steppeants, steppeants, and ruderal pratants, xeromesophytes and mesoxerophytes, heliophytes, hemicyptophytes and therophytes, mesotrophs. The ratios of ecomorphs in the spectra of communities of different parts (zones) of dumps vary. In communities of different phases and stages of self-overgrowth, the capacity of ecomorph spectra changes. The spectra of ecomorphs of pioneer communities are narrowed with a dominance of ruderals, xeromesophytes and mesoxerophytes, heliophytes, therophytes, and hemicyptophytes, mesotrophs. The spectra of ecomorphs of serial communities of intermediate stages of natural vegetation regeneration are expanded. The capacities of ecomorphic spectra of medial phases of the transitional-steppe stage of self-overgrowth are characterized by relative stabilization due to zonal morphs. Different ecomorphs have different taxonomic volume and spectra. The taxonomic funds of sylvants, ruderal sylvants, halophytes, culturants, euxerophytes, heliosciohytes, phanerophytes, and hamephytes, parasites within the dumps «2-3» are formed exclusively by representatives of *Magnoliopsida*. Expanded spectra of taxonomic volume (by families) are characteristic of ruderals, steppeants and ruderal pratants, mesoxerophytes and xeromesophytes, heliophytes, mesotrophs. In the process of development of communities, the spectra of taxonomic volume change (expand, narrow) both due to variation in taxon ratios and due to the fall or addition of some of them. *Key words*: plant communities, dumps, technogenic ecotopes, spectrum, taxon, ecomorph, taxonomic scope of ecomorph.

**Постановка проблеми.** Інтенсифікація впливу діяльності людства на навколишнє природне середовище протягом останнього століття призвела на початку третього тисячоліття до чіткого усвідомлення реальності загрози омніциду внаслідок порушення стійкості системи «людина-суспільство-природа» [1, 2]. Сьогодні резолюції ключових міжнародних конференцій і форумів, стратегічні регламентуючі законодавчі акти визначають пріоритет екологічних проблем, розв'язання яких невід'ємна складова забезпечення соціальної стабільності, економічного розвитку, збереження ландшафтного та біологічного різноманіття, середовища існування та сталого розвитку загалом [3, 4].

Техногенез – це об'єктивний, динамічний процес прогресуючої еволюції технологій, що спряжений із антропо-, соціогенезом та відбиває просторово-часову масштабність взаємодій людини, технологій і природи, здобуття цивілізацією вмінь використання речовинно-енергетичних потоків планети і супроводжується трансформацією екологічних систем. Внаслідок нехтування чи незнання фундаментальних законів екології, техногенна діяльність стала потужним фактором трансформації навколишнього природного середовища, екосистем, визначальним чинником формування техногенних екотопів, ландшафтів, основною причиною забруднення навколишнього середовища тощо [5, 6, 7].

Техногенні ландшафти є особливою групою антропогенних ландшафтів, в яких за допомогою техніки, технологій докорінно перебудовуються всі компоненти, включаючи й літогенну основу [8, 9, 10]. В їхніх межах формуються техногенні екотопи, які не мають природних аналогів і розвиваються під впливом низки екзо-ендогенних процесів, комбінації ефектів техногенної генези і природних зональних процесів самовідновлення. Багатоспрямовані дослідження організованості, організації, закономірностей динаміки та розвитку рослинних угруповань техногенних екотопів порушених земель є натеper питанням найважливішого значення, необхідною складовою моніторингу, відправним етапом розробки заходів оптимізації техногенних ландшафтів, збереження біорізноманіття аборигенних видів, попередження інвазій, цілеспрямованої нейтралізації негативних впливів.

**Актуальність дослідження.** Гострота прояву екологічних проблем і кризова екологічна ситуація Криворіжжя, що є унікальним природно-територіальним комплексом, крупним індустріально-промисловим центром, однією з найбільш антропо змінених урбосистем України, районом тривалого посиленого впливу техногенезу на довкілля, визначає актуальність цілеспрямованих досліджень природно та антропо залежної організованості рослинності техногенних екотопів порушених земель, в тому числі, й на основі конкретизації специфіки складу серійних рослинних угруповань відвальних урочищ.

Відвали гірничозбагачувальних комбінатів – невід'ємний елемент індустріального ландшафту Криворізького промислового регіону. Їх кількість перевищує 100 одиниць, площа складає більше 7 тис. га, а об'єм заскладованих порід становить понад 2,5 млрд. м<sup>3</sup> [11, 12]. Кожен з них, як індивідуальний своєрідний конгломерат гірських порід, складне урочище поліфаціального (поліекотопічного) типу, суміщає в своїх межах серійні угруповання рослин, що відбивають послідовність (фазність, стадійність, серійність) відновлення природного рослинного покриву, темпи і спрямованість цього розвитку, засвідчують індикаційну роль рослинності. Існування та розвиток цих угруповань багатообумовлено специфікою техногенних екотопів з великою розбіжністю механічних, фізико-хімічних, термічних, гідрологічних, трофічних властивостей субстратів, рельєфних утворень, залежних від особливостей гірських порід, будови, форми, наявності нано- та мікроутворень, гравітаційних явищ осипання, розвитку вітрової та водної ерозії, орієнтації у просторі техногенного об'єкту, специфіки виробничих циклів складування порід, промислового забруднення, наявних шляхів комунікацій тощо. Найбільш характерними рисами угруповань рослин техногенних екотопів є: несталий таксономічний склад, недостатнє еколого-ценотичне заповнення, структурна спрощеність, мозаїчність, формування простих лінійних чи слабо розгалужених трофічних зв'язків, відносно мала фітомаса, знижена мікробіологічна активність субстратів, суттєва доля у складі синантропних, адвентивних, антропо- і технотолерантних видів (від вузької, обмеженої певною мірою техногенного впливу до широкої (еврітехнобіоти) з різними переходами між ними).

Склад серійних рослинних угруповань – своєрідна призма, що відбиває чисельні пристосувальні особливості організмів до існування, виживання та поширення у специфічних умовах техногенних екотопів [2, 13]. Його дослідження з деталізацією на рівні окремих урочищ і фондів таксонів та екоморф має теоретичний інтерес і практичне значення для окреслення векторів сучасного флорогенезу, розробки ефективних, зонально доцільних заходів керування прискорення природного заростання, шляхів повернення у господарське використання значних площ порушених земель.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження виконувалися на базі лабораторії екологічних та біологічних досліджень кафедри ботаніки та екології Криворізького державного педагогічного університету в межах науково-технічної теми «Рослинність Криворіжжя: структура, динаміка, розвиток» (2022–2027 рр.), зареєстрованої 14.01.2022 р. Українським інститутом науково-технічної експертизи та інформації (державний реє-

страційний номер 0122U000290). Вони вкладаються в проблематику чинного документу «Міська програма вирішення екологічних проблем Кривбасу та поліпшення стану навколишнього природного середовища на 2016–2025 роки» [14].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Проблематика розвитку рослинності порушених земель почала опрацьовуватися науковцями Криворіжжя наприкінці минулого століття, що відображено у низці праць [15, 16, 17, 18, 19]. Результати подальшого наукового пошуку, що окреслюють певні аспекти специфіки техногенних екоотопів [1, 6, 8, 22, 23], потенцій певних видів [23, 24, 25, 26], організованості, форм динаміки та розвитку рослинності відвалів [27, 28, 29, 30, 31, 32, 33], викладено у ряді монографій та статей. Разом з тим, на наш погляд, питання комплексного дослідження складу рослинних угруповань конкретних техногенних урочищ з використанням засад теорії еколого-таксономічних спектрів є перспективним, розширює бачення загальної картини еволюції рослинності на фоні інтенсифікації техногенезу промислового регіону, вимагає розв'язання задля коригування й управління розвитком екологічної ситуації.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на наявність значних напрацювань науковців щодо визначеної проблеми, деякі її аспекти та деталі й натеper залишаються пріоритетними у сучасному науковому дискурсі. Так, перспективним полем цілеспрямованих досліджень доцільно вважати вивчення особливостей складу із встановленням таксономічного об'єму екоморф та екоморфичної смності таксонів рослинних угруповань окремих відвалів регіону.

**Мета дослідження** – визначення особливостей екоморфичного складу та таксономічного об'єму екоморф рослинних угруповань відвалів «2-3» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», які розташовані в південно-західній частині Кривбасу.

**Новизна досліджень** полягає у встановленні специфіки екологічного складу на основі аналізу спектрів таксономічного об'єму екоморф угруповань рослин конкретного відвалу Криворіжжя.

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

Дослідження ґрунтується на застосуванні теорії еколого-таксономічних спектрів угруповань рослин, засади якої були закладені у працях В. І. Шанди, Я. В. Маленко [17, 34, 35]. Аналіз особливостей складу угруповань передбачає встановлення їхньої таксономічної та екологічної дискретності на основі визначення генетичних зв'язків організмів, як таксономічних категорій систематики, та вивчення функціонально-структурної схожості, тобто еволюційно сформованої екоморфичної подібності елементів. Побудова спектрів екоморф і таксономічного об'єму екоморф відображує специфіку організованості, композитність та співвідношення екоморф і таксо-

нів, дозволяє отримувати об'єктивну характеристику екоотопічних умов та відтворювати гіпотетичний склад угруповань, здатних до існування в певних умовах конкретного середовища.

Польові маршрутні та напівстаціонарні дослідження реалізовані в межах відвалів «2-3» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», які розташовані у південно-західній зоні Кривбасу. Відвали розташовані на правому березі річки Інгулець на відстані 0,5 км на південь від селища «Степове» і на захід від селищ «Рахманове» та «Олександродар» (координати 47°47'54"П.Ш., 33°12'59"С.Д., код реєстрації у переліку місць видалення відходів у Дніпропетровській області 12110363300) [11]. Відсіпка відвалів розпочалася з розробкою Новокириворізьким гірничо-збагачувальним комбінатом у 1971 р. кар'єру 2-біс родовища Інгулецької антиклиналі та кар'єру № 3 Валявкінського родовища у 1972 р. Станом на 11.05.2021 р. площа відвалів становила 527,25 га, обсяг складованих порід досягав 750 млн. т., клас екологічної небезпеки місця видалення відходів визначався як «В» (помірно небезпечні). На заході відвалів працює підстанція 35/6, а на північному сході станція залізничної доставки пухких і скельних порід з кар'єрів 2-біс та № 3 «Відвальна». У північно-східній та східній зоні відвалів завдяки екскаваторному способу відвалоутворення здійснюється складування окислених кварцитів з метою їх використання надалі. У відвалах закладовані малорудні кварцити, сланці, безрудні кварцити, пухкі осадові кришні породи кайнозою (лесовидні, суглинки, червоно-бурі глини, піски, вапняки та зеленувато-сірі пластичні глини). Відвали «2-3» належать до залізничних, змішаних за віком відсіпки, великих за площею, смних за об'ємом порід, високих (від 120 м), платоподібних, терасованих, багатоярусних, змішаних за складом порід, неоднорідних за характером поверхні, частково рекультивованих, діючих, складування яких продовжується, змішано (переважно мало-, середньо- та достатньо) рослиннопродатних.

Геоботанічний опис здійснено згідно зі стандартною методикою на ділянках 100 м<sup>2</sup> (10 x 10 м), які на схилах мали видовжену форму 5x 20 м. В якості опірних були використані конспекти видів В. В. Тарасова [36], В. В. Кучеревського, Г. Н. Шоль [37], Я. В. Маленко [17].

**Викладення основного матеріалу.** Рослинний покрив відвалів «2-3» неоднорідний. Загальне покриття поверхні відвалів рослинністю становить приблизно 50,0%. Середнє число видів на 100 м<sup>2</sup> коливається в межах 18–20. Число видів на ділянках 1x1 м<sup>2</sup> варіює від 2 до 12, що складає в середньому 6–8 видів/м<sup>2</sup>. Рослинні угруповання переважної площі відвалів відповідають початковим стадіям сингенезу (піонерній (рудеральній) та пірійній (кореневищних злаків)). Лише на деяких ділянках півніжжя відвалів розвиваються угруповання різних фаз перехідно-степової стадії відновлення рослин-



ного покриву. Суттєва залежність формування та розвитку серійних рослинних угруповань техногенних екотопів від типу, властивостей субстратів, часу закінчення відсіпки ділянок відвалів, яку визначили ще в 1979 році І. А. Добровольський, В. І. Шанда, Н. В. Гаєва [15] як індикаційну, простежується з початкової фази піонерної стадії природного заростання відвалу та є причиною багатоманітності цих рудеральних угруповань. Разом з тим, індикація на практиці значно утруднюється внаслідок неконтрольованих впливів виробничої діяльності людини, контактування та суміщення різноетапних за розвитком ділянок угруповань, що спричиняє блокування розвитку, зворотні сукцесії, зведення та повернення до вихідного стану рослинності. Також досить чітко в межах обстежених відвалів спостерігається залежність формування складу та розвитку серійних рослинних угруповань від процесів стабілізації літологічної основи відвалів, їхньої орієнтації у просторі (експозиційна залежність), рельєфної обумовленості ецезису, потенціалу сусідніх ділянок щодо наявності рослин, здатних до проникнення, виживання, подолання екотопічних бар'єрів специфічних для техногенних екотопів відвальних новоутворень.

Обстеження рослинного покриву відвалів вказує на широке розповсюдження рудерантів, які складають 33,15% ценоморфічного спектру покритонасінних рослин (61 вид). Степантами (степовими рослинами) є 27 видів (14,67%), рудеральними степантами – 34 види (18,48%), пратантами (лучними видами) – 11 види (5,97%), рудеральними пратантатами – 19 видів (10,33%), палюдантатами – 5 видів (2,72%) (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), *Glyceria notata* Chevall., *Alisma plantago-aquatica* L., *Eleocharis palustris* (L.) Roem., *Cicuta virosa* L.), галофітами – 5 видів (2,72%) (*Lactuca saligna* L.), *Tripolium vulgare* Nees, *Melilotus dentatus* Waldst. et Kit., *Atriplex prostrata* Boucher. ex DC., *Gypsophila perfoliate* L.), сільвантатами (лісовими рослинами) – 11 видів (5,97%), рудеральними сільвантатами – 4 види (2,18%) (*Acer negundo* L., *Elaeagnus angustifolia* L., *Galium aparine* L., *Aethusa cynapium* L.), культурантатами (рослинами культурних фітоценозів) – 7 видів (3,81%) (*Aster salignus* Willd., *Camelina sativa* (L.) Crantz, *Medicago sativa* L. і в тому числі чотири культурні сільвантати (*Armeniacas vulgaris* Lam., *Pyrus communis* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Gleditsia triacanthos* L.) (табл. 1).

Залежно від особливостей пристосування до умов зволоження екотопів рослини відвальних новоутворень поділяються на такі групи: еуксерофіти – 5 видів (2,72% загального спектру гігоморф), ксерофіти – 18 видів (9,78%), ксеромезофіти – 69 видів (37,50%), мезоксерофіти – 52 види (28,26%), мезофіти – 32 види (17,38%), мезогірофіти – 4 види (2,18%), гірофіти – 4 види (2,18%). Рослини сухих місцевиростань, до яких належать види перших чотирьох груп, поєднують 144 види (78,26% загаль-

ного гігоморфічного спектру видів угруповань відвалів «2-3»), а рослини, які обирають місцевиростання з надлишком вологи, – лише 8 видів (мезогірофіти та гірофіти) (див. табл. 1).

Дослідження відношення рослин техногенних екотопів відвальних урочищ до умов освітлення вказує на абсолютну перевагу облігатних світлових рослин (геліофітів), які налічують 67,39% спектру геліоморф (124 види). Факультативними світловими рослинами (сціогеліофітами, світло-витривалими видами) є 55 видів (29,89%), а факультативними тіньовими (геліосціофітами) – 5 видів (2,72%) (*Galium aparine* L., *Ulmus minor* Mill., *Aethusa cynapium* L., *Malus sylvestris* Mill., *Leonorus villosus* Desf. ex D'Uvr.). В межах техногенних екотопів обстежених відвалів взагалі відсутні сціофіти (тіньолубиві рослини).

Вивчення складу клімаморф (раункієрівських життєвих форм) рослинних угруповань промислових відвалів дозволяє констатувати, що 76 видів покритонасінних рослин (41,30% клімаморфічного спектру угруповань відвалів) є гемікриптофітами, 65 видів (35,33%) – терофітами, 21 вид (11,41%) – криптофітами, 4 види (2,18%) – хамефітами (*Dianthus deltoides* L., *Kochia prostrata* (L.) Schrad., *Thymus marschallianus* Willd., *Artemisia austriaca* Jacq.), 18 видів (9,78%) – фанерофітами, з яких 3 види нанофанерофіти.

132 види рослинних угруповань техногенних екотопів відвалів «2-3» (71,75% спектру трофоморф) є мезотрофами, 27 видів (14,67%) – мегатрофами, 24 види (13,04%) – оліготрофами. 1 вид (*Cuscuta campestris* Yunck.) – паразит (0,54%).

Порівняльний аналіз ценоморфічних спектрів рослинних угруповань різних частин (зон) обстежених відвалів свідчить, що виразно превалують в усіх спектрах рудеранти, на долю яких припадає 43,08% загального ценоморфічного спектру угруповань схилів, 38,79% – платоподібної площі, 38,30% – ділянок підніжжя, 28,57% – терас. Спектр ценоморф угруповань терас відзначає також

найвища участь степантів (20,41%), пратантів (10,20%), палютантів (4,08%) та культурантів (5,10%). Доля галофітів найбільш вагома у ценоморфічних спектрах плато (2,59%), рудеральних пратантів та рудеральних сільвантів – підніжжя відвалів (відповідно 12,77% та 4,25%), сільвантів – плато, за рахунок ділянок старої відсіпки, та підніжжя (відповідно 6,04% та 5,32%) (табл. 2). Аналіз гігоморфічних спектрів відбиває домінування ксеромезофітів у різних частинах відвалів, на долю яких припадає від 55,32% загального спектру гігоморф угруповань підніжжя, 53,85% – схилів, 49,14% – плато, 47,96% – терас. Найвища участь ксерофітів характеризує спектри гігоморф плато (12,07%) і терас (8,16%), еуксерофітів – підніжжя (4,25%) та терас (4,08%), мезоксерофітів – схилів (21,54%) і терас (15,31%), мезофітів – підніжжя (19,15%) та

Спектри екоморф угруповань рослин техногенних екотопів відвалів «2-3»

Екоморфи		Спектри екоморф	
		абсолютна кількість видів	% від загальної кількості видів
ценоморфи	рудеранти	61	33,15
	степанти	27	14,67
	рудеральні степанти	34	18,48
	пратанти	11	5,97
	рудеральні пратанти	19	10,33
	сільванти	11	5,97
	рудеральні сільванти	4	2,18
	палюданти	5	2,72
	галофіти	5	2,72
	культуранти	7	3,81
гігроморфи	еуксерофіти	5	2,72
	ксерофіти	18	9,78
	ксеромезофіти	69	37,50
	мезоксерофіти	52	28,26
	мезофіти	32	17,38
	мезогігрофіти	4	2,18
	гігрофіти	4	2,18
геліоморфи	геліофіти	124	67,39
	сціогеліофіти	55	29,89
	геліосціофіти	5	2,72
клімаморфи	фанерофіти	18	9,78
	хамефіти	4	2,18
	гемікриптофіти	76	41,30
	криптофіти	21	11,41
	терофіти	65	35,33
трофоморфи	мегатрофи	27	14,67
	мезотрофи	132	71,75
	оліготрофи	24	13,04
	паразити	1	0,54
Загалом		184	100,00

плато (18,11%), мезогігрофітів і гігрофітів – терас (відповідно 4,08% та 3,06%). Суттєву перевагу у спектрах геліоморф усіх частин відвалів мають геліофіти, які становлять від 72,45% загального геліоморфічного спектру угруповань терасованої площі, 76,60 – підніжжя, 76,72% – плато та 78,46% – схилів. Найвагоміша участь сціогеліофітів у спектрах геліоморф терас (25,51%) та плато (22,41%), а геліосціофітів – підніжжя (3,19%) і терас (2,04%). Переважна більшість видів спектрів клімаморф є гемікриптофітами й терофітами. Клімаморфічний спектр угруповань підніжжя відвалів відзначає найвищу участь гемікриптофітів (45,74%) і фанерофітів (13,83%). Хамефіти найчисленніші у спектрах клімаморф угруповань терас (4,08%) і ділянок платоподіб-

ної вершини (2,59%), криптофіти – схилів (10,77%) і плато (10,34%), терофіти – плато (37,93%) та схилів (35,38%). У трофоморфічних спектрах угруповань відвалів лідирують мезотрофи, які складають 57,45% загального спектру трофоморф угруповань підніжжя, 56,04% – плато, 53,85% – схилів, 52,04% – терас. Доля мегатрофів найбільша у трофоморфічних спектрах угруповань платоподібної вершини (34,48%) і терас (32,65%), а оліготрофів – підніжжя (15,95%) і схилів (15,38%). У угрупованнях плато й терас зареєстровано виростання паразиту (відповідно 0,86% та 1,02%).

Слід відзначити, що співвідношення певних екоморф у спектрах змінюється в процесі розвитку серійних рослинних угруповань техногенних еко-

Таблиця 2

## Спектри екоморф серійних угруповань рослин різних частин (зон) відвалів «2-3»

Екоморфи		Спектри екоморф рослинних угруповань різних частин (зон) відвалів							
		підніжжя		схили		тераси		плато	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Ц е н о	рудеранти	36	38,30	28	43,08	28	28,57	45	38,79
	степанти	14	14,89	10	15,38	20	20,41	20	17,24
	рудеральні степанти	13	13,83	7	10,77	11	11,23	15	12,93
	пратанти	4	4,25	5	7,69	10	10,20	8	6,90
	рудеральні пратанти	12	12,77	8	12,31	11	11,23	13	11,21
	сільванти	5	5,32	1	1,54	5	5,10	7	6,04
	рудеральні сільванти	4	4,25	2	3,08	3	3,06	1	0,86
	палюданти	1	1,07	1	1,54	4	4,08	2	1,72
	галофіти	1	1,07	-	-	1	1,02	3	2,59
Г і р о	культуранти	4	4,25	3	4,61	5	5,10	2	1,72
	еуксерофіти	4	4,25	1	1,54	4	4,08	4	3,45
	ксерофіти	7	7,45	3	4,61	8	8,16	14	12,07
	ксеромезофіти	52	55,32	35	53,85	47	47,96	57	49,14
	мезоксерофіти	11	11,70	14	21,54	15	15,31	16	13,79
	мезофіти	18	19,15	10	15,38	17	17,35	21	18,11
	мезогігрофіти	-	-	1	1,54	4	4,08	2	1,72
Г е л і о	гігрофіти	2	2,13	1	1,54	3	3,06	2	1,72
	геліофіти	72	76,60	51	78,46	71	72,45	89	76,72
	сціогеліофіти	19	20,21	14	21,54	25	25,51	26	22,41
К л і м а	геліосціофіти	3	3,19	-	-	2	2,04	1	0,86
	фанерофіти	13	13,83	5	7,69	10	10,20	7	6,04
	хамефіти	2	2,13	1	1,54	4	4,08	3	2,59
	гемікриптофіти	43	45,74	29	44,62	43	43,88	50	43,10
	криптофіти	8	8,51	7	10,77	8	8,16	12	10,34
Т р о ф	терофіти	28	29,79	23	35,38	33	33,68	44	37,93
	мегатрофи	25	26,60	20	30,77	32	32,65	40	34,48
	мезотрофи	54	57,45	35	53,85	51	52,04	65	56,04
	оліготрофи	15	15,95	10	15,38	14	14,29	10	8,62
Загалом	паразити	-	-	-	-	1	1,02	1	0,86
		94	100,00	65	100,00	98	100,00	116	100,00

Примітки: 1 – кількість видів; 2 – відсоток від загальної кількості видів спектру екоморф угруповань техногенних екотопів відвалів.

топів. Угрупованням ініціальних і медіальних фаз піонерної стадії відновлення рослинності властиві звужені екоморфічні спектри, складені переважно рудерантами і рудеральними степантами, ксеромезофітами, геліофітами, терофітами і гемікриптофітами, мезотрофами. Розвиток угруповань в напрямку зонального типу супроводжується розширенням екоморфічних спектрів, їхнім збагаченням як представниками різних екоморф, так і збільшенням кількості видів, здатних витримувати екотопічний добір у специфічних умовах техногенних новоутворень.

Встановлення таксономічного (за класами) об'єму екоморф рослинних угруповань техноген-

них екотопів відвалів «2-3» дозволяє констатувати, що Дводольні складають 88,52% загального спектру таксономічного об'єму рудерантів, 70,37% – степантів, 91,18% – рудеральних степантів, 81,82% – пратантів, 89,47% – рудеральних пратантів, 100,00% – сільвантів, 100,00% – рудеральних сільвантів, 20,00% – палюдантів, 100,00% галофітів, 100,00% – культурантів. На долю Однодольних припадає 11,48% загального спектру таксономічного об'єму рудерантів, 29,63% – степантів, 8,82% – рудеральних степантів, 18,18% – пратантів, 10,53% рудеральних пратантів, 80,00% – палюдантів (рис. 1).

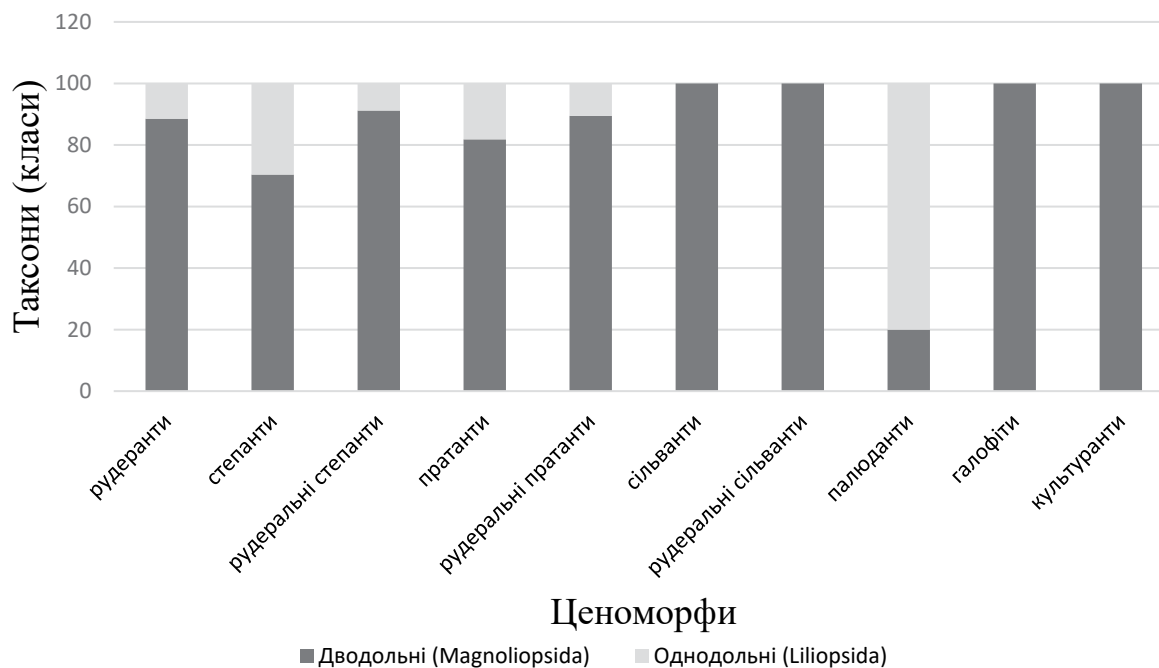


Рис. 1. Спектри таксономічного об'єму ценоморф угруповань відвалів «2-3»

Рудеранти охоплюють представників 19 родин угруповань рослин техногенних екоотопів району дослідження, степанти – 14 родин, рудеральні степанти – 10 родин, пратанти – 6 родин, рудеральні пратанти 11 родин, сільванти – 10 родин, рудеральні сільванти – 4 родин, палюданти 4 родин, галофіти – 4 родин, культуранти – 6 родин. Провідними родинами спектру таксономічного об'єму рудерантів, які охоплюють 38 видів, є: *Asteraceae* – 27,86% (17 видів); *Brassicaceae* – 16,39% (10 видів); *Poaceae* – 11,47% (7 видів); *Chenopodiaceae* – 6,56% (4 види). У спектрі таксономічного об'єму степантів першість за кількістю видів належить таким родинам: *Poaceae* – 25,94% (7 видів); *Asteraceae* – 18,53% (5 видів); *Fabaceae* – 7,41% (2 види); *Lamiaceae* – 7,41% (2 види); *Euphorbiaceae* – 7,41% (2 види). У спектрах таксономічного об'єму рудеральних степантів домінують за кількістю видів родини *Asteraceae* (10 видів; 29,42%), *Brassicaceae* (4 види; 11,77%), *Lamiaceae* (4 види; 11,77%), *Poaceae* (3 види; 8,82%), *Scrophulariaceae* (3 види; 8,82%) (табл. 3).

Аналіз спектрів таксономічного об'єму гідрофітів рослинних угруповань свідчить, що види класу *Magnoliopsida* складають 100,00% спектрів таксономічного об'єму еуксерофітів, 94,23% – мезоксерофітів, 90,63% – мезофітів, 88,89% – ксерофітів, 81,16% – ксеромезофітів, 50,00% – гідрофітів і 25,00% – мезогідрофітів. Рослинам класу *Liliopsida* належить 75,00% спектрів таксономічного об'єму мезогідрофітів, 50,00% – гідрофітів, 18,84% – ксеромезофітів, 11,11% – ксерофітів, 9,37% – мезофітів та 5,77% – мезоксерофітів (рис. 2).

Таксономічний фонд еуксерофітів формують представники 3 родин, ксерофітів – 10 родин, ксеромезофітів – 21 родини, мезоксерофітів – 22 родин, мезофітів – 13 родин, мезогідрофітів – 4 родин, гідрофітів – 3 родин. Спектр таксономічного об'єму еуксерофітів має такий вигляд: *Asteraceae* – 60,00% (3 види); *Chenopodiaceae* – 20,00% (1 вид); *Scrophulariaceae* – 20,00% (1 вид). Провідними родинами спектру таксономічного об'єму ксерофітів є: *Asteraceae* (27,76%; 5 видів); *Brassicaceae* (11,11%; 2 види); *Chenopodiaceae* (11,11%; 2 види); *Boraginaceae* (11,11%; 2 види); *Poaceae* (11,11%; 2 види). Інші 5 родин (*Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Scrophulariaceae*, *Euphorbiaceae*) складають по 5,56% фонду таксонів ксерофітів і представлені лише 1 видом кожна. В спектрі таксономічного об'єму ксеромезофітів провідне значення відіграють такі 5 родин: *Asteraceae* (13 видів; 18,84% загального спектру таксономічного об'єму ксеромезофітів); *Poaceae* (12 видів; 17,39%); *Fabaceae* (7 видів; 10,14%); *Brassicaceae* (6 видів; 8,69%); *Chenopodiaceae* (4 види; 5,79%). 5 родин, які входять до складу фонду ксеромезофітів (*Lamiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Apiaceae*, *Scrophulariaceae*, *Polygonaceae*), містять по 3 види (4,35%) кожна, 1 родини (*Aceraceae*) – 2 види (2,90%), 10 родин (*Euphorbiaceae*, *Solanaceae*, *Cyperaceae*, *Plantaginaceae*, *Crassulaceae*, *Amaranthaceae*, *Oleaceae*, *Rubiaceae*, *Resedaceae*, *Fumariaceae*) – по 1 виду (1,45%). Провідними родинами спектру таксономічного об'єму мезоксерофітів є: *Asteraceae* (7 видів; 13,46%); *Brassicaceae* (7 видів; 13,46%); *Lamiaceae* (5 видів;

9,63%); *Rosaceae* (4 види; 7,69%); *Boraginaceae* (4 види; 7,69%); *Poaceae* (3 види; 5,77%). 6 родин (*Fabaceae*, *Scrophulariaceae*, *Apiaceae*, *Polygonaceae*, *Euphorbiaceae*, *Elaeagnaceae*) наведені 2 видами кожна (відповідно 3,85%), а 9 родин (*Caryophyllaceae*, *Plantaginaceae*, *Crassulaceae*, *Amaranthaceae*, *Ranunculaceae*,

*Ulmaceae*, *Convolvulaceae*, *Dipsacaceae*, *Clusiaceae*, *Caesalpiniaceae*) – по 1 виду кожна (відповідно 1,92%). У спектрах таксономічного об'єму мезофітів першість за участю мають такі родини: *Asteraceae* (12 видів; 37,50%); *Fabaceae* (4 види; 12,50%); *Poaceae* (3 види; 9,38%); *Rosaceae* (3 види; 9,38%); *Salicaceae* (2 види; 6,25%). Ще 8 родин,

Таблиця 3

## Спектри таксономічного об'єму ценоморф угруповань рослин відвалів «2-3»

№	Родини	З. К. В.	Спектри таксономічного (за родинами) об'єму ценоморф									
			Ru		St		RuSt		Pr		PuPr	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	<i>Asteraceae</i>	41	17	27,86	5	18,53	10	29,42	1	9,09	5	26,32
2	<i>Poaceae</i>	23	7	11,47	7	25,94	3	8,82	2	18,18	2	10,53
3	<i>Brassicaceae</i>	16	10	16,39	1	3,70	4	11,77	-	-	-	-
4	<i>Fabaceae</i>	14	-	-	2	7,41	2	5,88	5	45,46	2	10,53
5	<i>Lamiaceae</i>	9	2	3,28	2	7,41	4	11,77	-	-	1	5,26
6	<i>Chenopodiaceae</i>	8	4	6,56	1	3,70	2	5,88	-	-	-	-
7	<i>Rosaceae</i>	7	2	3,28	-	-	-	-	1	9,09	-	-
8	<i>Caryophyllaceae</i>	7	-	-	1	3,70	1	2,94	1	9,09	2	10,53
9	<i>Scrophulariaceae</i>	7	2	3,28	1	3,70	3	8,82	-	-	1	5,26
10	<i>Apiaceae</i>	6	2	3,28	-	-	1	2,94	-	-	1	5,26
11	<i>Boraginaceae</i>	6	2	3,28	1	3,70	2	5,88	-	-	1	5,26
12	<i>Polygonaceae</i>	5	2	3,28	1	3,70	-	-	-	-	2	10,53
13	<i>Euphorbiaceae</i>	4	1	1,64	2	7,41	-	-	-	-	1	5,26
14	<i>Aceraceae</i>	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>Solanaceae</i>	2	2	3,28	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>Cyperaceae</i>	2	-	-	1	3,70	-	-	-	-	-	-
17	<i>Salicaceae</i>	2	1	1,64	-	-	-	-	-	-	-	-
18	<i>Elaeagnaceae</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	<i>Plantaginaceae</i>	2	-	-	-	-	2	5,88	-	-	-	-
20	<i>Crassulaceae</i>	2	-	-	1	3,70	-	-	-	-	1	5,26
21	<i>Amaranthaceae</i>	2	2	3,28	-	-	-	-	-	-	-	-
22	<i>Ranunculaceae</i>	1	1	1,64	-	-	-	-	-	-	-	-
23	<i>Oleaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	<i>Rubiaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	<i>Ulmaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	<i>Convolvulaceae</i>	1	1	1,64	-	-	-	-	-	-	-	-
27	<i>Resedaceae</i>	1	1	1,64	-	-	-	-	-	-	-	-
28	<i>Dipsacaceae</i>	1	-	-	1	3,70	-	-	-	-	-	-
29	<i>Clusiaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	1	9,09	-	-
30	<i>Cuscutaceae</i>	1	1	1,64	-	-	-	-	-	-	-	-
31	<i>Alismataceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	<i>Betulaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	<i>Rhamnaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	<i>Fumariaceae</i>	1	1	1,64	-	-	-	-	-	-	-	-
35	<i>Caesalpiniaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Разом		184	61	100,00	27	100,00	34	100,00	11	100,00	19	100,00

Продовження табл. 3

№	Родини	Спектри таксономічного (за родинами) об'єму ценоморф									
		Sil		RuSil		Pal		Hal		Cult	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	<i>Asteraceae</i>	-	-	-	-	-	-	2	40,00	1	14,29
2	<i>Poaceae</i>	-	-	-	-	2	40,00	-	-	-	-
3	<i>Brassicaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	14,29
4	<i>Fabaceae</i>	1	9,09	-	-	-	-	1	20,00	1	14,29
5	<i>Lamiaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	<i>Chenopodiaceae</i>	-	-	-	-	-	-	1	20,00	-	-
7	<i>Rosaceae</i>	2	18,18	-	-	-	-	-	-	2	28,55
8	<i>Caryophyllaceae</i>	1	9,09	-	-	-	-	1	20,00	-	-
9	<i>Scrophulariaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	<i>Apiaceae</i>	-	-	1	25,00	1	20,00	-	-	-	-
11	<i>Boraginaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>Polygonaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	<i>Euphorbiaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>Aceraceae</i>	1	9,09	1	25,00	-	-	-	-	1	14,29
15	<i>Solanaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>Cyperaceae</i>	-	-	-	-	1	20,00	-	-	-	-
17	<i>Salicaceae</i>	1	9,09	-	-	-	-	-	-	-	-
18	<i>Elaeagnaceae</i>	1	9,09	1	25,00	-	-	-	-	-	-
19	<i>Plantaginaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	<i>Crassulaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	<i>Amaranthaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	<i>Ranunculaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	<i>Oleaceae</i>	1	9,09	-	-	-	-	-	-	-	-
24	<i>Rubiaceae</i>	-	-	1	25,00	-	-	-	-	-	-
25	<i>Ulmaceae</i>	1	9,09	-	-	-	-	-	-	-	-
26	<i>Convolvulaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	<i>Resedaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	<i>Dipsacaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	<i>Clusiaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	<i>Cuscutaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	<i>Alismataceae</i>	-	-	-	-	1	20,00	-	-	-	-
32	<i>Betulaceae</i>	1	9,09	-	-	-	-	-	-	-	-
33	<i>Rhamnaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	14,29
34	<i>Fumariaceae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	<i>Caesalpiniaceae</i>	1	9,09	-	-	-	-	-	-	-	-
РАЗОМ		11	100,00	4	100,00	5	100,00	5	100,00	7	100,00

Примітки: З.К.В. – загальна кількість видів; I – абсолютна кількість видів, II – спектр таксономічного об'єму екоморф (%); Ru – рудерант, RuSt – рудеральний степант, St – степант, Pr – пратант, RuPr – рудеральний пратант, Sil – сільвант, RuSil – рудеральний сільвант, Pal – палютант, Hal – галофіт, Cult – культурант.

які формують спектр таксономічного об'єму мезофітів (*Brassicaceae*, *Chenopodiaceae*, *Solanaceae*, *Caryophyllaceae*, *Aceraceae*, *Cuscutaceae*, *Betulaceae*, *Rhamnaceae*), представлені по 1 виду кожна (3,125%). Спектр таксономічного об'єму мезогідрофітів звужений і має такий вигляд:

*Asteraceae* (1 вид; 25,00%); *Poaceae* (1 вид; 25,00%); *Cyperaceae* (1 вид; 25,00%); *Alismataceae* (1 вид; 25,00%). До складу спектру таксономічного об'єму гідрофітів входять представники лише 3 родин, а саме: *Poaceae* (2 види; 50,00%); *Caryophyllaceae* (1 вид; 25,00%); *Apiaceae* (1 вид; 25,00%).

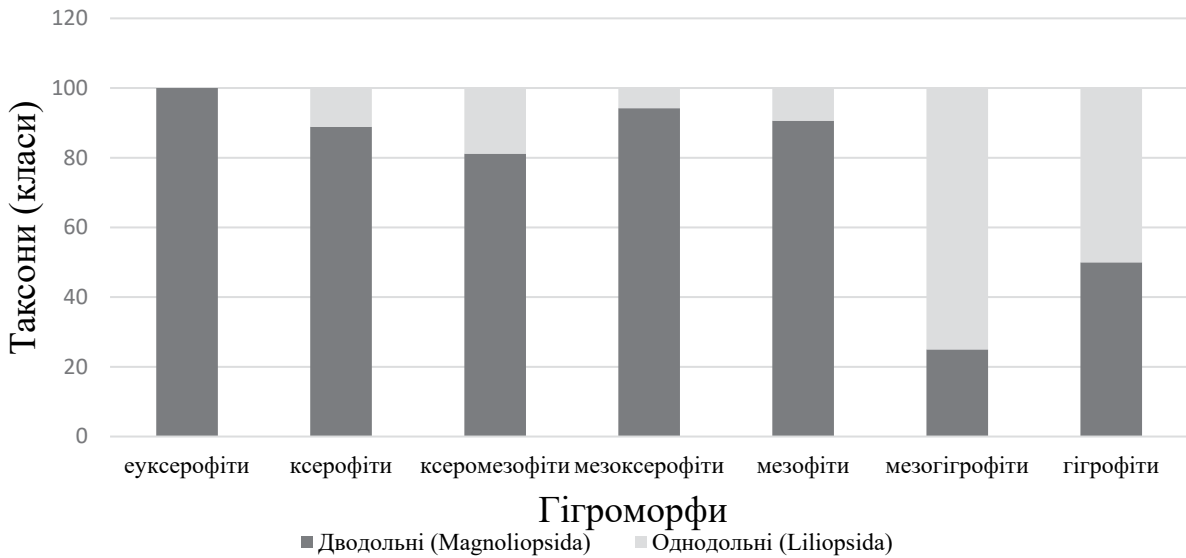


Рис. 2. Спектри таксономічного об'єму гігроморф угруповань рослин відвалів

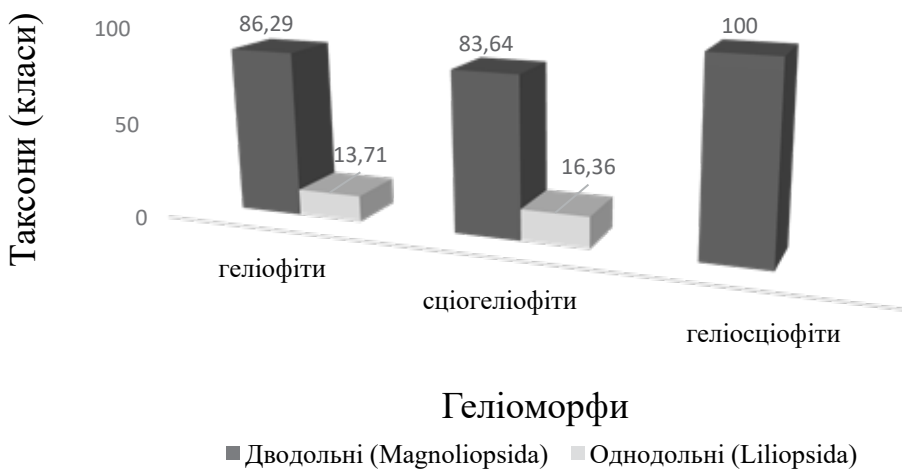


Рис. 3. Спектри таксономічного об'єму геліоморф угруповань рослин відвалів «2-3»

Вивчення таксономічного об'єму геліоморф угруповань відвалів дозволило встановити, що дводольні покритонасінні види формують 100,00% загального спектру таксономічного об'єму геліосціофітів, 86,29% – геліофітів, 83,64% – сціогеліофітів, а однодольні – лише 13,71% спектру таксономічного об'єму геліофітів та 16,36% – сціогеліофітів (рис. 3).

Спектри таксономічного об'єму геліофітів складають представники 26 родин, сціогеліофітів – 23 родин, а геліосціофітів – 5 родин. До родин, що лідирують за участю представників у спектрах таксономічного об'єму геліофітів, належать: *Asteraceae* (31 вид; 25,00%); *Poaceae* (16 видів; 12,90%); *Brassicaceae* (14 видів; 11,29%); *Fabaceae* (11 видів; 8,87%); *Scrophulariaceae* (7 видів; 5,64%); *Chenopodiaceae* (6 видів; 4,84%). Провідними роди-

нами спектру таксономічного об'єму сціогеліофітів є: *Asteraceae* (10 видів (18,18%); *Poaceae* (7 видів; 12,73%); *Lamiaceae* (4 види; 7,28%); *Rosaceae* (4 види; 7,28%); *Fabaceae* (3 види; 7,5,46%); *Caryophyllaceae* (3 види; 7,5,46%). Спектр таксономічного об'єму геліосціофітів формують представники лише 5 родин (табл. 4).

Дослідження таксономічного об'єму кліматорф рослинних угруповань техногенних екотопів відвалів вказує, що види класу *Magnoliopsida* складають 100,00% спектрів таксономічного об'єму фанерофітів, 100,00% – хамефітів, 89,47% – гемікриптофітів, 86,15% – терофітів, 57,14% – криптофітів. На долю видів класу *Liliopsida* припадає 42,86% загального спектру таксономічного об'єму криптофітів, 13,85% – терофітів, 10,53% – гемікриптофітів (рис. 4).

## Спектри таксономічного об'єму геліоморф угруповань рослин відвалів «2-3»

№	Родини	Загальна кількість видів	Спектри таксономічного (за родинами) об'єму геліоморф					
			геліофіти		сціогеліофіти		геліосціофіти	
			I	II	I	II	I	II
1	<i>Asteraceae</i>	41	31	25,00	10	18,18	-	-
2	<i>Poaceae</i>	23	16	12,90	7	12,73	-	-
3	<i>Brassicaceae</i>	16	14	11,29	2	3,63	-	-
4	<i>Fabaceae</i>	14	11	8,87	3	5,46	-	-
5	<i>Lamiaceae</i>	9	4	3,23	4	7,28	1	20,00
6	<i>Chenopodiaceae</i>	8	6	4,84	2	3,63	-	-
7	<i>Rosaceae</i>	7	2	1,61	4	7,28	1	20,00
8	<i>Caryophyllaceae</i>	7	4	3,23	3	5,46	-	-
9	<i>Scrophulariaceae</i>	7	7	5,64	-	-	-	-
10	<i>Apiaceae</i>	6	3	2,41	2	3,63	1	20,00
11	<i>Boraginaceae</i>	6	4	3,23	2	3,63	-	-
12	<i>Polygonaceae</i>	5	3	2,41	2	3,63	-	-
13	<i>Euphorbiaceae</i>	4	3	2,41	1	1,82	-	-
14	<i>Aceraceae</i>	3	1	0,81	2	3,63	-	-
15	<i>Solanaceae</i>	2	2	1,61	-	-	-	-
16	<i>Cyperaceae</i>	2	1	0,81	1	1,82	-	-
17	<i>Salicaceae</i>	2	1	0,81	1	1,82	-	-
18	<i>Elaeagnaceae</i>	2	2	1,61	-	-	-	-
19	<i>Plantaginaceae</i>	2	2	1,61	-	-	-	-
20	<i>Crassulaceae</i>	2	-	-	2	3,63	-	-
21	<i>Amaranthaceae</i>	2	1	0,81	1	1,82	-	-
22	<i>Ranunculaceae</i>	1	1	0,81	-	-	-	-
23	<i>Oleaceae</i>	1	-	-	1	1,82	-	-
24	<i>Rubiaceae</i>	1	-	-	-	-	1	20,00
25	<i>Ulmaceae</i>	1	-	-	-	-	1	20,00
26	<i>Convolvulaceae</i>	1	-	-	1	1,82	-	-
27	<i>Resedaceae</i>	1	1	0,81	-	-	-	-
28	<i>Dipsacaceae</i>	1	-	-	1	1,82	-	-
29	<i>Clusiaceae</i>	1	-	-	1	1,82	-	-
30	<i>Cuscutaceae</i>	1	1	0,81	-	-	-	-
31	<i>Alismataceae</i>	1	-	-	1	1,82	-	-
32	<i>Betulaceae</i>	1	1	0,81	-	-	-	-
33	<i>Rhamnaceae</i>	1	-	-	1	1,82	-	-
34	<i>Fumariaceae</i>	1	1	0,81	-	-	-	-
35	<i>Caesalpiniaceae</i>	1	1	0,81	-	-	-	-
Разом		184	124	100,00	55	100,00	5	100,00

Дослідження таксономічного об'єму клімаморф рослинних угруповань техногенних екотопів відвалів вказує, що види класу *Magnoliopsida* складають 100,00% спектрів таксономічного об'єму фанерофітів, 100,00% – хамефітів, 89,47% – гемікриптофітів, 86,15% – терофітів, 57,14% – криптофітів. На долю видів класу *Liliopsida* припадає 42,86%

загального спектру таксономічного об'єму криптофітів, 13,85% – терофітів, 10,53% – гемікриптофітів (рис. 4).

До складу спектрів таксономічного об'єму терофітів входять 19 родин, гемікриптофітів – 17 родин, фанерофітів – 10 родин, криптофітів – 9 родин, хамефітів – 4 родини. Спектр таксономічного



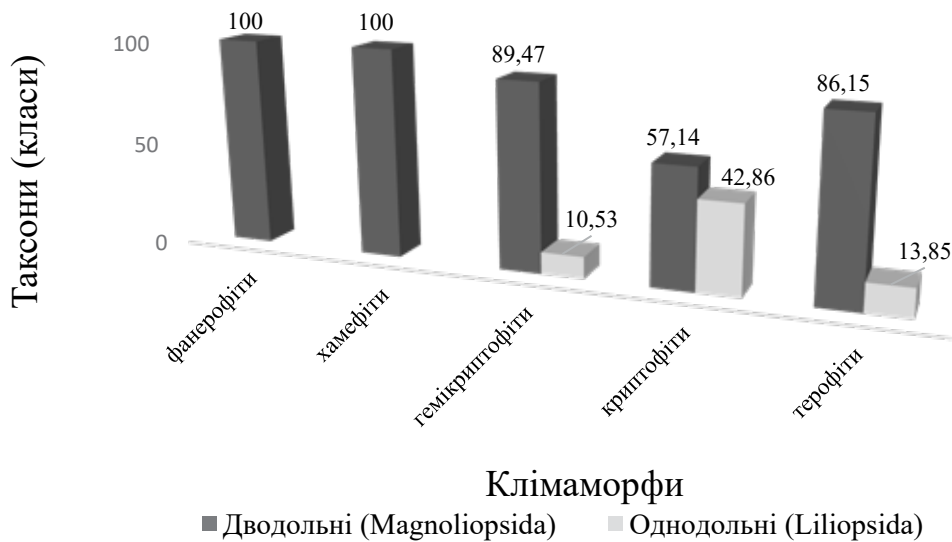


Рис. 4. Спектри таксономічного об'єму клімаморф угруповань відвалів «2-3»

об'єму фанерофітів має такий вигляд: *Rosaceae* (5 видів; 27,78%); *Aceraceae* (3 види; 16,67%); *Salicaceae* (2 види; 11,11%); *Elaeagnaceae* (2 види; 11,11%); *Fabaceae* (1 вид; 5,555%); *Oleaceae* (1 вид; 5,555%); *Ulmaceae* (1 вид; 5,555%); *Betulaceae* (1 вид; 5,555%); *Rhamnaceae* (1 вид; 5,555%); *Caesalpiniaceae* (1 вид; 5,555%). Спектр таксономічного об'єму хамефітів містить 4 родини, а саме: *Asteraceae* (1 вид; 25,00%); *Lamiaceae* (1 вид; 25,00%); *Chenopodiaceae* (1 вид; 25,00%); *Caryophyllaceae* (1 вид; 25,00%). У спектрі таксономічного об'єму гемікриптофітів провідну роль відіграють такі родини: *Asteraceae* (22 види; 28,94%); *Fabaceae* (9 видів; 11,84%); *Poaceae* (7 видів; 9,21%); *Brassicaceae* (6 видів; 7,89%); *Lamiaceae* (5 видів; 6,58%); *Scrophulariaceae* (5 видів; 6,58%); *Caryophyllaceae* (4 види; 5,26%); *Apiaceae* (3 види; 3,95%); *Euphorbiaceae* (3 види; 3,95%). Спектр таксономічного об'єму криптофітів охоплює представників таких родин: *Poaceae* (7 видів; 33,33%); *Asteraceae* (4 види; 19,05%); *Fabaceae* (3 види; 14,29%); *Lamiaceae* (2 види; 9,53%); *Brassicaceae* (1 вид; 4,76%); *Cyperaceae* (1 вид; 4,76%); *Crassulaceae* (1 вид; 4,76%); *Convolvulaceae* (1 вид; 4,76%); *Alismataceae* (1 вид; 4,76%). У спектрі таксономічного об'єму терофітів домінують такі родини: *Asteraceae* (14 видів; 21,54%); *Brassicaceae* (9 видів; 13,85%); *Poaceae* (9 видів; 13,85%); *Chenopodiaceae* (7 видів; 10,77%); *Boraginaceae* (4 види; 6,15%); *Polygonaceae* (3 види; 4,62%); *Apiaceae* (3 види; 4,62%) (табл. 5).

Покритонасінні дводольні рослини угруповань техногенних екопів відвалів «2-3» становлять 81,48% загального спектру таксономічного об'єму мегатрофітів, 85,61% – мезотрофітів; 91,67% – оліготрофітів, 100,00% – паразитів. Однодольним рослинам належить 18,52% загального спектру таксо-

мічного об'єму мегатрофітів, 14,39% – мезотрофітів, 8,33% – оліготрофітів (рис. 5).

Таксономічний фонд мегатрофітів формують види 16 родин; мезотрофітів – 28 родин, оліготрофітів – 12 родин. Спектр таксономічного об'єму паразитів містить лише один вид (*Cuscuta campestris* Yunck) одного роду родини *Cuscutaceae*. У спектрі таксономічного об'єму мезотрофітів перевагу за участю мають такі родини: *Asteraceae* (33 види; 25,00%); *Poaceae* (18 видів; 13,63%); *Brassicaceae* (15 видів; 11,35%); *Lamiaceae* (6 видів; 4,55%); *Rosaceae* (6 видів; 4,55%); *Boraginaceae* (6 видів; 4,55%); *Fabaceae* (5 видів; 4,55%); *Scrophulariaceae* (5 видів; 4,55%); *Apiaceae* (5 видів; 4,55%); *Chenopodiaceae* (4 види; 3,03%); *Caryophyllaceae* (4 види; 3,03%); *Polygonaceae* (4 види; 3,03%). 5 родин (*Euphorbiaceae*, *Aceraceae*, *Salicaceae*, *Elaeagnaceae*, *Amaranthaceae*) наведені 2 видами кожна і складають відповідно кожна по 1,51% загального спектру таксономічного об'єму мезотрофітів, а 11 родин (*Solanaceae*, *Clusiaceae*, *Plantaginaceae*, *Ranunculaceae*, *Convolvulaceae*, *Dipsacaceae*, *Fumariaceae*, *Alismataceae*, *Ulmaceae*, *Rhamnaceae*, *Caesalpiniaceae*) – лише 1 видом (0,76%). Таксономічний фонд мегатрофітів містить представників таких родин: *Fabaceae* (7 видів; 25,93%); *Poaceae* (4 види; 14,83%); *Asteraceae* (2 види; 7,42%); *Lamiaceae* (2 види; 7,42%); *Brassicaceae* (1 вид; 7,42%); *Rosaceae* (1 вид; 7,42%); *Caryophyllaceae* (1 вид; 7,42%); *Apiaceae* (1 вид; 7,42%); *Euphorbiaceae* (1 вид; 7,42%); *Aceraceae* (1 вид; 7,42%); *Solanaceae* (1 вид; 7,42%); *Cyperaceae* (1 вид; 7,42%); *Plantaginaceae* (1 вид; 7,42%); *Oleaceae* (1 вид; 7,42%); *Rubiaceae* (1 вид; 7,42%); *Resedaceae* (1 вид; 7,42%). Спектр таксономічного об'єму оліготрофітів формують види таких родин: *Asteraceae* (6 видів; 25,00%); *Chenopodiaceae* (4 види; 16,66%); *Fabaceae* (2 види; 8,33%); *Caryophyllaceae*

## Спектри таксономічного об'єму кліматоморф угруповань рослин відвалів «2-3»

№	Родини	3. К. В.	Спектри таксономічного (за родинами) об'єму кліматоморф									
			фанерофіти		хамефіти		гемікриптофіти		криптофіти		терофіти	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	<i>Asteraceae</i>	41	-	-	1	25,00	22	28,94	4	19,05	14	21,54
2	<i>Poaceae</i>	23	-	-	-	-	7	9,21	7	33,33	9	13,85
3	<i>Brassicaceae</i>	16	-	-	-	-	6	7,89	1	4,76	9	13,85
4	<i>Fabaceae</i>	14	1	5,555	-	-	9	11,84	3	14,29	1	1,54
5	<i>Lamiaceae</i>	9	-	-	1	25,00	5	6,58	2	9,53	1	1,54
6	<i>Chenopodiaceae</i>	8	-	-	1	25,00	-	-	-	-	7	10,77
7	<i>Rosaceae</i>	7	5	27,78	-	-	2	2,63	-	-	-	-
8	<i>Caryophyllaceae</i>	7	-	-	1	25,00	4	5,26	-	-	2	3,07
9	<i>Scrophulariaceae</i>	7	-	-	-	-	5	6,58	-	-	2	3,07
10	<i>Apiaceae</i>	6	-	-	-	-	3	3,95	-	-	3	4,62
11	<i>Boraginaceae</i>	6	-	-	-	-	2	2,63	-	-	4	6,15
12	<i>Polygonaceae</i>	5	-	-	-	-	2	2,63	-	-	3	4,62
13	<i>Euphorbiaceae</i>	4	-	-	-	-	3	3,95	-	-	1	1,54
14	<i>Aceraceae</i>	3	3	16,67	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>Solanaceae</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3,07
16	<i>Cyperaceae</i>	2	-	-	-	-	1	1,32	1	4,76	-	-
17	<i>Salicaceae</i>	2	2	11,11	-	-	-	-	-	-	-	-
18	<i>Elaeagnaceae</i>	2	2	11,11	-	-	-	-	-	-	-	-
19	<i>Plantaginaceae</i>	2	-	-	-	-	2	2,63	-	-	-	-
20	<i>Crassulaceae</i>	2	-	-	-	-	1	1,32	1	4,76	-	-
21	<i>Amaranthaceae</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3,07
22	<i>Ranunculaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,54
23	<i>Oleaceae</i>	1	1	5,555	-	-	-	-	-	-	-	-
24	<i>Rubiaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,54
25	<i>Ulmaceae</i>	1	1	5,555	-	-	-	-	-	-	-	-
26	<i>Convolvulaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	1	4,76	-	-
27	<i>Resedaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,54
28	<i>Dipsacaceae</i>	1	-	-	-	-	1	1,32	-	-	-	-
29	<i>Clusiaceae</i>	1	-	-	-	-	1	1,32	-	-	-	-
30	<i>Cuscutaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,54
31	<i>Alismataceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	1	4,76	-	-
32	<i>Betulaceae</i>	1	1	5,555	-	-	-	-	-	-	-	-
33	<i>Rhamnaceae</i>	1	1	5,555	-	-	-	-	-	-	-	-
34	<i>Fumariaceae</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,54
35	<i>Caesalpiniaceae</i>	1	1	5,555	-	-	-	-	-	-	-	-
Разом		184	18	100,00	4	100,00	76	100,00	21	100,00	65	100,00

(2 види; 8,33%); *Scrophulariaceae* (2 види; 8,33%); *Crassulaceae* (2 види; 8,33%); *Poaceae* (1 вид; 4,17%); *Lamiaceae* (1 вид; 4,17%); *Polygonaceae* (1 вид; 4,17%); *Euphorbiaceae* (1 вид; 4,17%); *Cyperaceae* (1 вид; 4,17%); *Betulaceae* (1 вид; 4,17%).

**Головні висновки.** Вивчення екологічного складу рослинних угруповань відвалів «2-3» ПАТ

«АрселорМіттал Кривий Ріг» дозволяє констатувати наступні його особливості: 1) перевага у складі серійних рослинних угруповань техногенних екотопів трав'янистих покритонасінних видів; 2) вагома роль у відновленні рослинності техногенних новоутворень трав'янистих багаторічників та однорічників; 3) провідна роль у процесах

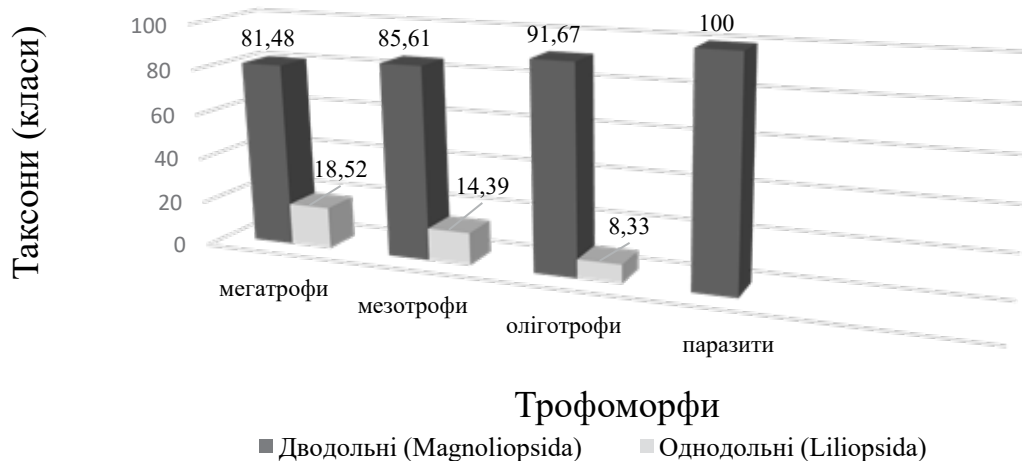


Рис. 5. Спектри таксономічного об'єму трофоморф угруповань відвалів «2-3»

самозаростання рудерантів, рудеральних степантів, степантів і рудеральних пратантів; 4) домінування в спектрах гігморф ксеромезофітів і мезоксерофітів; 5) значущість у формуванні складу серійних угруповань геліофітів; 6) високий відсоток участі у спектрах клімаморф угруповань відвалів гемікриптофітів і терофітів; 7) найважливіша роль у процесах природного розвитку рослинності мезотрофів; 8) варіювання співвідношень екоморф у спектрах угруповань різних частин (зон) відвалів; 9) зміни ємності спектрів екоморф (розширення, звуження) в угрупованнях різних фаз і стадій самозаростання; 10) звужені спектри екоморф піонерних угруповань з виразним домінуванням рудерантів, ксеромезофітів і мезоксерофітів, геліофітів, терофітів і гемікриптофітів, мезотрофів; 11) розширені спектри екоморф серійних угруповань проміжних стадій природного відновлення рослинності; 12) відносна стабілізація ємності екоморфічних спектрів медіальних фаз перехідно-степової стадії самозаростання за рахунок зонально притаманних морф; 13) різні екоморфи мають неоднаковий таксономічний фонд і спектри; 14) таксономічні фонди сільвантів, рудеральних сільвантів, галофітів, культурантів, еуксерофітів, геліосціофітів, фанерофітів і хамефітів, паразитів в межах обстежених відвалів формується виключно за рахунок представників *Magnoliopsida*; 15) розширені спектри таксономічного об'єму (за родинами) властиві рудерантам, степантам і рудеральним пратантам, а звужені – палютантам, рудеральним сільвантам і галофітам. Найвагомий внесок у їхнє формування відзначає родини Айстрові, Бобові, Злакові, Гвоздичні, представники яких входять до складу фондів різних екоморф; 16) найбільш ємні за кількістю родин спектри таксономічного об'єму мають мезоксерофіти та ксеромезофіти, а звужені притаманні гігрофітам, еуксерофітам і мезогігрофітам. Вирішальну роль у формуванні спектрів так-

сономічного об'єму більшості екоморф відіграють родини Айстрові, Злакові, Гвоздичні, Капустяні, Бобові, Лободові та Ранникові; 17) спектри таксономічного об'єму геліофітів мають найвищу ємність, а геліосціофітів найнижчу. Родини Губоцвіті, Розові та Зонтичні беруть участь у формуванні фонду всіх зареєстрованих в угрупованнях відвалів геліоморф; 18) терофіти і гемікриптофіти мають розширені спектри таксономічного об'єму за складом родин, а хамефіти – звужені. Представники родин Айстрові, Бобові, Губоцвіті, Лободові, Гвоздичні та Злакові належать до фондів більшості клімаморф рослинних угруповань відвалів; 19) мезотрофи характеризуються розширеними спектрами таксономічного об'єму. Представники родин Айстрові, Злакові, Бобові, Гвоздичні та Губоцвіті беруть участь у формуванні спектрів таксономічного об'єму більшості трофоморф; 20) в процесі розвитку угруповань спектри таксономічного об'єму змінюються (розширюються, звужуються) як за рахунок варіювання співвідношень таксонів, так і внаслідок випадіння чи додавання деяких з них; 21) спектри таксономічного об'єму екоморф як комплексні показники особливостей таксономічного та екологічного складу рослинних угруповань, специфіки екологічних умов техногенних екоотопів можуть використовуватися в процесі обґрунтування заходів фіторекультиваци порушених земель, оптимізації техногенних ландшафтів, збереження та охорони аборигенної флори, екологічного прогнозування та моніторингу.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Визначення таксономічного об'єму екоморф розширює можливості комплексного аналізу складу рослинних угруповань як аргументу існування, розвитку та розподілу організмів різних таксонів і життєвих форм на фоні специфічних умов, простору і часу. Екоморфічні спектри та спектри таксономічного об'єму екоморф, як інтегровані показ-

ники таксономічної та екологічної структурованості, організованості угруповань, здатні характеризувати умови середовища та потенції таксонів і життєвих форм. Вони можуть бути використані для індикації умов техногенних екотопів, діагностики та про-

гнозуванні напрямів розвитку рослинності, стану і тенденцій змін аборигенної флори, в якості надійної опори моніторингу, розробки екологічно й економічно ефективних і зонально доцільних заходів оптимізації та окультурення порушених земель.

### Література

1. Теоретичні проблеми біогеоценології: колективна монографія / В. І. Шанда, С. О. Євтушенко, Н. В. Ворошилова, Л. В. Шанда, Я. В. Маленко, О. О. Кобрюшко; наук. ред. Н. А. Білова. Кривий Ріг: Криворізький державний педагогічний університет. Видавець Чернявський Д.О., 2020. 330 с. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/4077>.
2. Маленко Я. В., Ворошилова Н. В., Кобрюшко О. О. Проблеми фундаментальної екології: курс лекцій / за ред. Я. В. Маленко. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 195 с. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/7894>.
3. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради*. 2019. № 16. ст.70. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
4. Про цілі сталого розвитку України на період до 2030: Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019. Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>.
5. Шанда В. І., Ворошилова Н. В., Шанда Л. В. Техногенез і надзвичайні екологічні ситуації. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя, 2010. Вип 15. № 1. С. 29–37. URL: <https://sites.znu.edu.ua/bioindication/issues/2010-15-1/4.pdf>.
6. Шанда В. І. Теоретичні проблеми екології та біогеоценології: монографія. Кривий Ріг: Вид. Р. А. Козлов, 2013. 247 с. URL: <https://doi.org/10.31812/123456789/4871>.
7. Чепіжко О. В., Кадурін В. М., Кадурін С. В. Техногенно-геологічні системи і управління надкористування / за ред. О. В. Чепіжко. Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2019. 324 с.
8. Денисик Г. І., Задорожня Г. М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу. Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2013. 220 с.
9. Сметана О. М., Перерва В. В. Біогеоценотичний покрив ландшафтно-техногенних систем Кривбасу. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2007. 290 с.
10. Малахов І. М. Геологічне середовище антропогенної екосистеми. Техногенез у геологічному середовищі. Кривий Ріг: Оксан-Принт, 2003. 252 с.
11. Реєстр місць видалення відходів у Дніпропетровській області: офіційний сайт Дніпропетровської обласної державної адміністрації. URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/EKOLOGIA/MVV-REESTR-20-08-2021.pdf>.
12. Красова О. О., Павленко А. О. Трансформація технотопів та територіальний розподіл екотопічних структур на залізрудних відвалах Кривбасу. *Екологічні науки*. 2022. № 4 (43). С. 88–93. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.14>.
13. Шанда В. І., Маленко Я. В., Ворошилова Н. В., Шанда Л. В. До теорії складу біогеоценозу. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя, 2014. вип. 19. № 1. С. 3–13.
14. Про затвердження Міської програми вирішення екологічних проблем Кривбасу та поліпшення стану навколишнього природного середовища на 2016–2025 роки. URL: [https://kr.gov.ua/ua/news/pg/200320280385205\\_n/](https://kr.gov.ua/ua/news/pg/200320280385205_n/).
15. Добровольський І. А., Шанда В. І., Гаєва Н. В. Характер і напрямки сингенезису в техногенних екотопах Кривбасу. *Укр. ботан. журн.* 1979. Т. 36, № 6. С. 524–541.
16. Рева С. В. Аделопатичні аспекти формування рослинних угруповань відвалів Криворізького басейну: автореф. дис. канд. біол. наук.: 03.00.16. Дніпропетровськ, 1994. 18 с.
17. Маленко Я. В. Особливості таксономічного та екологічного складу рослинних угруповань відвалів південно-західної зони Кривбасу: дис. канд. біол. наук.: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2001. 357 с.
18. Хлизіна Н. В. Літофільні угруповання Криворізького залізрудного басейну: екологія, типологія, динаміка: автореф. дис. канд.біол. наук.: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2004. 20 с.
19. Сметана М. Г. Синтаксономія степової та рудеральної рослинності Криворіжжя. Кривий Ріг: Вид-во «І. В. І.», 2002. 132 с.
20. Кучеревський В. В., Шоль Г. Н. Анотований список урбанofлори Кривого Рогу. Кривий Ріг: Вид-во «І.В.І.», 2003. 52 с.
21. Красова О. О., Павленко А. О. До класифікації технотопів Криворізького регіону: об'єкти гірничо-видобувної промисловості. *Класифікація рослинності та біотопів України*: мат. науково-теоретичної конф. Київ, 2018. С. 103–108.
22. Ворошилова Н. В. Аналіз сукцесійних систем рослинності техногенних екотопів. *Ґрунтознавство*, 2009. Т.10. № 1–2. С. 71–81.
23. Данильчук Н. М. Життєздатність видів роду *Populus* L. на залізрудних відвалах Криворіжжя: дис. канд. біол. наук.: 03.00.16. Львів, 2021. 165 с.
24. Петрушкевич Ю. М. Життєздатність *Betula pendula* Roth в умовах Криворіжжя: дис. канд. біол. наук.: 03.00.16. Дніпро, 2021. 248 с.
25. Красноштан О. В. Еколого-біологічні детермінанти успішності зростання видів роду *Pinus* L. на залізрудних відвалах Криворіжжя: дис. канд. біол. наук.: 03.00.16. Дніпро, 2019. 182 с.
26. Белік Ю. В., Савосько В. М., Лихолат Ю. В. Таксономічний склад та синантропна характеристика деревно-чагарникових угруповань Петровського відвалу (Криворіжжя). *Екологічний вісник Криворіжжя*. 2019. Вип. 4. С. 104–113. URL: <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2565>.
27. Маленко Я. В. Специфіка спектрів видів полірегіональної групи ареалів угруповань рослин техногенних екотопів. *Екологічний вісник Криворіжжя*. 2018. Вип.3. С. 8–23. URL: <https://doi.org/10.31812/ecobulletinkrd.v3i.6814>.
28. Маленко Я. В. Специфіка спектрів видів давньосередземноморської групи ареалів угруповань рослин техногенних екотопів Криворіжжя. *Екологічний вісник Криворіжжя*. 2019. Вип. 4. С. 22–40. URL: <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2558>.

29. Миснік К. О., Маленко Я. В. Організованість та розвиток рослинності відвалу «Лівобережний». *Екологічний вісник Криворіжжя*. 2019. Вип.4. С. 114–121. URL: <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2570>.
30. Ярков С. В. Сингенез рослинних угруповань у ландшафтах зон техногенезу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук.: спец. 11.00.01. Київ, 2010. 23 с.
31. Денисик Г. І., Ярков С. В., Казаков В. Л. Сингенез рослинного покриву в ландшафтах зон техногенезу: монографія. Вінниця; Кривий Ріг: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2012. 238 с.
32. Красова О. О., Павленко А. О. Територіальна диференціація рослинного покриву старовікових відвалів Кривбасу. *Екологічний вісник Криворіжжя*. 2022. Вип. 7. С. 44–59. URL: <https://doi.org/10.31812/ecobulletinkrd.v7i.7655>.
33. Чипиляк Т. Ф., Зубровська О. М., Шоль Г. Н. Рослини в урботехногенному середовищі степової зони України. Київ: Талком, 2022. 390 с.
34. Шанда В. І., Маленко Я. В. Теоретичні аспекти вивчення еколого-таксономічних спектрів (ЕТС) серійних угруповань. *Проблеми фундаментальної екології: структура угруповань* : матеріали I Всеукр. конф., м. Кривий Ріг 9–10 грудня 1996 р. Кривий Ріг, 1996. ч. I. С. 28–30.
35. Маленко Я. В. Еколого-таксономічні спектри – комплексні показники організованості складу рослинних угруповань. *Formation of innovative potential of world science: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the I International Scientific and Theoretical Conference*. Tel Aviv, 2021. Vol. 1. Pp. 115–120. URL: <https://doi.org/10.36074/scientia-07.05.2021>.
36. Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біолого-екологічна характеристика видів: монографія. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2005. 276 с.
37. Кучеревский В. В., Шоль Г. Н. Анотований список урбанofлори Кривого Рогу. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009. 71 с.

## БЛАГОУСТРІЙ ВОДОЙМ МІСТА КИЄВА ДЛЯ ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОСИСТЕМ

Атаєв С.В.<sup>1</sup>, Нестер А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»  
вул. Шевченка, 14, 35600, м. Дубно, Рівненська область

<sup>2</sup>Хмельницький національний університет  
вул. Інститутська, 11, 29000, м. Хмельницький  
[atajev@ukr.net](mailto:atajev@ukr.net), [nesteranatol111@gmail.com](mailto:nesteranatol111@gmail.com)

Розглядаються екологічні наслідки благоустрою прибережних захисних смуг та акваторій міських водойм Києва, які активно використовуються для потреб рекреації. Аналізуються тимчасові та постійні (незворотні у часі) зміни природних об'єктів, процесів та явищ в районі розташування озер Буревісник-Корольок та Синє, ставків Пущі-Водиці на р. Котурка, заплавної озера р. Почайна на фоні будівництва нових та реконструкції існуючих об'єктів благоустрою у прибережній зоні водойм, розчищення акваторій від зайвої рослинності та нашарувань мулу, зведення берегоукріплювальних споруд, зміни режиму живлення та морфометричних характеристик водойм. Встановлено, що до деградації екосистем міських водойм призводять зміни гідрогеологічних процесів, втрата водності та порушення режиму живлення водойм, кліматичні фактори, загибель гідробіонтів внаслідок кисневого голодування та порушення зв'язків у ланцюгах живлення. Відсутність раціонально обгрунтованого втручання у стан міських водойм, для яких характерні ознаки деградаційних процесів, може призвести до постійних (незворотних у часі) негативних змін у екосистемах, заболочування, висихання або поступового зникнення водойм. Найбільший вплив на перебіг процесів у системах «прибережна смуга-водойма» серед ефектів антропогенного втручання у стан міських водойм має розчищення та днопоглиблення. Окрім прямого механічного втручання у середовище існування, міграції та розмноження гідробіонтів, зменшення кількості та щільності їх популяцій, благоустрій міських водойм викликає тимчасові зміни мутності води. Розчищення та днопоглиблення водойм викликають короткострокові негативні зміни якості води та умов існування живих організмів, морфометричних параметрів, режиму живлення тощо, при цьому наступні довгострокові зміни сприяють наближенню процесів у екосистемах водойм до природних. *Ключові слова:* водойма, прибережна смуга, акваторія, днопоглиблення, мутність води, морфометричні характеристики, втрати біоресурсів.

### **Improvement of water bodies in Kyiv to support the functioning of ecosystems. Atayev S., Nester A.**

The article considers the environmental consequences of the improvement of coastal protective strips and water areas of Kyiv's urban water bodies, which are actively used for recreation. The paper analyzes temporary and permanent (irreversible in time) changes of natural objects, processes and phenomena in the area of Burevisnyk-Korolyok and Syne lakes, Pushcha-Vodytsia ponds on the Koturka River, floodplain lakes on the Pochayna River against the background of construction of new and reconstruction of existing facilities in the coastal zone of water bodies, removal of excessive vegetation and silt layers, construction of coastal protection structures, changes in the nutrient regime and morphometric characteristics of water bodies. It has been established that the degradation of urban water ecosystems is caused by changes in hydrogeological processes, loss of water content and disruption of the water supply regime, climatic factors, death of aquatic organisms due to oxygen starvation, and disruption of links in the food chain. The lack of rationally justified intervention in the state of urban water bodies characterized by signs of degradation processes may lead to permanent (irreversible in time) negative changes in ecosystems, waterlogging, drying up or gradual disappearance of water bodies. Among the effects of anthropogenic interventions in urban water bodies, clearing and dredging have the greatest impact on the course of processes in the coastal strip-water body system. Clearing and dredging of water bodies causes short-term negative changes in water quality and living conditions, morphometric parameters, nutrition, etc., while subsequent long-term changes help to bring processes in water body ecosystems closer to natural ones. *Key words:* water body, coastline, water area, dredging, water turbidity, morphometric characteristics, loss of biological resources.

**Постановка проблеми.** Об'єкти поверхневих вод в межах території населених пунктів є невід'ємною складовою урбоекосистеми, слугують важливим рекреаційним ресурсом для населення, виконують роль резервату біотичного різноманіття, приймають дощові стоки із прилеглих територій, які акумулюють більшість забруднень із поверхні водозбору, а у окремих випадках – господарсько-побутові стічні води, що переобтяжені органікою. На фоні процесів

урбанізації водні об'єкти можуть втрачати нормальний стан.

**Актуальність дослідження.** Розташування водойм в межах території великих міст, зокрема м. Києва, регулярно супроводжується втратою якості води та погіршенням умов існування живих організмів [1, 2]. Історичне розташування м. Києва на місцевості із складним рельєфом, значні площі незручних для забудови територій, особливості міського

планування сприяли збереженню у складі урбоєкосистеми природних ландшафтів із водоймами. Але, останнім часом, водойми руйнуються внаслідок забудови, а ті водойми, які вдається зберегти, потерпають від рекреаційного тиску. На фоні людського фактору до деградації екосистем водойм призводять зміни гідрогеологічних процесів, втрата водності та порушення режиму живлення водойм, кліматичні фактори, загибель гідробіонтів внаслідок кисневого голодування тощо. У такій ситуації важливо підтримувати функціонування водойм в умовах, наближених до природних.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Покращення санітарного стану міських водойм є важливим кроком для їх збереження, а поліпшення умов благоустрою в межах санкціонованих територій для відпочинку людей являється одним із механізмів підтримки гомеостазу екосистем. Відповідно до ДБН Б.2.2-5:2011 «Благоустрій територій» [3] до об'єктів благоустрою, які потребують періодичної підтримки нормального стану, відносяться прибережні захисні смуги водойм. В залежності від того, в якому стані перебуває прибережна зона водойми, як вона використовується населенням, можна робити висновки про стан її акваторії. Оцінюючи та прогножуючи стан водойми, необхідно розуміти, що водні об'єкти разом з їх водозбірними басейнами – складні взаємопов'язані системи. Зміни на водозборі неодмінно призведуть до змін у водоймі. У випадку розташування водойми в межах урбоєкосистеми саме функціонування міста (інфраструктура, населення, промисловість тощо) формує її стан, впливає на природні процеси та явища.

Роботи по благоустрою міських водойм згідно ДБН Б.2.2-5:2011 «Благоустрій територій» [3] спрямовані і на поліпшення стану їх акваторій. У системі «прибережна смуга- водойма» важливо підтримувати нормальний стан прибережної зони, формувати доступ населення до водного об'єкту та

реалізовувати його санітарні потреби під час відпочинку. Безпечне перебування людей в районі водойм залежить від гідрологічних процесів, якості води, наявності нормальних умов водообміну, допустимих умов існування гідробіонтів і т.д. Покращуючи санітарний стан водойми, яка використовується для потреб рекреації, впливаючи на її гідрологічні процеси, стан екосистеми, ми можемо сприяти не лише безпечному перебуванню людей, але і підтримувати здатність водойми протистояти зовнішнім факторам із урахуванням рекреаційного тиску.

Практика показує, що відсутність раціонально обгрунтованого та вчасного втручання у стан міських водойм може викликати їх поступову деградацію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відповідно до Водної стратегії м. Києва 2018–2025 рр., що розроблена КП «Плесо» [4], на території міста налічується близько п'ятисот водойм. Одним із водних об'єктів, що являється об'єктом благоустрою на території м. Києва у Подільському районі, є озеро природного походження – оз. Синє (рис. 1). Озеро Синє льодяникового походження, а тому його збереження має і наукове значення. Озеро активно використовується для рекреації. За останні 40 років озеро сильно обміліло. Основними природними причинами розвитку таких деградаційних процесів, на думку спеціалістів [4], є підвищення середньорічної температури повітря, що сприяє збільшенню випаровування, та замулення підземних джерел живлення. Антропогенним чинником розвитку деградаційних процесів у водоймі слід вважати водопониження прилеглих (буферних) територій для потреб житлової забудови та автомобільних доріг. Стан водойми, особливо у літній період, за рахунок зменшення концентрації розчиненого кисню потребує меліоративного втручання, збереження унікальної екосистеми та благоустрою прибережної смуги.

Задача поліпшення санітарного стану оз. Буревісник-Корольок (рис. 2) була окреслена як одна із задач охорони і раціонального використання вод-



Рис. 1. Район розташування оз. Синє у Подільському районі м. Києва



Рис. 2. Район розташування оз. Буревісник-Корольок у Дарницькому районі м. Києва

них ресурсів м. Києва відповідно до Комплексної міської цільової програми екологічного благоулуччя міста Києва на 2019–2021 рр. Довжина водойми 380 м, ширина 95 м, площа по урізу води 31442 м<sup>2</sup>. Озеро має рекреаційний характер використання хоча і межує із виробничою інфраструктурою. Враховуючи існуючий рівень заболоченості акваторії, падіння середньої глибини водойми під час ретроспективної забудови територій, виникла потреба у розчищенні водойми та реалізації робіт із благоустрою прибережної захисної смуги. Захисту від руйнування потребувала берегова лінія із облаштуванням габіонних конструкцій.

До об'єктів благоустрою у Оболонському районі м. Києва відносять каскад штучних водойм (ставків) на річці Котурка, яка протікає по території парку Пуща-Водиця. Роботи по покращенню гідрологічного стану ставків Миський та Горащиха шляхом розчищення та днопоглиблення, благоустрою прибережної території виконувалися відповідно до Розпорядження Київської міської державної адміністрації від 11.07.2018 № 1215. Благоустроєм ставків Миський та Горащиха окрім розчищення водойм передбачав капітальний ремонт водоскидів (рис. 3 та 4). Роботи із капітального ремонту підпирних захисних стінок ставків та конструкцій шахтних водоскидів земляних дамб були пов'язані, у першу чергу, із старінням гідроспоруд та втратою надійності регулювання рівнів води. При заміні конструкцій водоскидів планувалося часткове спорознення ставків, що, у свою чергу, вплинуло на стан їх екосистем, основні функції гомеостазу.

Площа прибережної захисної смуги ставка Миський становить 1,32 га, площа водного плеса – 2,29 га. Довжина акваторії ставка Горащиха складає 1100 м, ширина – до 110 м. Площа водного плеса ставка Горащиха становить 5 га, а площа прибережних територій, що охоплені захисною смугою – до

10 га. В районі ставка Горащиха розташовується місце масового відпочинку населення – пляж Пуща-Водиці (рис. 4), що відзначений «блакитним прапором».

Одними із унікальних водних об'єктів у Оболонському районі м. Києва є система водойм (озер) на р. Опечень. Трансформація однієї із приток р. Дніпро, а саме, р. Опечень, тривала довгий період та призвела до руйнування гідромережі дніпровської заплави. Тепер тут тягнеться система озер Опечень – залишки старичних заплавних озер. Озера Йорданське та Кирилівське, що входять до складу системи озер Опечень, розділяє дамба (рис. 5). Довжина оз. Кирилівське становить 760 м, найбільша ширина – 380 м, площа водного дзеркала – 19 га, об'єм – 2,28 млн. м<sup>3</sup>, середня глибина – 12 м. Площа оз. Йорданського – 14,9 га, довжина і ширина 700 і 60–200 м. Його глибина досягає 14–17 м.

Особливість озер полягає в тому, що у прибутковій частині їх водного балансу помітну роль відіграють поверхневі дощові та талі стічні води [2]. Озера системи Опечень не мають прямого гідравлічного зв'язку з р. Дніпро, проте їхній гідрологічний режим змінюється залежно від коливання водності Дніпра внаслідок зміни рівня ґрунтових вод на всій заплавної терасі. Ланцюг озер Опечень – це своєрідний колектор. Пройшовши систему озер, вода з Йорданського озера потрапляє до Канівського водосховища. Сумарне надходження зливових та природних вод до водосховища за оцінками спеціалістів [2] сягає до 13,2 млн. м<sup>3</sup>/рік. У озерах відбуваються процеси природного доочищення дощових вод із прилеглих територій, а тому їх збереження важливе для стійкості екосистеми Дніпра. Благоустроєм прибережних смуг та акваторій оз. Йорданське та Кирилівське окрім зміни морфометричних параметрів водойм за рахунок днопоглиблення та розчищення передбачав забір води для поливу паркової зони, експлуатацію



Рис. 3. Район розташування ставка Миський у Оболонському районі м. Києва (фото дамби із транспортним проїздом)



Рис. 4. Район розташування ставка Горащиха у Оболонському районі м. Києва (фото пляжної зони)





Рис. 5. Аерофотознімок панорами озер Йорданське та Кирилівське у Оболонському районі м. Києва

поверхневого водозабору та насосної станції технічного водопостачання.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Антропогенне втручання у стан міських водойм завжди перебуває у зоні підвищеної уваги зі сторони громадськості. Частково це пов'язано із намаганням зберегти природні об'єкти на теренах міської агломерації, частково із поточним негативним станом водойм, пересуванням будівельної техніки у береговій зоні, роботою землесосного і землерийного обладнання на поверхні акваторій. Благоустрій водойм може поліпшувати стан екосистем, але і одночасно наносити шкоду водним біоресурсам, змінювати режим живлення та конфігурацію водойм. Відсутність раціонально обгрунтованого втручання у стан міських водойм, для яких характерні деградаційні процеси, може призвести до постійних (незворотних у часі) негативних змін у екосистемах, заболочування, висихання або поступового зникнення водойм.

**Новизна.** На основі оцінки наслідків благоустрою озер Буревісник-Корольок та Синє, ставків Пущі-Водиці, заплавних озер р. Почайна, для яких у тій чи іншій мірі були характерні деградаційні процеси, виділено тимчасові та постійні (незворотні у часі) зміни природних об'єктів, процесів та явищ. Найбільший вплив на перебіг процесів у системах «прибережна смуга-водойма» серед ефектів антропогенного втручання у стан міських водойм має розчищення та днопоглиблення. Такі втручання у стан водойм викликають короткострокові негативні зміни якості води та умов існування живих організмів, морфометричних параметрів, режиму живлення тощо, при цьому наступні довгострокові зміни сприяють наближенню процесів у екосистемах водойм до природних.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Практика антропогенного цілеспрямованого втручання у стан міських водойм може бути одним із

напрямків збереження гідрологічної мережі на селітебних територіях із високим рівнем урбанізації. Питання благоустрою водойм населених пунктів необхідно розглядати із урахуванням взаємозв'язку короткотривалих змін природних об'єктів, процесів та явищ, як правило, негативного характеру, із довгоочікуваними позитивними змінами у системі «прибережна смуга-водойма».

**Викладення основного матеріалу.** Обрані як модельні для досліджень водойми Києва, озера Буревісник-Корольок та Синє, ставки Пущі-Водиці на р. Котурка, заплавні озера р. Почайна, є типовими міськими водоймами, де обладнано рекреаційні зони, розташовано стихійні неорганізовані пляжі, наявне аматорське рибальство. Усі вони зазнають антропогенного впливу, що визначає структурні особливості гідроекосистем та якість води у них. Основними джерелами забруднення водойм є поверхневий стік (у т.ч. від розташованих поряд автострад та промислових об'єктів). Більшість забруднень надходять з ґрунтовими та зливовими водами житлових масивів. Водойми розташовані в межах міста, у безпосередній близькості до житлових кварталів, що обумовлює відповідні вимоги до їх санітарно-біологічного стану, а також до стану їх прибережних зон. Для таких водних об'єктів, як показує практика [1, 2], лише природоохоронних заходів для збереження їх екосистем недостатньо, тому необхідні інженерно-меліоративні заходи, спрямовані на періодичне відновлення їх стану.

Важливим етапом відновлення екосистем міських водойм є оцінка рівня їх деградації. Висновки з такого оцінювання стають підґрунтям для формування заходів по благоустрою водних об'єктів. Втручання у водойму, яка перебуває у нормальному стані за більшістю екологічних показників, може викликати невинуваті втрати водних біоресурсів, порушити структурну організацію та функціонування гідробіонтів різних трофічних рівнів, призвести до зміни популяцій домінуючих видів живих організмів та появи нових видів, які здатні краще адаптуватися до змін у екосистемі [5]. Відновлення водойм після реалізації робіт із благоустрою, що були виконані без науково-інженерних обгрунтованих підстав, може тривати на багато більше порівняно із водоймами, втручання у стан яких було виконано вчасно і з необхідним об'ємом меліоративних заходів.

Початкові зміни у екосистемах міських водойм можуть проявлятися не відразу. Загалом спеціалісти при антропогенній деградації водойм виділяють 6 фаз [6]: рівноважну, антропогенно напружену, кризову, катастрофічну, фазу розвитку надзвичайної екологічної ситуації та екологічний колапс. Відновлення екосистем водойм, які перебувають у 4-й та 5-й фазах, потребує значних зусиль. Водойма, яка досягнула 6-ї фази, відновленню не підлягає. При деградації екосистем міських водойм відбуваються зміни, які виходять за рамки стабіль-

ного сукцесійного процесу. Для запобігання постійних (незворотних у часі) змін у екосистемах водойм необхідно вчасно виявити рівень їх деградації.

Основною передумовою для необхідності антропогенного втручання у стан міських водойм є негативна динаміка основних показників якості води. Перше, що змушує звернути увагу на стан водойми, є постійне погіршення якості води, що викликає ряд небажаних процесів та явищ.

Регулярний відбір проб води на міських водоймах Києва для визначення необхідності антропогенного втручання у їх стан виконувався як у холодний, так і у теплий період року, у прибережній та центральній частинах акваторій.

З точки зору рекреаційного використання водойм більш важливою є інформація про динаміку показників якості води саме у теплий період року. При збільшених температурах повітря та води активно починають проявлятися деградаційні процеси, які можна спостерігати і візуально. На початковій стадії розвитку синьо-зелені водорості відіграють позитивну роль у екосистемі водойми. Наростання їхньої біомаси супроводжується споживанням з води поживних органічних і мінеральних речовин. Водорості в процесі фотосинтезу виділяють кисень, що забезпечує процеси дихання живих організмів і покращує якість води. Але їх масовий розвиток спричиняє так званий «біологічний вибух». Сприятливі умови – світло і тепло забезпечують бурхливий розвиток синьо-зелених водоростей, кількість яких збільшується й утворює «плями цвітіння».

Масове розмноження синьо-зелених водоростей може викликати пригнічування вищої водної рослинності, втрату прозорості води та появу запахів, загибель гідробіонтів у прибережній зоні водойм, все це може свідчити про те, що водойма з тих чи інших причин тяжіє до деградації [1, 2, 6]. Синьо-зелені водорості в результаті своєї життєдіяльності виділяють токсини (алкалоїди, низькомолекулярні пептиди та ін.), які становлять небезпеку для живих організмів.

Визначення складу водоростей на досліджуваних водоймах Києва проводили шляхом гідробіологічного аналізу. Основний метод полягав у концентрації фітопланктону на мембранних фільтрах і подальшому підрахунку кількості у камері Горяєва [5]. Виявлено, що процесам цвітіння у водоймах сприяють термифікація води та обмежений водообмін. Серед екологічних факторів, що інтенсифікують «цвітіння» водойм [2]: зниження водообміну і проточності води, поява застійних зон, досить висока (до 26–28°C) температура води протягом травня-вересня, накопичення біогенних елементів і органічних речовин, наявність необхідних для протікання фотосинтезу макро- і мікроелементів. Основним збудником «цвітіння» води у досліджуваних міських водоймах Києва є комплекс трьох видів синьо-зелених водоростей: *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon*

*flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*. Основним поштовхом до їх розвитку є первинна евтрофікація за рахунок вимивання органічних речовин із прибережної зони водойм, пізніше до неї додається антропогенна евтрофікація.

Дослідженнями вмісту у воді розчиненого кисню за сезонами року виявлено чітке зниження цього показника у період, коли розпочинається саме масове збільшення кількості синьо-зелених водоростей. Для цього періоду (квітень-вересень) є характерним також незначне зменшення кількості діатомових і збільшення зелених водоростей. Отримані дані свідчать про те, що саме синьо-зелені водорості є причиною забруднення міських водойм влітку. Для досліджуваних водойм такі показники якості води, як біохімічна потреба кисню (БПК), хімічне споживання кисню (ХСК) та азот амонійний (NH<sub>4</sub>), перевищували регламентовану норму у 5–6 разів в холодний період року та у 15–20 разів у теплий період року. Візуально по усіх водоймах у період масового розмноження синьо-зелених водоростей спостерігали пригнічення вищої водної рослинності. Одним із факторів незадовільного стану водойм було зменшення кількості виловлених представників окремих видів іхтіофауни, зокрема, окуня звичайного (*Perca fluviatilis*), карася сріблястого (*Carassius gibelio*), що свідчило про зменшення чисельності їх популяцій. При цьому чисельність популяцій таких небажаних для міських водойм видів іхтіофауни, як сонячний окунь (*Lepomis gibbosus*) та амурський чебачок (*Pseudorasbora parva*) (рис. 6), зростала із року в рік.



Рис. 6. Види іхтіофауни, масове розмноження яких свідчило про розвиток деградаційних процесів

Загалом під час дослідження деградаційних процесів у водоймах були виявлені такі закономірності.

1. Підвищення вмісту біогенних елементів у верхніх горизонтах водойм викликає бурхливий розвиток планктонних водоростей та збільшення чисельності зоопланктону, що харчується фітопланктоном. Прозорість води різко знижується, глибина проникнення сонячних променів зменшується, що призводить до поступової загибелі донних рослин від нестачі світла. Після загибелі донних рослин

відбувається деградація популяцій організмів, чий життєвий цикл був з ними пов'язаний.

2. Водорості та бактерії, що масово розмножилися у верхніх горизонтах водойм, мають набагато більшу сумарну поверхню тіла та біомасу, а ніж нормальний рослинний комплекс при сталому рівні евтрофікації водойми. При цьому вночі фотосинтез в цих рослинних угрупованнях сповільнюється, а процес дихання продовжується, що потребує затрат розчиненого кисню. В результаті зранку, особливо в теплі дні, кисень у верхніх горизонтах водойм опиняється майже вичерпаним, виникає загибель організмів, що мешкають у верхніх горизонтах водойм, від нестачі кисню (так званий «літній замор»).

3. Значна кількість відмерлих організмів із верхніх горизонтів водойм опускається на дно, де проходить їхнє розкладання. Але, як згадували вище, донна рослинність гине на ранніх стадіях евтрофікації, і виробництво кисню тут майже не відбувається. Якщо ж взяти до уваги, що біопродуктивність водойми завдяки евтрофікації збільшується, між виробництвом та споживанням кисню в придонних горизонтах спостерігається дисбаланс, кисень тут стрімко витрачається, і все це призводить до загибелі бентосних організмів, навіть не пов'язаних з придонною рослинністю (так званий «зимовий замор»).

4. У донному фунті, позбавленого кисню, проходить анаеробне розкладання відмерлих організмів з утворенням таких небезпечних речовин, як феноли ( $C_6H_5OH$ ) та сірководень ( $H_2S$ ), які призводять до отруєння організмів у водоймах, що спричинює ще більш масоване відмирання, як наслідок – додаткове збільшення споживання розчиненого кисню при розкладенні органіки. Мулові нашарування, які регулярно накопичуються на дні водойм, формують джерело систематичного погіршення якості води, викликають деградацію екосистем.

До комплексу інженерно-меліоративних заходів на міських водоймах Києва, які наближали їх стан до природного, входили заходи із очищення від замулення та днопоглиблення, поліпшення санітарно-епідеміологічного стану прибережних захисних смуг, берегоукріплення, очищення та регулювання поверхневого стоку, захисту від підтоплення шляхом регулювання рівнів води.

Із урахуванням рівня деградації досліджуваних водойм роботи із відновлення та поліпшення їх стану здійснювалися у 3 етапи: перший етап – роботи в зоні акваторій водойм із розчищення та днопоглиблення, що дозволяло у перспективі ліквідувати основне джерело систематичного забруднення води, відновити баланс розчиненого кисню у придонних горизонтах водойм, збільшити рівень біорізноманіття у екосистемах шляхом відновлення популяцій гідробіонтів, які тривалий період були пригнічені; в окремих випадках послуговувалися фітомеліораціями шляхом висадження та формування нових рослинних прибережних угруповань; другий етап – роботи

у прибережній зоні водойм по закріпленню берегової лінії габіонними конструкціями та відновлення регулюючих гідроспоруд, що зменшувало інтенсивність абразії берегової лінії та змив частинок ґрунту у водне середовище; благоустрій прибережних територій та відновлення рослинних угруповань, висадження нових порід дерев, облаштування газонів багаторічних трав та їх захист від розмиву; реконструкція наявних та облаштування нових рекреаційних зон; третій етап – інженерно-меліоративне облаштування місць площинного змиву із прилеглої транспортної інфраструктури, перехоплення та спрямована міграція зливових вод, що зменшувало вміст завислих речовин, органіки та нафтопродуктів у водоймах; інженерно-меліоративне облаштування інфраструктури водоохоронних територій, що було пов'язано із відновленням або новим облаштуванням дорожньо-стежкової мережі навколо водойм, будівництвом сходів та оглядових майданчиків з метою зменшення рекреаційного навантаження на берегову лінію.

Усі перелічені види робіт із благоустрою міських водойм, для яких у тій чи іншій мірі були характерні деградаційні процеси, виконувалися за комплексним принципом, але починалися вони із акваторії та завершувалися на прилеглих (буферних) водоохоронних територіях. Оцінити роль кожного інженерно-меліоративного заходу у системі «прибережна смуга-водойма», ефект у відновленні екосистем міських водойм і подальшому їх використанні для потреб рекреації складно, але пріоритет ставили саме на роботах в акваторії.

Розчищення та днопоглиблення не в усіх випадках покращує стан водойм, але може запустити природні процеси, які були пригнічені тривалий період, призвести до поліпшення гідрохімічного та гідробіологічного режимів водойм.

Якщо питання благоустрою міських водойм рекреаційного призначення стоїть у покращенні гідрологічного, і як наслідок, санітарного стану водойм, то їх розчищення в окремих ділянках (локаціях) акваторій від зайвих мулових нашарувань та днопоглиблення є одним із раціонально обґрунтованих видів антропогенного втручання у стан екосистем. Такі втручання викликають відновлення режиму живлення водойм, підвищення вмісту концентрації розчиненого кисню, поліпшення інших показників якості води, зокрема, зменшення біохімічної потреби кисню (БПК), хімічного споживання кисню (ХСК) [5]. Через певний період часу, як показує досвід благоустрою озер Буревісник-Корольок та Синє, ставків Пущі-Водиці, заплавних озер р. Почайна, спостерігається загальне покращення якості води, що тягне за собою супутні процеси поліпшення умов існування, міграції та розмноження гідробіонтів різних трофічних рівнів.

Очищення міських водойм процес складний і трудомісткий – їх повна і якісна очистка може

бути проведена виключно з використанням спецтехніки. При цьому важливо не забувати, що природні, штучні і рекреаційні водойми – це складні, населені певними організмами екосистеми, які дуже чутливі до механічного втручання. Перш ніж приступити до робіт по розчищенню та днопоглибленню, необхідно врахувати характер забруднень (товщина мулових нашарувань, листя і гілки дерев, пні, корчі, будівельне сміття, побутові забруднення, коренева система водної рослинності тощо); площу (об'єм) і глибину ділянок (локацій) акваторій, які очищаються; наявність (відсутність) берегових підступів і площ для пересування спецтехніки. Очищення дна вимагає правильної організації процесу з урахуванням всіх перерахованих вище факторів при мінімально можливому перебуванні спецтехніки в районі прибережних захисних смуг водойм, на поверхні акваторій. Від процесу організації будівельного комплексу залежить тривалість відновлення екосистем водойм та збереження окремих популяцій гідробіонтів, які тривалий період були пригнічені до благоустрою.

Для уточнення ділянок (локацій) акваторій досліджуваних водойм Києва, де є можливість та необхідність розчищення та днопоглиблення, виконувалися деталізовані дослідження дна, вивчали морфометрію водойм, відбиралися проби мулу для визначення його консистенції, фізичних властивостей, хімічного складу та наявності токсичних компонентів. Так, під час благоустрою оз. Синє при обстеженні дна було пробурено всього 26 досліджуваних свердловин із забором проб мулових нашарувань, а при розчищенні оз. Кирилівське – всього 15 досліджуваних свердловин. При цьому площа акваторії оз. Кирилівське становить 19 га, а площа оз. Синє – 4,6 га, середня глибина оз. Кирилівське становить 14 м, а глибина оз. Синє – 0,8 м, для відновлення оз. Кирилівське планувалося видалення мулу об'ємом до 6902 м<sup>3</sup> на площі акваторії 8628 м<sup>2</sup>, а для відновлення оз. Синє – видалення мулу об'ємом 17332 м<sup>3</sup> на площі акваторії 20411 м<sup>2</sup>.

Оскільки накопичення мулу найчастіше утворюють мілини, що перешкоджають нормальному водообміну, під час очищення водойм рекомендується одночасно провести роботи з поглиблення дна. Так, у визначених ділянках (локаціях) акваторії оз. Буревісник-Корольок глибина видалення мулових нашарувань разом із ґрунтами, що складають корінне дно, складала від 0,46 до 1,75 м, у ставку Миський – від 0,35 до 0,75 м. Якщо локації розчищення та днопоглиблення на акваторіях оз. Кирилівське, ставків Миський та Горащиха тяжіли до прибережної зони, то для озер Синє та Буревісник-Корольок основні об'єми вийнятої суміші мулу і земляних мас локалізувалися у центральній частині.

Вибір техніки для очищення та днопоглиблення досліджуваних водойм, в першу чергу, залежав від віддаленості забрудненої ділянки від лінії берега, глибини водойми, наявності підступу до ділянки

(локації) акваторії, яка очищається, її площі та прогнозованого об'єму вийнятих земляних мас.

На практиці існує кілька способів очищення та благоустрою природних водойм [4, 7]: механічний ручний (ручна очистка дна від великих предметів різного походження, а також видалення великих скупчень донних і плаваючих видів водних рослин); гідромеханічний (для здійснення даного способу використовується міні-земснаряд); механізований (очищення проводиться гусеничним екскаватором з подовженою стрілою або екскаватором типу драглайн).

В залежності від масштабу і специфіки розчищення та днопоглиблення міських водойм Києва користувалися відразу трьома способами або їхніми комбінаціями. Механічне ручне очищення дна використовувалося з метою подальшої нормальної роботи міні-земснаряда. Міні-земснаряд представляє собою модульний понтон (рис. 7), з встановленим на ньому насосним обладнанням та системою трубопроводів для розмиву і забору мулових нашарувань із подальшим транспортуванням по пульпопроводу на значні відстані. З його допомогою очищали невеликі площі, досить глибокі і важкодоступні ділянки (локації) акваторій, а також виконували поглиблення дна. Міні-земснаряд ідеально підходить для очищення дна водойм від мулу і дрібних твердих частинок ґрунту.

Складування наносів після розчищення оз. Синє, ставка Миський здійснювалося на карту наміву в межах прибережної захисної смуги. Висушений та зневоднений мул відвантажувався на транспортні засоби та вивозився у місця постійного захоронення твердих побутових відходів (ТПВ). За більшістю показників та результатами дослідження фізико-хімічних властивостей вийняті земляні маси мулової консистенції ідентифікували як «безпечні» відходи, але їх повторне використання у різних галузях народногосподарського комплексу потребувало додаткових досліджень. Висушування та зневоднення суміші земляних та мулових мас після розчищення оз. Буревісник-Корольок, ставка Горащиха та озер Йорданське та Кирилівське виконували у геотубах (рис. 8).

За класифікацією геотуби (рис. 8) можна віднести до підкласу «Геосинтетичні оболонки» класу «Геосинтетичні матеріали»: вони являють собою полімерні тканини зшивні геосинтетичні замкнуті фільтруючі оболонки технічного призначення. Використання геотуб є ефективним варіантом зневоднення депонованих мулових мас безпосередньо в районі водойм [7]. Геотуби виконуються із поліпропіленових ниток, розроблених спеціально для зневоднення. Завдяки геосинтетичним оболонкам зневоднений мул не схильний до повторного обводнення, стійкий до розмиву, осипання та вітрової ерозії. Поєднання процесів зневоднення, кондиціонування і складування мулових нашарувань в районі



Рис. 7. Фотофіксація міні-земснаряду на акваторії ставка Миський у Оболонському районі м. Києва



Рис. 8. Фотофіксація геотуб у прибережній зоні ставка Горащиха, де здійснювали зневоднення та висушування суміші земляних та мулових мас

берегової лінії міських водойм Києва дозволило не лише отримати велику партію однорідного за складом матеріалу, але і не допустити погіршення якості води. Геотуби здатні видаляти нафтопродукти з води шляхом їх накопичення у стінках, геосинтетичні матеріали завдяки своїй текстурі і способу виробництва виступають свого роду фільтром, хімічно стійким до нафтопродуктів [7].

Механізований спосіб очищення досліджуваних водойм за допомогою екскаватора типу драглайн застосовувався на ділянках (локаціях) акваторій оз. Йорданське та Кирилівське, наближених до берегової лінії. Драглайн використовувався для очищення прибережних ділянок від кореневої системи осоки (*Carex*), очерету (*Phragmites*), латаття (*Nymphaea*) та іншої водної рослинності.

Оцінити прямі (незворотні у часі) втрати водних біоресурсів при розчищенні та днопоглибленні міських водойм у економічному еквіваленті на практиці досить складно через відсутність необхідної нормативно-правової бази та можливості чіткої ідентифікації кількості гідробіонтів, що постраждали, відмерли або були перенесені водою із ділянки (локації) акваторії, яка очищається.

Наявність виїнятих мулових нашарувань надає можливість виконати наближену оцінку втрат бентосу порівняно із станом дна водойми до благоустрою, але така оцінка через епізодичні та локальні механічні втручання у дно водойм не може бути репрезентативною для гідроекосистеми в цілому. Що стосується вищої водної рослинності, то за критерій її трансформації можна використати площу покриття акваторії до та після благоустрою водойм [8]. При цьому зменшення концентрації макрофітів після розчищення та днопоглиблення водойм не завжди виступає негативним ефектом благоустрою, оскільки така водна рослинність здатна відносно швидко відновитися. Практика відновлення міських водойм Києва показала, що площа покриття прибережною рослинністю акваторій ставків Миський та Горащиха

після благоустрою зростає, порівняно до антропогенного втручання. Це можна пояснити різними причинами, в тому числі і активізацією природних процесів, які сприяли поліпшенню зростання макрофітів за рахунок раціонально обґрунтованого антропогенного втручання.

Окрім прямого механічного втручання у середовище існування, міграції та розмноження гідробіонтів, зменшення кількості та щільності їх популяцій, благоустрій міських водойм викликає тимчасові зміни мутності води.

Мутність води формується в результаті складної взаємодії між берегом, водою та наносами. Вона постійно змінюється у просторі і часі, залежить від режиму та розмиваючої здатності хвиль. Течії у водоймах є несталими і просторово неоднорідними, вони здатні переносити тверді частинки (наноси) та змінювати свої межі, що призводить до постійної динаміки мутності води. У випадку міських водойм до природних чинників зміни мутності додається поверхневий стік, пересування спеціальної техніки у прибережній зоні та робота міні-земснарядів.

Оцінка зміни мутності води у визначених ділянках (локаціях) розчищення та днопоглиблення міських водойм полягала у визначенні наступних характеристик: час осідання твердих частинок у воді,  $T$ , с; відстань, на яку будуть винесені тверді частинки,  $L$ , м; радіус «хмари» мутності води,  $K_2$ , м; площа замулення води у ділянці (локації) акваторії,  $S$ , м<sup>2</sup>; об'єм води у акваторії із підвищеною мутністю  $V$ , м<sup>3</sup>.

На рис. 9 наведено приклад схематичного розташування ділянок (локацій) розчищення та днопоглиблення в районі ставка Горащиха.

Час осідання частинок ґрунту у водному середовищі  $T$ , с, [5]:

$$T = \frac{\bar{H}}{W}, \quad (1)$$

де  $\bar{H}$  – середня глибина ділянки (локації) акваторії, яка очищається, м;  $W$  – середня швидкість осі-

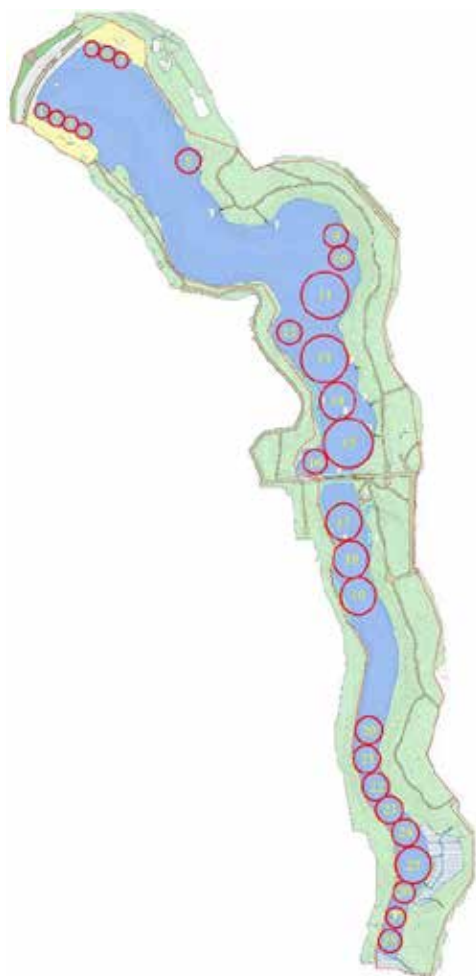


Рис. 9. Нанесення ділянок (локацій) розчищення та днопоглиблення ставка Гораціха

дання твердих частинок у ділянці (локації) акваторії, м/с.

Середня швидкість осідання твердих частинок згідно формули Стокса:

$$W = Kgr^2 \frac{\rho' - \rho}{\mu}, \quad (2)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що залежить від форми твердої частинки мулових нашарувань;  $g$  – прискорення вільного падіння у воді, м/с<sup>2</sup>;  $r$  – середній радіус твердої частинки мулових нашарувань, м;  $\rho'$  – середня густина мулових нашарувань, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  – коефіцієнт в'язкості води, м<sup>2</sup>/с.

Час та швидкість осідання твердих частинок у ділянках (локаціях) міських водойм Києва різнився. Так, в районі акваторії ставка Гораціха середня швидкість та час осідання наносів складала, відповідно,  $W = 0,0002$  м/с та  $T = 1827$  с, при розчищенні ставка Міський –  $W = 0,0002$  м/с та  $T = 1827$  с. Інша ситуація із днопоглибленням оз. Синє, де середня швидкість та час осідання наносів складала, відповідно,  $W = 0,00003$  м/с та  $T = 26666$  с. Основним фак-

тором, що формував особливості міграції твердих частинок у воді, була глибина розчищення.

Відстань, на яку будуть винесені частинки ґрунту,  $L$ , м, складе [5]:

$$L = v_{cp} \cdot T, \quad (3)$$

де  $v_{cp}$  – середня швидкість течій в районі ділянки (локації) акваторії, м/с.

Серед усіх водойм найбільша відстань міграції наносів при роботі міні-земснарядів була характерна для оз. Йорданське і становила  $L = 210$  м, найменша відстань – для оз. Буревісник-Корольок величиною  $L = 15$  м. Ділянки (локації) акваторій із підвищеною мутністю води для зручності схематично приймали округлою формою (див. рис. 9), хоча у реальному часі чітких меж «хмари» мутності води не мають. Радіус «хмари» мутності води  $K_2$ , м:

$$K_2 = r_0 + 0,1 \cdot L, \quad (4)$$

де  $r_0$  – початковий радіус хмари мутності води, м.

Для гідробіонтів міських водойм при їх розчищенні та днопоглибленні найбільшу загрозу має саме визначений радіус «хмари» мутності води (у практиці також зустрічається термін «шлейф» мутності), оскільки від нього залежить площа та об'єм води із підвищеною мутністю. Навіть короткотривале підвищення мутності води може викликати ускладнені умови для існування та міграції гідробіонтів, призвести до того, що деякі із гідробіонтів не зможуть уникнути наслідків погіршення якості води та адаптуватися до різких змін середовища існування, а тому загинуть [5, 8]. Радіус «хмар» мутності води у визначених ділянках (локаціях) акваторій був найбільшим для оз. Йорданське та склав  $K_2 = 56$  м, найменшим для оз. Синє –  $K_2 = 12$  м. Після визначення радіусу «хмар» підвищеної мутності води розраховували площу  $S$ , м<sup>2</sup>, та об'єм  $V$ , м<sup>3</sup>, води із використанням наступних розрахункових залежностей:

$$S = \pi(K_2/2)^2 \quad V = S \cdot \bar{H} \quad (5)$$

Було встановлено, що при пересуванні будівельно-монтажної техніки, роботі міні-земснарядів та руйнації дна і берегової лінії на площі водного плесо акваторії оз. Йорданське величиною 8628 м<sup>2</sup> підвищеному замуленню підлягав об'єм води  $V = 6902$  м<sup>3</sup>. При розчищенні оз. Синє на площі водного плесо акваторії величиною всього 480 м<sup>2</sup> підвищеному замуленню підлягав об'єм води  $V = 380$  м<sup>3</sup>. При розчищенні ставка Міський на площі водного плесо акваторії величиною 4654 м<sup>2</sup> підвищеному замуленню підлягав об'єм води  $V = 16987$  м<sup>3</sup>. Такі розрізнені отримані дані про площу та об'єм замуленої води при розчищенні та днопоглибленні міських водойм Києва свідчать про складність прогнозування наслідків їх благоустрою, де основними факторами погіршення якості води виступає глибина водойм та процес формування «хмар» мутності, зміна конфі-

гурації дна із механічним втручанням у структуру наносів, тривалість перебування міні-земснарядів та режим їх використання.

Оперуючи даними про прогнозовані об'єми води із підвищеною мутністю при розчищенні та днопоглибленні водойм можна оцінити очікувані втрати водних біоресурсів. Найбільш чутливими до змін мутності води є багатоклітинні водорості та вища водна рослинність біоценозів водойм [8]. Підвищена мутність води помітно знижує проникнення світла та призводить до погіршення умов фотосинтезу занурених макрофітів. Загалом, тривалість дії підвищеної мутності води має вирішальне значення для занурених макрофітів. Зокрема, порогова мутність води для макрофітів у ставках Міський та Горащиха, дія якої може призвести до різкого зниження їх продуктивності, складала 0,01–0,02 кг/м<sup>3</sup>. Досить чутливим до підвищеної мутності води є фітопланктон. В результаті зростання мутності води при розчищенні та днопоглибленні оз. Буревісник-Корольок тимчасово змінився видовий склад фітопланктону: відбулася заміна домінуючих форм у складі діатомових водоростей (*Bacillariophyta*) (планктонних – бентосними), різке зростання ваги монадних форм із синьо-зелених водоростей (*Cyanobacteria*). Було встановлено, що мутність води вище за 0,81 кг/м<sup>3</sup> сприяє різкому зниженню первинної продукції фітопланктону. В районі днопоглиблювальних робіт на акваторії оз. Йорданське була зафіксована середня добова летальна величина мутності води для ракоподібних 6,4 кг/м<sup>3</sup>, а при мутності води 1,6–3,2 кг/м<sup>3</sup> ракоподібні гинули на п'яту добу.

По різному реагує на зміни мутності води в районі акваторій міських водойм іхтіофауна. Оптимальним діапазоном мутності води для іхтіофауни фахівці вважають мутність величиною 0,15–0,65 кг/м<sup>3</sup> [5, 7, 8]. Мутність води більше за 0,65 кг/м<sup>3</sup> може призводити до зниження іхтіомаси, загибелі ікри, ушкодження зябер молоді та порушення функції дихання. Слід зазначити, що на відміну від планктону та бентосу, доросла риба має можливість активно уникати негативного впливу робіт по розчищенню та днопоглибленню міських водойм. При цьому підвищення мутності води у акваторії, що негативно впливає на фітопланктон та бентос і спонукає їх до дрейфу, у випадках, коли воно не пов'язується з негативними змінами хімічного складу води, викликає міграцію представників більшості видів іхтіофауни назустріч «хмарам» мутності, де риба має можливість харчуватися дрейфуючими безхребетними організмами.

Основні наближені втрати іхтіофауни на міських водоймах Києва під час їх благоустрою були пов'язані із загибеллю дорослих особин внаслідок появи «хмар» підвищеної мутності води. Так, загибель іхтіофауни для оз. Йорданське, Буревісник-Корольок та Синє становила, відповідно, 4,68, 2,63 та 2,26 т. Визначальним критерієм втрати водних біоресурсів був спрогнозований вище об'єм замулення води

в районі роботи міні-земснарядів. Іншою не менш чутливою категорією іхтіофауни до підвищеної мутності води є молодь риб, що гине внаслідок загибелі фітопланктону, зоопланктону та при порушенні нерестилищ. Під час оцінки наслідків благоустрою міських водойм Києва було виявлено, що найбільш чутливим видом іхтіофауни до робіт із розчищення та днопоглиблення являється карась сріблястий (*Carassius auratus gibelio*).

Розраховані втрати рибопродуктивності мають наближений характер, несуть одноразовий збиток для екосистем водойм. Точна реєстрація загиблих особин у реальному часі ускладнена через масу причин, але оптимізація часу перебування землерийної та землесосної техніки в районі акваторій може бути запорукою для уникнення загибелі різних вікових груп іхтіофауни. Чим менший період впливу підвищеної мутності води при механічному втручанні у дно і береги водойм, тим менші втрати іхтіофауни. Прогнозовані втрати іхтіофауни не враховували здатність дорослих особин до адаптації. Як правило, більшість методик мають наближений характер та дозволяють спрогнозувати ймовірність та кількість випадків прямої загибелі різних вікових груп іхтіофауни. Із урахуванням механізмів адаптації кількість загиблих риб зменшується.

**Головні висновки.** Будівництво нових та реконструкція існуючих об'єктів благоустрою у прибережній зоні водойм, розчищення акваторій від зайвої рослинності та нашарувань мулу, зведення берегоукріплювальних споруд можуть викликати постійні (незворотні у часі) зміни у екосистемах водойм. При цьому тимчасові негативні зміни екосистем водойм через певний період часу завдяки механізмам саморегуляції, здатності води до самоочищення, адаптації гідробіонтів до зміни умов існування, харчування та міграції, нейтралізуються, а тому варто звертати увагу не на тимчасовий характер змін природних об'єктів, процесів та явищ у системі «прибережна смуга-водойма», а на подальші наслідки функціонування екосистем. Так, для ставків Горащиха і Міський стабілізація стану екосистем, на нашу думку, відбулась на протязі шести місяців після виконання робіт із благоустрою. Для досліджуваних водойм, які являються окремими практично ізольованими гідроекосистемами, мова йде про озеро Синє та Буревісник-Корольок, відновлення нормального стану екосистем відбулось на протязі календарного року. Стан заплавної озера Йорданське та Кирилівське покращився протягом семи місяців після завершення робіт.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Досвід реалізації бажаних меліоративних ефектів для озер Буревісник-Корольок та Синє, ставків Пущі-Водиці на р. Котурка, заплавної озера Почайна може стати прикладом для благоустрою інших водойм, які потерпають від рекреаційного тиску та екосистеми яких з тих чи інших причин

схильні до деградації. Попит територіальних громад на покращення умов благоустрою міських водойм може не лише сприяти залученню інвестицій, розвитку туризму, покращенню умов відпочинку людей, але і реалізувати другорядні ефекти підтримки гоме-

остазу у системах «прибережна смуга-водойма», зберегти природні ландшафти, зелені насадження, досягнути необхідного рівня біорізноманіття та покращити санітарно-епідеміологічну ситуацію у регіонах із високим рівнем урбанізації.

#### Література

1. Упорядкування водоохоронних зон міських водойм на основі екологічної оцінки якості вод / за ред. І.В. Панасюка. Київ: Київський національний університет технологій та дизайну, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України», 2016. 94 с.
2. Екологічний стан київських водойм / О.А. Афанасьєва та ін. Київ: Фітосоціцентр, 2010. 256 с.
3. ДБН Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. Київ, 2012. 64 с.
4. Водна стратегія міста Києва 2018-2025 / В.І. Вишневський та ін. Київ: КП «Плесо», 2018. 88 с.
5. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О.М. Арсан та ін. Київ: Логос, 2006. 408 с.
6. Хамар І.С., Назарук К.М. Зоопланктон як індикатор екологічного стану водойм Шацького національного природного парку. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2009. Розділ II. Тваринний світ. Вип. 2. С. 103–109.
7. Ольховик О.І., Данилюк І.В., Ольховик Б.Є. Зневоднення пульпи при днопоглиблювальних роботах на озері Басів Кут в місті Рівне. *Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки»*. 2018. Вип. 2(82). С. 135–146.
8. Атаєв С.В. Зміни мутності води при зведенні берегоукріплювальних споруд як фактор впливу на життєдіяльність гідробіонтів річки. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування: науково-техн. журнал / засн. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ); гол. ред. Я.О. Адаменко. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. № 1 (13). С. 57–69.*



## ДИНАМІКА СТАНУ УГРУПОВАНЬ ЗООПЛАНКТОНУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ БУЧАНСЬКОГО РАЙОНУ У ЛІТНЬО-ОСІННІЙ ПЕРІОД 2023 РОКУ

Берія В.Д., Гандзюра В.П.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
вул. Володимирська, 60, 01033, м. Київ  
[vitaliyliionow@gmail.com](mailto:vitaliyliionow@gmail.com), [gandzyura@gmail.com](mailto:gandzyura@gmail.com)

Моніторинг стану екосистем, котрі зазнали антропогенного навантаження внаслідок воєнних дій є вкрай важливим, оскільки не тільки дає змогу визначити наслідки такого навантаження для екосистем, але, також, дозволяє отримати дані про швидкість процесів самовідновлення та саморегуляції в постраждалих екосистемах. Особливої уваги заслуговує той факт, що для відновлення територій, котрі зазнали руйнівного впливу війни необхідно мати чітке уявлення про стан місцевих екосистем та їх ресурсний потенціал.

Коли мова йде про дослідження стану таких екосистем протягом тривалого часу, то доцільно використовувати метод біоіндикації, оскільки він дозволяє на прикладі обраних індикаторних груп організмів встановити ті зміни, яких зазнає екосистема після дії збурюючого чинника. В даній роботі такою індикаторною групою є угруповання зоопланктерів, що населяють водні об'єкти Бучанського району Київської області, а саме: річку Ірпінь та дві її притоки – Горенка та Мошунка, що зазнали потужного антропогенного навантаження внаслідок воєнних дій на початку весни 2022 року.

Отримання даних про стан індикаторних груп зоопланктерів у різні часові періоди дозволяє визначити як у межах досліджуваної екосистеми працюють механізми саморегуляції та самовідновлення. Метою даного дослідження є визначення змін стану зазначених індикаторних груп організмів у літньо-осінній період 2023 року у тих водних екосистемах, що зазнали антропогенного навантаження внаслідок воєнних дій. Відповідно до мети в ході дослідження використано результати аналізу двох серій проб: першої – зібраної на початку серпня 2023 року та другої – зібраної на початку листопада того ж року.

Аналіз отриманих результатів вказує на відносно врівноваження видового різноманіття серед угруповань зоопланктерів в межах досліджуваних гідроекосистем, що пояснюється як результат роботи внутрішніх механізмів саморегуляції у цих водоймах на екосистемному рівні. *Ключові слова:* Бучанський район, зоопланктон, біоіндикація, видове різноманіття, сапробність, стійкість та відновлення екосистем.

### **Dynamics of the state of zooplankton groups in aquatic ecosystems of the Buchansky district in the summer-autumn period of 2023. Beriiia V., Gandzyura V.**

Monitoring the state of ecosystems that have undergone anthropogenic stress as a result of military actions is extremely important, as it not only allows determining the consequences of such stress for ecosystems, but also allows obtaining data on the speed of self-recovery and self-regulation processes in affected ecosystems. Special attention should be paid to the fact that in order to restore territories that have suffered the devastating effects of war, it is necessary to have a clear idea of the state of local ecosystems and their resource potential.

When it comes to researching the state of such ecosystems over a long period of time, it is advisable to use the bioindication method, as it allows, on the example of selected indicator groups of organisms, to establish the changes that the ecosystem undergoes after the action of a disturbing factor. In this work, such an indicator group is the group of zooplankters inhabiting water bodies of the Buchansky district of the Kyiv region, namely: the Irpin River and its two tributaries – Gorenka and Moshkunka, which were subjected to a powerful anthropogenic load as a result of military operations in the early spring of 2022.

Obtaining data on the state of indicator groups of zooplankters in different time periods allows us to determine how the mechanisms of self-regulation and self-regeneration work within the studied ecosystem. The purpose of this study is to determine changes in the state of the specified indicator groups of organisms in the summer-autumn period of 2023 in those water ecosystems that have undergone anthropogenic stress as a result of military operations. According to the goal, the research used the results of the analysis of two series of samples: the first – collected at the beginning of August 2023 and the second – collected at the beginning of November of the same year.

The analysis of the obtained results indicates the relative balance of species diversity among zooplankter communities within the studied hydroecosystems, which is explained as the result of the work of internal mechanisms of self-regulation in these reservoirs at the ecosystem level. *Key words:* Buchansky district, zooplankton, bioindication, types of diversity, saprobity, sustainability and restoration of ecosystems.

**Постановка проблеми.** Вплив антропогенного навантаження на функціональний стан водних екосистем є значною проблемою на теренах нашої країни, особливого значення ця проблема набула після початку повномасштабного вторгнення РФ, коли значна територія України зазнала руйнівного впливу

внаслідок воєнних дій [1]. Для тих водних екосистем, що опинилися у безпосередній близькості до місць запеклих боїв антропогенне навантаження стало основним стресуючим фактором, що суттєво вплинув на цілісність їх основних механізмів обміну інформацією, речовиною та енергією, що,

у свою чергу, призвело до порушення функціонального стану таких екосистем та втрати їх ресурсного потенціалу. Вартим уваги є і той факт, що досліджувані у Бучанському районі водні екосистеми зазнали наслідків підтоплення після підриву дамби біля села Козаровичі [2, 3].

**Актуальність дослідження.** Дослідження, котрі спрямовані на визначення змін, що зазнали гідроекосистеми внаслідок антропогенного навантаження пов'язаного з воєнними діями є важливою передумовою післявоєнного відновлення у постраждалих від війни регіонах України, оскільки дозволяють кількісно оцінити шкоду, що була завдана довкіллю та отримати дані про масштаб та об'єм робіт необхідних для відновлення довоєнного стану екосистем зазначених регіонів.

**Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями.** Застосування методів біоіндикації під час моніторингу стану водних екосистем в уражених війною регіонах є важливою ланкою для оцінки ступеня антропогенного впливу на такі екосистеми, що дозволяє значною мірою спростити виявлення найбільш постраждалих екосистем, котрі знаходяться на межі незворотних змін та втрати біологічного та ресурсного значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження змін, що зазнали водні екосистеми внаслідок повномасштабного вторгнення у 2022 році та визначення їх функціонального стану є важливою темою інтересу для вітчизняної та міжнародної наукової спільноти. Так, у березні 2023 року міжнародна наукова група з Бельгії, Німеччини, США та України опублікувала статтю, де спробувала оцінити наслідки впливу війни на ресурсний потенціал водних екосистем та стан водної інфраструктури у перші місяці після початку повномасштабного вторгнення [4]. Дослідження впливу воєнних дій на водні екосистеми Бучанського району також проводилося авторами даної статті у попередні роки [5]. Також, вітчизняними вченими було висвітлено аспект відновлення постраждалих внаслідок воєнних дій екосистем на прикладі розливу річки Ірпінь наприкінці лютого 2022 року [6]. Особливої уваги заслуговує той факт, що науковцями НАН України було спрогнозовано характер затоплення територій Київської області у внаслідок пошкодження гідротехнічних споруд на річці Ірпінь [7].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна.** Важливим аспектом у контексті дослідження змін, що зазнали водні екосистеми внаслідок антропогенного навантаження, що потребує висвітлення є врахування положень концепції здоров'я екосистеми при комплексній оцінці наслідків воєнних дій на уражені екосистеми. Врахування можливостей механізмів самовідновлення та саморегуляції уражених екосистем при оцінці завданої їм шкоди має критичне зна-

чення, оскільки сприятиме визначенню найбільш вразливих до дій збурюючих факторів екосистем, що потребують негайних дій для їх повернення до стабільного функціонального стану та уникнення незворотних та деструктивних змін, оскільки дія їх власних механізмів підтримання функціонального стану є недостатньою аби мінімізувати наслідки впливу збурюючого фактору. В даній роботі аспект здоров'я водних екосистем розглядається з перспективи окремих її елементів – гідробіонтів та їх ролі як індикатора роботи механізмів саморегуляції у водній екосистемі через тривалий період після дії збурюючого фактору.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Виконання моніторингових заходів в уражених війною екосистемах дозволить не тільки практично застосувати наявну теоретичну базу у сфері військової екології але й сприятиме її розширенню та вдосконаленню на основі нових досліджень воєнного впливу на довкілля в Україні. Враховуючи масштаби уражених воєнними діями територій для своєчасного виявлення найбільш постраждалих екосистем доцільно застосовувати та адаптувати ті методи, що сприяють відносно швидкому та репрезентативному дослідженню стану таких екосистем на прикладі методу біоіндикації.

**Викладення основного матеріалу.** Загалом в кожній з двох серій відбору проб зоопланктону було проведено чотири відбори проб з трьохгодинним інтервалом на кожній з чотирьох дослідних станцій. Такий часовий інтервал обумовлений необхідністю врахування добових змін у просторовому співвідношенні дослідних груп зоопланктону. Таким чином загальна кількість проб отриманих в результаті літньої та осінньої серій відбору складала 32 проби з чотирьох дослідних станцій (рис. 1).

*Станція відбору проб № 1. Рекреаційна водойма біля села Мошун.* У межах даної станції прозорість водної товщі складала 30 сантиметрів. Товщина піщано-мулистого шару складала 30–40, в деяких місцях до 50 сантиметрів. Дана станція знаходилася в незарослому біотопі, оскільки водна рослинність у межах ділянки відбору була представлена локально та без високої щільності розміщення у просторі.

*Станція відбору проб № 2. Річка Мошунка.* У межах даної станції прозорість водної товщі була низькою – до 10 сантиметрів. Товщина піщано-мулистого шару в межах дослідної ділянки складала 50–70 сантиметрів. Дана станція знаходилася в зарослому біотопі, оскільки водна рослинність у межах ділянки відбору була представлена значною мірою та з високою щільністю розміщення у просторі.

*Станція відбору проб № 3. Річка Горенка.* У межах даної станції прозорість водної товщі складала лише 5 сантиметрів. Товщина піщано-мулистого шару знаходилась у межах від 40 до 50 сантиметрів. Дана станція знаходилася в незарослому біотопі, оскільки водна рослинність у межах ділянки



Рис. 1. Просторове розміщення станцій відбору проб зоопланктону

відбору була представлена без високої щільності розміщення у просторі.

*Станція відбору проб № 4. Річка Ірпінь.* У межах даної станції прозорість водної товщі була дуже низькою – до 5 сантиметрів. Товщина піщано-мулистого шару в межах дослідної ділянки складала приблизно 50 сантиметрів. Дана станція знаходилася в зарослому біотопі, оскільки водна рослинність у межах ділянки відбору була представлена у значною мірою та з високою щільністю розміщення у просторі.

Знаряддям для отримання проб зоопланктерів слугувала конічна сітка Нансена [8]. Подальше дослідження отриманих проб зоопланктерів відбувалося у лабораторних умовах, де, за допомогою методу обчислення Гензена, використовуючи камеру Богорова та бінокляр МБС-9 вдалося отримати дані про кількісний розподіл основних груп досліджуваних організмів – коловерток, гіллястовусих та веслоногих ракоподібних [9].

Показники сапробності досліджуваних водойм визначено згідно індексу Пантле-Букка.

*Станція відбору проб № 1. Рекреаційна водойма біля села Мощун.* У літній період 2023 року для співвідношення основних груп зоопланктерів у незарослому біотопі характерні були наступні показники: гіллястовусі ракоподібні були представлені лише одним видом з трьох загальних (33,3 %). Представників веслоногих ракоподібних та коловерток не знайдено взагалі. Представників черепашкових ракоподібних також не виявлено. Показник сапробності (S) у літній період в межах даної станції знаходився на рівні 2,1, який притаманний помірно забрудненим екосистемам. В осінній період 2023 року для співвідношення основних

груп зоопланктерів у незарослому біотопі характерні були наступні показники: гіллястовусі ракоподібні були представлені двома видами з п'яти загальних (40 %), в той час як представники веслоногих ракоподібних та коловерток були представлені по одному виду. Представників черепашкових ракоподібних не виявлено. Показник сапробності (S) в осінній період в межах даної станції знаходився на рівні 2, який притаманний для чистих гідроекосистем.

*Станція відбору проб № 2. Річка Мощунка.* У літній період 2023 року для співвідношення основних груп зоопланктерів у зарослому біотопі характерні були наступні показники: гіллястовусі та черепашкові ракоподібні були представлені по одному виду (по 20 %) з п'яти видів загалом; веслоногі ракоподібні були представлені двома видами (40 %). Показник сапробності (S) у літній період в межах даної станції знаходився на рівні 2,4 який притаманний для тих гідроекосистем, що є помірно забрудненими. В осінній період 2023 року для співвідношення основних груп зоопланктерів у зарослому біотопі характерні були наступні показники: гіллястовусі ракоподібні були представлені двома видами (40 %); веслоногі ракоподібні також були представлені двома видами (40 %); черепашкові ракоподібні були представлені лише одним видом (20 %) із п'яти видів загалом. Показник сапробності (S) в осінній період в межах даної станції залишався на рівні 2,4.

*Станція відбору проб № 3. Річка Горенка.* У літній період 2023 року для співвідношення основних груп зоопланктерів у незарослому біотопі цієї станції характерні були наступні показники: коловертки були представлені лише одним видом із загальної кількості у десять видів (10 %); гіллястовусі ракоподібні були представлені двома видами (20 %); вес-

лоногі ракоподібні були представлені лише одним видом (10 %); черепашкові ракоподібні також були представлені лише одним видом (10 %). Показник сапробності (S) у літній період в межах даної станції знаходився на рівні 2, що відповідає чистим гідроекосистемам. У осінній період 2023 року для співвідношення основних груп зоопланктерів у незарослому біотопі цієї станції характерні були наступні показники: коловертки були представлені двома видами із загальної кількості у дванадцять видів (16,6 %); гіллястовусі ракоподібні були представлені трьома видами (25 %); веслоногі ракоподібні були представлені двома видами (16,6 %); черепашкові ракоподібні були представлені лише одним видом (8,3 %). Показник сапробності (S) в осінній період в межах даної станції залишався на рівні 2.

*Станція відбору проб № 4. Річка Ірпінь.* У літній період 2023 року для співвідношення основних груп зоопланктерів у зарослому біотопі цієї станції характерні були наступні показники: гіллястовусі ракоподібні були представлені двома видами із загальної кількості у 7 видів (28,4 %); веслоногі ракоподібні були представлені трьома видами (42,6 %); представники черепашкових ракоподібних та коловертки не були виявлені. Показник сапробності (S) у літній період в межах даної станції знаходився на рівні 2,7 який притаманний для тих гідроекосистем, що є забрудненими. У осінній період 2023 року для співвідношення основних груп зоопланктерів у зарослому біотопі цієї станції характерні були

наступні показники: гіллястовусі ракоподібні були представлені трьома видами із загальної кількості у 8 видів (37,5 %); веслоногі ракоподібні також були представлені трьома видами (37,5 %); представники коловертки були представлені лише одним видом (12,5%); представники черепашкових ракоподібних не були виявлені. Показник сапробності (S) у літній період в межах даної знаходився на рівні 2,6 який притаманний для тих гідроекосистем, що є помірно забрудненими.

**Висновки.** Порівняння отриманих даних за літній та осінній періоди дозволило дійти висновку, що дія механізмів саморегуляції та самовідновлення у досліджуваних екосистемах сприяє відносному врівноваженню видового різноманіття серед угруповань зоопланктерів після тривалого періоду з моменту припинення дії збурюючого фактору, проте варто зауважити, що процес врівноваження є повільним та нестійким у часі, що вимагає продовження моніторингових заходів і надалі.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані в результаті дослідження дані є необхідним елементом комплексного дослідження стану водних екосистем деокупованих територій Київської області у післявоєнний період та кількісної оцінки шкоди, що була завдана довкіллю внаслідок воєнних дій. Для цього вкрай важливо також визначити тривалість відновлювального періоду пошкоджених воєнними діями екосистем для адекватної оцінки шкоди довкіллю.

### Література

1. Хільчевський, В. К., Гребінь, В. В. *Деякі аспекти щодо стану територій районів річкових басейнів та моніторингу вод під час вторгнення Росії в Україну*. Київ, 2022. Гідрологія, гідрохімія і гідроekологія, 3(65), 2022. С. 6–14. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.3.1>.
2. Гарасим, А., Кельм, Н. *Підriv греблі річки Ірпінь. Як росіяні зупинила вода*, 2022. URL: <https://texty.org.ua/articles/106945/pidryv-hrebli-richky-irpin-yak-rosiyan-zupynyla-voda/>
3. Mundy, V. *Ukraine's 'hero river' helped save Kyiv. But what now for its newly restored wetlands?*. *The Guardian*. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2022/may/11/ukraine-hero-irpin-river-helped-save-kyiv-but-what-now-for-its-newly-restored-wetlands-aoe>
4. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A. *et al.* Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nat Sustain* 6, 578–586, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
5. Берія, В. Д., Гандзюра, В. П. *Стан угруповань літорального зоопланктону різнотипних водойм Бучанського району. Міжнародна наукова конференція за участю молодих науковців "Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування"*. Одеський державний екологічний університет, 2022. С. 24–26.
6. Василюк О., Симонов С. *План відновлення України у дзеркалі розливу річки Ірпінь. Журнал про екологічні наслідки війни*. Ukraine War Environmental Consequences Work Group, 5, 2022. С. 3–20.
7. Національна академія наук України. *Науковці Академії спрогнозували характер підтоплення території Київської області, спричиненого російським вторгненням*. Київ, 2022. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/news/Pages/View.aspx?MessageID=9011>
8. Трохимець, В. М., & Алексієнко, В. Р. *Методичні рекомендації до практикуму з курсу "Гідробіологія"*. Київ, 2010. С. 5–19. Київський університет.
9. Hensen, V. *Methodik der untersuchungen*. In *Ergebnisse der Plankton-Expedition der Humboldt-Stiftung*. Lipsius and Tischer. Kiel, 1895.

УДК 556.3:911.3:504.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.22>

## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПИТНОЇ ВОДИ БЕРДИЧІВСЬКОГО РАЙОНУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ВМІСТ СУЛЬФАТІВ, ХЛОРИДІВ ТА НІТРАТІВ

Романчук Л.Д.<sup>1</sup>, Кравчук Т.В.<sup>1</sup>, Можарівська І.А.<sup>1</sup>, Шацilo Є.Г.<sup>1</sup>, Романчук Л.М.<sup>2</sup><sup>1</sup>Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

<sup>2</sup>Житомирська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»

пр. Миру, 31, 10020, м. Житомир

ludmilaromanchuk14@gmail.com, taja\_slivinsjka@ukr.net,

innamozharivska@gmail.com, lizadomanchuk@gmail.com

Питання екологічної безпеки питної води в Україні є стратегічно важливим. Враховуючи те, що наша країна належить до таких країн, що мають обмежені ресурси питної води, у зв'язку з підвищеним рівнем забруднення централізованих та децентралізованих систем водопостачання. Надзвичайно актуальною ця проблема є в містах та селах, де більшість населення використовують для забезпечення господарсько-побутових та питних потреб як підземні води так і води з поверхневих водних джерел [1 с. 28].

Метою роботи було дослідження питної води Бердичівського району Житомирської області на вміст нітратів, хлоридів та нітратів. Результати дослідження питної води джерел централізованого та децентралізованого водопостачання Бердичівського району Житомирської області визначено вміст хлоридів. Упродовж 2020–2022 років перевищень ДСТУ 7525:2014 та ДСанПіН 2.2.4-171-10 для даних сполук не виявлено у жодній з досліджуваних проб. Однак підвищена концентрація хлоридів спостерігалась у воді з колодязів порівняно з водогами.

За результатами досліджень, встановлено, що підвищений вміст хлоридів та сульфатів у пробах питної води залежав від мережі водопостачання та мав підвищені показники саме у колодязній воді. Якщо показники хлоридів та сульфатів у питній воді Бердичівського району Житомирської області перебували у межах норми, то показники нітратів, навпаки, перевищували допустимі значення. У динаміці 2020–2022 років спостерігалось підвищення вмісту нітратів у питній воді джерел як централізованого, так і децентралізованого водопостачання. Причиною даної ситуації можна вважати зменшення водності річок на протязі останніх років та зниження рівня підґрунтових вод, що спричиняє підвищення концентрації усіх забруднювальних речовин, особливо нітратів.

У результаті дослідження питної води Бердичівського району Житомирської області на вміст нітратів, хлоридів та нітратів з джерел централізованого і децентралізованого водопостачання встановлено що ситуація є напруженою, проте вміст сульфатів та хлоридів не перевищує відповідних норм. Вміст нітратів у питній воді досліджуваних колодязів у 2020–2022 роках має значне перевищення норм ДСТУ 7525:2014 та ДСанПіН 2.2.4-171-10. *Ключові слова:* питна вода, забруднення води, екологічна безпека, державні санітарні норми, антропогенні джерела забруднення, екологія.

### **Ecological assessment of drinking water in Berdychiv district of Zhytomyr region for sulphates, chlorides and nitrates. Romanchuk L., Kravchuk T., Mozharivska I., Shatsylo Ye., Romanchuk L.**

The issue of environmental safety of drinking water in Ukraine is strategically important. Given that our country is one of the countries with limited drinking water resources, due to the high level of pollution of centralised and decentralised water supply systems. This problem is particularly acute in cities and villages, where the majority of the population uses both groundwater and water from surface water sources to meet their household and drinking needs [1 p. 28].

The aim of the study was to investigate the content of nitrates, chlorides and nitrates in drinking water of Berdychiv district, Zhytomyr region. The results of the study of drinking water from centralised and decentralised water supply sources in Berdychiv district, Zhytomyr region, revealed the content of chlorides. During 2020–2022, no exceedances of DSTU 7525:2014 and Sanitary and Epidemiological Norms (SanPIN) 2.2.4-171-10 for these compounds were detected in any of the samples. However, an increased concentration of chlorides was observed in water from wells compared to water supply systems.

According to the results of the research, it was found that the increased content of chlorides and sulphates in drinking water samples depended on the water supply network and had increased indicators in well water. While chloride and sulphate levels in the drinking water of Berdychiv district, Zhytomyr region, were within normal limits, nitrate levels, on the contrary, exceeded the permissible values. In the dynamics of 2020–2022, there was an increase in the content of nitrates in drinking water from both centralised and decentralised water supply sources. The reason for this situation can be attributed to a decrease in river water content in recent years and a decline in groundwater levels, which leads to an increase in the concentration of all pollutants, especially nitrates.

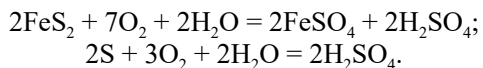
The study of drinking water in Berdychiv district, Zhytomyr region, for nitrates, chlorides and nitrates from centralised and decentralised water supply sources revealed that the situation is tense, but the content of sulphates and chlorides does not exceed the relevant standards. The content of nitrates in the drinking water of the studied wells in 2020–2022 significantly exceeds the standards of DSTU 7525:2014 and Sanitary and Epidemiological Norms (SanPIN) 2.2.4-171-10. *Key words:* drinking water, water pollution, environmental safety, state sanitary standards, anthropogenic sources of pollution, ecology.

**Актуальність дослідження.** Вода на планеті з'явилась задовго до появи перших людей. Вона займає дуже важливе місце в складній комбінації, в якій зародилось життя. Вода – це особлива речовина на Землі, яка є унікальним середовищем, вона поєднує живу і неживу матерії. Негативний вплив на здоров'я людини мають такі іони, як сульфати ( $\text{SO}_4^-$ ), хлориди ( $\text{Cl}^-$ ), нітрати ( $\text{NO}_3^-$ ), фториди ( $\text{F}^-$ ) [2].

Гігієнічне значення хлоридів характеризується їх походженням. При високому вмісті хлоридів у питній воді (1000–2500 мг/дм<sup>3</sup>, норма 350 мг/дм<sup>3</sup>) в організмі людини відбувається інтенсивне та довготривале навантаження видільної функції, підвищується фільтрувальна робота нирок, активізуються гормональні процеси, які безпосередньо пов'язані з розподіленням його по організмі між кров'ю та позаклітинною рідиною. Тому необхідно визначати та контролювати вміст даних речовин у воді [3; 4, с. 114].

Дуже небезпечними є також сульфати. Вміст сульфатів у природних водоймах коливається в широких межах (від міліграма до декількох грамів на літр), це викликано вимиванням солевмісних порід, а також скиданням у природні водойми побутових або промислових відходів. Вміст у воді сульфатів близько 500 мг/л надає їй солонуватого присмаку і викликає порушення роботи травної системи [5; 6, с. 27; 7, с. 61].

Найпоширенішим джерелом сульфатів у водоймах є процеси хімічного вивітрювання та розчинення сірковмісних мінералів, найчастіше гіпсу, та окислення сульфідів і сірки:



Велика кількість сульфатів потрапляє у природні водойми при відмиранні живих організмів, окислення речовин рослинного і тваринного походження. Однак найбільшими та найнебезпечнішими забрудниками води вважаються нітрати. Нітрати найчастіше містяться у поверхневих водах [8; 10, с. 40]. В концентрації понад 20 мг/л нітрати викликають токсичну дію на організм людей та тварин. Часте вживання води з високим вмістом нітратів викликає захворювання крові, серцево-судинної системи, приводить до метгемоглобінемії у дітей [7, с. 61; 9].

**Мета роботи.** Метою роботи було дослідження питної води Бердичівського району Житомирської області на вміст нітратів, хлоридів та нітратів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вперше у світі хлор використовували при знезараженні води від холери та чуми у XIX столітті. У 1870 році німецький науковець та бактеріолог Роберт Кох висунув пропозицію очищати питну воду при боротьбі з епідемією холери піпохлоридом натрію. А у 1914 році у США було прийнято Національний державний стандарт (на даний час він складається з 102 показників) [11, с. 17]. У 1937 році у СРСР також було розроблено державний стандарт. Це були одні з перших стандартів у світі, які удо-

сконалюються і сьогодні. Технології очищення води та стандарти, які використовуються зараз є застарілими та абсурдними. Хлорування природної води викликає утворення надзвичайно великої дози дуже токсичних хлорорганічних сполук, які важко визначаються в лабораторіях, та які викликають утворення діоксинів, що містяться практично у всіх водогонах світу [12, с. 294].

Проведені лабораторні дослідження водопровідних систем у таких містах світу, як Київ, Нью-Йорк, Париж, Лондон, Тель-Авів та ін., вказує, що майже скрізь застосовується технологія інтенсивного хлорування. Проте формально якість даної води відповідає стандартам ВООЗ [13, с. 1557]. Дослідження вчених Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А. Думанського вказують на те, що вимоги ВООЗ є давно застарілими, тому не показують реальний стан системи водозабезпечення. У водогонах вода всюди піддається біообростанню, з'являються різні форми мікрофлори, що призводить до розповсюдження в природі дуже токсичних для людини мікроскопічних грибів роду *Penicillium*.

Дослідження свідчать, що використання хлору при знезаражуванні води призводить до утворення сотень супертоксичних сполук, серед яких дуже небезпечними є хлорорганічні сполуки, що мають, окрім надзвичайної токсичності, канцерогенність та мутагенність. Наступне очищення з використанням активованого вугілля прибирає не всі з них [10, с. 41].

Що ж до високого вмісту нітратів, то вони викликають водно-нітратну метгемоглобінемію. Водно-нітратна метгемоглобінемія характеризується токсичною дією нітратів, що викликає кисневе голодування тканин (гіпоксії), яке виникає внаслідок порушеного транспортування кисню кров'ю, та пригніченої активності ферментних систем, які мають бути задіяні у процесах тканинного дихання всього організму [11, с. 17].

Варто зазначити, що кожного року збільшується кількість проб води які сильно забруднені нітратами. Науковці ДУ «Київський ОЛЦ ДСЕСУ» та інші структурні підрозділи у 2021 році зафіксували 12 випадків перевищення вмісту нітратів у питній воді. З 2251 проби води приватних криниць, що були досліджені у 2021 році, виявлено перевищення залишкових концентрацій нітратів у 498 пробах (22,1 %). Найбільше проб з перевищеним вмістом нітратів було виявлено в Миронівському, Білоцерківському, Рокитнянському, Сквирському, Таращанському та Фастівському районах. У 2022 році було досліджено 623 проби, перевищення залишкових концентрацій нітратів виявлено в 125 (20,1 %) пробах. Найбільша кількість проб з перевищенням нормативу щодо нітратів було виявлено в Фастівському, Миронівському та Сквирському районах. Подібна тенденція була зафіксована і в Кіровоградській області. Подібні результати досліджень водних об'єктів отримали також на Тернопільщині [7, с. 61; 11, с. 17].

Дослідження водних об'єктів Європейських країн свідчать, що там ситуація є дещо кращою. Проте трапляються випадки забруднення водойм, найчастіше ґрунтових. Так, доведено, що 21 % ґрунтових вод у Німеччині в деякі роки перевищують поріг у 50 мг/л нітратів. Рідше спостерігалися випадки забруднення питної води і в інших регіонах.

**Методи дослідження.** При проведенні дослідження було використано польовий метод (відбір проб води) та лабораторний (дослідження вмісту сполук нітратів, хлоридів та нітратів у пробах). Для визначення вмісту досліджуваних сполук у пробах питної води застосовували стандартні методики, зокрема: ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості, ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання, ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною.

**Результати дослідження.** Результати дослідження питної води джерел централізованого та децентралізованого водопостачання Бердичівського району Житомирської області визначено вміст хлоридів (рис. 1). Упродовж 2020–2022 років перевищень ДСТУ 7525:2014 та ДСанПіН 2.2.4-171-10 для даних сполук не виявлено у жодній з досліджуваних проб. Однак підвищена концентрація хлоридів спостерігалась у воді з колодязів порівняно з водогонями.

У динаміці 2020–2022 років спостерігалась тенденція до підвищення вмісту хлоридів як у пробах води з колодязів, так і з водогонів. Підвищений вміст хлоридів у воді можливий, як при проходженні водоносного горизонту через поклади солончакових ґрунтів, так і при забрудненні вод стічними водами промислового або побутового походження. Оскільки в Бердичівському районі немає солончакових ґрунтів, то підвищений вміст хлоридів у воді пов'язана із потраплянням до водоносних пластів відходів саме побутового походження. Проте в досліджуваних про-

бах води перевищень норм ДСанПіН 2.2.4-171-10 не встановлено.

Також, небезпечними забруднювачами вод є сульфати – солі сульфатної кислоти. Головним компонентом сульфатів є сірка, яка є основною складовою частиною білкових тіл. При розкладанні та окисленні сірка переходить у солі сульфатної кислоти, які в подальшому потрапляють до водойм, а далі – до мережі водопостачання. В результаті підвищується вміст сульфатів у воді, що спричиняє розлади кишково-шлункового тракту, так як дані речовини погано засвоюються кишечником. При підвищенні вмісту сульфатів у питній воді понад 1000 мг/дм<sup>3</sup> або вище, погіршується секреторна діяльність шлунку, процес засвоювання та перетравлення їжі.

Досліджуючи проби води, ми здійснили порівняльну характеристику вмісту сульфатів у питній воді криниць та водогонів (рис. 2).

Встановлено, що вміст сульфатів був вищим у колодязній воді, порівнюючи з водогінною у 1,4–2,2 рази. За результатами лабораторних досліджень в пробах води перевищень норм ДСТУ 7525:2014 та ДСанПіН 2.2.4-171-10 для сульфатів не виявлено. На протязі досліджуваних років виявлено тенденцію до незначного підвищення вмісту даних сполук у питній воді Бердичівського району.

За результатами досліджень, встановлено, що підвищений вміст хлоридів та сульфатів у зразках питної води залежав від мережі водопостачання та мав підвищені показники саме у колодязній воді. Якщо показники хлоридів та сульфатів у питній воді Бердичівського району знаходились у межах норми, то показники нітратів, навпаки, перевищували допустимі значення.

У динаміці 2020–2022 років спостерігалось підвищення вмісту нітратів у питній воді джерел як централізованого, так і децентралізованого водопостачання. Причиною даної ситуації можна вважати зниження водності річок на протязі останніх років та зменшення рівня підґрунтових вод, що спричи-

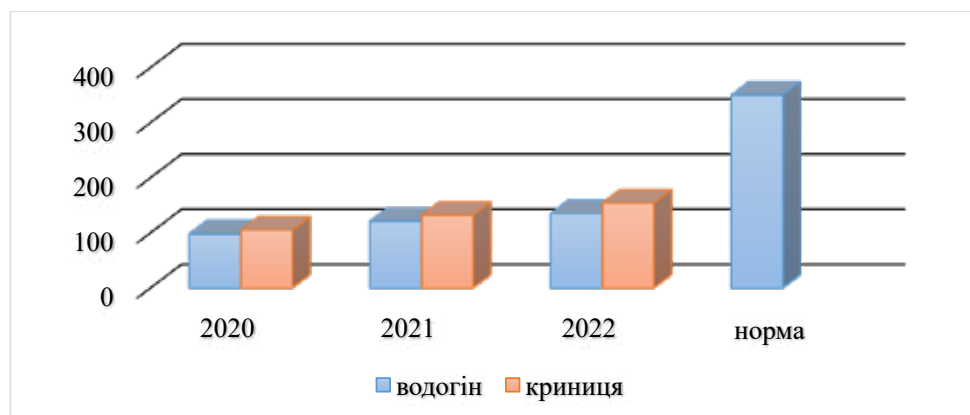


Рис. 1. Порівняльна характеристика вмісту хлоридів (мг/дм<sup>3</sup>) у воді питній централізованого та децентралізованого водопостачання Бердичівського району Житомирської області (2020–2022 роки) (n=5)

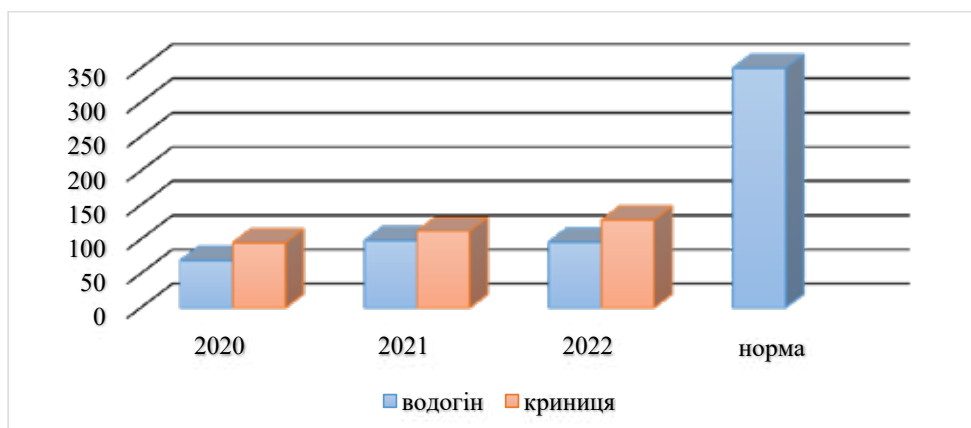


Рис. 2. Порівняльна характеристика вмісту сульфатів ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) у воді питній централізованого та децентралізованого водопостачання Бердичівського району Житомирської області (2020–2022 роки) ( $n=5$ )

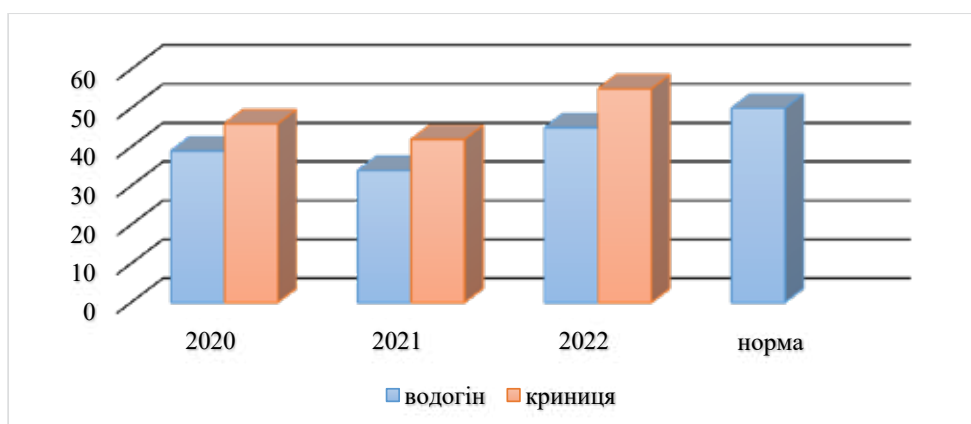


Рис. 3. Порівняльна характеристика вмісту азоту нітратного у питній воді Бердичівського району Житомирської області (2020–2022 роки) ( $n=5$ )

няє підвищення концентрації усіх забруднювальних речовин, особливо нітратів (рис. 3).

Дані результатів дослідження стверджують, що у пробах води з колодязів забруднення нітратами було вищим в 1,5 раза, ніж у пробах з водогонів. У воді, що була відібрана з водогонів, виявлено лише одну пробу води зі значним підвищенням норм нітратів (2021 рік – с. Крилівка). У воді колодязів зразки питної води відбирались регулярно. Результати аналізу кількості забруднених проб води за вмістом нітратів у питній воді колодязів у 2020 році наведено в табл. 1.

У 2020 році лише дванадцять проб води, яка була відібрана з колодязів досліджуваних сіл Бердичівського району, перевищували нормативи нітратів. Чотири зразки води з перевищенням нітратів були відібрані с. Крилівка (навесні, дві влітку та взимку по одному зразку), три проби води, відібрані в с. Нова Чорнорудка (одну пробу навесні та дві проби влітку), ще дві проби води, відібрані влітку в с. Роставиця, дві проби – у с. Шпичинці та одну – у с. Ярославка.

Кращі показники проб води з водогонів пояснюються її захищеністю від зовнішнього забруднення.

Аналогічні дослідження проводились й у 2021 році. Результати даних досліджень наведено у табл. 2.

При проведенні досліджень у 2021 році були виявлені 16 проб води котрі мали перевищення норми ДСТУ 7525:2014 та ДСанПіН 2.2.4-171-10. Серед них п'ять проб води, відібрані в с. Шпичинці (по дві навесні та влітку, восени – одна проба), одна проба, відібрана навесні в с. Нова Чорнорудка, чотири зразки – в с. Роставиця (по одній пробі взимку та на весні, два – влітку), та по три проби води, відібрані в с. Крилівка та Ярославка (по одній у сезон, окрім зими).

Критичною ситуація стала у 2022 році. У деяких колодязях які досліджувались в попередні роки влітку вода була відсутня взагалі. Зазвичай дане явище спостерігалось на підвищених ділянках рельєфу. Дана ситуація пояснюється цілковитою відсутністю опадів впродовж травня місяця та протягом майже всього літа. Відсутність опадів протягом такого довгого періоду може спричинити екологічну катастрофу для Полісся. У другій половині літа населення Бердичівського району, що використовувало питну воду лише з колодязів, не мало води для



Таблиця 1

**Кількість перевищень ДСТУ 7525:2014 та ДСанПІН 2.2.4-171-10 для азоту нітратного у пробах питної води Бердичівського району в 2020 році (n=5)**

Назва населеного пункту	Децентралізоване водопостачання			
	Зима	Весна	Літо	Осінь
с. Крилівка	-	1	2	1
с. Нова Чорнорудка	-	1	2	-
с. Роставиця	-	-	2	-
с. Шпичинці	-	1	1	-
с. Ярославка	-	-	1	-

Таблиця 2

**Кількість перевищень ДСТУ 7525:2014 та ДСанПІН 2.2.4-171-10 для азоту нітратного у пробах питної води Бердичівського району в 2021 році (n=5)**

Назва населеного пункту	Децентралізоване водопостачання			
	Зима	Весна	Літо	Осінь
с. Крилівка	-	1	1	1
с. Нова Чорнорудка	-	1	-	-
с. Роставиця	1	1	2	-
с. Шпичинці	-	2	2	1
с. Ярославка	-	1	1	1

Таблиця 3

**Кількість перевищень ДСанПІН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014 для азоту нітратного у пробах питної води Лугинського району в 2016 році (n=5)**

Назва населеного пункту	Децентралізоване водопостачання			
	Зима	Весна	Літо	Осінь
с. Крилівка	-	1	2	1
с. Нова Чорнорудка	-	2	2	-
с. Роставиця	-	1	4	1
с. Шпичинці	1	-	2	1
с. Ярославка	-	2	3	1

побутових потреб та для напування худоби. Вода, що залишилася в деяких колодязях, мала значне перевищення нітратів та не відповідала санітарним нормам.

Результати лабораторних досліджень питної води на вміст нітратів у Бердичівському районі у 2022 році виявили 22 проби, які мали значне перевищення норм ДСанПІН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014 (табл. 3). В криницях, що влітку 2022 року ще мали невелику кількість питної води, відмічено підвищення вмісту нітратів. З даних проб – шість проб з перевищенням були відібрані в с. Роставиця (по одній пробі – навесні та восени і чотири зразки влітку), чотири зразки в с. Нова Чорнорудка (по два навесні та влітку), шість проб води, відібрані в с. Ярославка (два – навесні, три – влітку та один восени), чотири проби води, відібрані в с. Шпичинці (по одній пробі – взимку та восени, та дві проби – влітку), три проби в с. Крилівка, одна проба навесні та дві – влітку.

У решті досліджуваних проб питної води з колодязів перевищень норм ДСанПІН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014 не виявлено, проте вміст нітратів був близьким до допустимої межі.

**Висновки.** У результаті дослідження питної води Бердичівського району Житомирської області на вміст нітратів, хлоридів та нітратів з джерел централізованого і децентралізованого водопостачання встановлено що ситуація є напруженою, проте вміст сульфатів та хлоридів не перевищує відповідних норм. Вміст нітратів у питній воді досліджуваних колодязів у 2020–2022 роках має значне перевищення норм ДСТУ 7525:2014 та ДСанПІН 2.2.4-171-10. Причиною цього, передусім, є низька водність річок, зниження рівня підземних вод, та зменшення рівня води джерел децентралізованого водопостачання через сильну засуху, яке не є характерною для Полісся. Результати досліджень свідчать про тенденцію до

збільшення вмісту даних забруднюючих сполук, як у колодязях, так і в воді водогону. Тому, можна зробити висновки, що вміст азотистих сполук у воді з джерел централізованого водопостачання

є дещо нижчим, ніж у воді джерел децентралізованого водопостачання. Без додаткового очищення дану воду не можна використовувати для питного водопостачання.

### Література

1. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк, та ін. К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – с. 28
2. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища. URL: <https://mepr.gov.ua/timeline/Regionalnidopovidipro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha.html>.
3. Данні державного моніторингу поверхневих вод. URL: <https://data.gov.ua/dataset/surface-water-monitoring>.
4. Романчук М.Є., Ткач К.С., Поліщук А.А., Колісник А.В. Оцінка якості води р. Дністер-водозабір за гідрохімічними показниками протягом 1998–2012 рр. та особливості змін біогенних речовин за характерні по водності роки. *Вісн. Одес. держ. екол. унів.* 2015. № 19. С. 114–119.
5. Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики: Директива № 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 р. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_962#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text).
6. Данчишин М. В. Оцінка впливу нітратів на здоров'я населення при надходженні з питною водою. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України.* 2023. № 2 (96). С. 27–33. DOI 10.11603/1681-2786.2023.2.14031.
7. Лотоцька-Дудик У. Б., Лотоцька Л. Б., Станько О. М. Медично-гігієнічна оцінка впливу нітратів джерел децентралізованого водопостачання на захворюваність систем серцево-судинної та кровообігу. *XXVI AML.* 2020. № 2–3. С. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.25040/aml2020.02-03>.
8. Aghapour S., Bina B., Tarrahi M. J., Amiri F., Ebrahimi A. Comparative health risk assessment of nitrate in drinking groundwater resources of urban and rural regions (Isfahan, Iran), using GIS. *Environ Monit Assess.* 2021. № 12. 193(12):794. doi: 10.1007/s10661-021-09575-0. PMID: 34767107.
9. 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. *Sci Rep.* 2020. 10. 5206. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62187-5>.
10. Huschuk I. V., Brezetska O. I., Huschuk V. I., Drab R. R. Monitoring and ecological-and-hygienic evaluation of the quality of drinking water from the sources of decentralized water supply in Rivne region for 2004–2015. *Environment & Health.* 2018. № 1. P. 41–46.
11. 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). С. 17–26. DOI: 10.15421/2021\_65.
12. Stayner L. T., AlMBERG K., Jones R., Graber J., Pedersen M., Turyk M. Atrazine and nitrate in drinking water and the risk of preterm delivery and low birth weight in four Midwestern states. *Environ Res.* 2017. 152:294–303.
13. Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D., de Kok T. M., Weyer P. J., Nolan B. T., Villanueva C. M., van Breda S. G. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *International journal of environmental research and public health.* 2018. 15(7). 1557. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071557>.
14. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Пацева І.Г., Устименко В.І, Шацило Є.Г. Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між захворюваністю населення та якістю питної води джерел нецентралізованого водопостачання. *Екологічні науки.* 2024. Вип. 1 (52), Т.2. С. 23–28.
15. 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.

## МАТЕРАЛЬНИЙ ТА ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЙ СУЛЬФАТУ – КОАГУЛЯНТУ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ТА СТИЧНИХ ВОД

Супрунчук В.І., Іванюк О.В.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
пр. Берестейський, 37, 03056, м. Київ  
olenavanyuk@ukr.net

Розроблено новий алгоритм розрахунку матеріального та теплового балансу процесу виробництва коагулянту алюмінію сульфат-гідрату який широко застосовується для очищення стічних та природних вод. Методологічним підґрунтям є використання бруто-формули частково гідролізованого коагулянту  $Al_2(OH)_n(SO_4)_{3-n}$ , який дозволяє виконати розрахунки з врахуванням проблем різного походження: хімічної концепції і проблем експлуатації та зберігання коагулянту очищення стічних вод. Хімічна концепція методу включає, окрім реакції нейтралізації алюмінію гідроксиду сульфатною кислотою, також ступінь гідролізу готового продукту, який регулюється зменшенням значення дози сульфатної кислоти відносно реакції нейтралізації. Доза сульфатної кислоти може задаватися в широкому інтервалі значень (1–0.666), включно до утворення дигідроксо-сульфату алюмінію (ДГСА)  $Al_2(OH)_2(SO_4)_2$ . Це дозволяє використовувати запропонований алгоритм для розрахунку матеріального балансу ДГСА. Проблеми злежування та зберігання коагулянту, які на виробництві вирішуються зменшенням вмісту кристалізаційної води в коагулянті (що тестується вмістом  $Al_2O_3$  в коагулянті), в алгоритмі розрахунку вирішуються встановленням необхідного значення  $\omega(Al_2O_3)$  в коагулянті, але впливає за методологією алгоритму розрахунку на кількість кристалізаційної води в продукті. Новим є те, що для розрахунку теплового балансу використано дані теплового та застосовано поняття фізичної теплоти та теплових ефектів реакцій і теплових ефектів утворення розчинів, пароутворення та інших процесів, які спостерігаються в технологічному процесі виробництва. Наведено приклад розрахунку матеріального та теплового балансу виробництва коагулянту алюмінію сульфат-гідрату. *Ключові слова:* стічні води, коагулянт, технологічний процес, матеріальний баланс, тепловий баланс, бруто-формула, теплові ефекти, приклад розрахунку.

### Material and heat balance of the production of aluminum sulfat-hydrate – a coagulant for native and waster water treatment. Suprunchuk V., Ivaniuk O.

A new algorithm for calculating the material and heat balance of the aluminum sulfate-hydrate coagulant production process, which is widely used for wastewater and natural water treatment, has been developed. The methodological basis is the use of the gross formula of the partially hydrolyzed coagulant  $Al_2(OH)_n(SO_4)_{3-n}$ , which allows you to perform calculations taking into account problems of various origins: the chemical concept and the problems of operation and storage of the coagulant for wastewater treatment. The chemical concept of the method includes, in addition to the neutralization reaction of aluminum hydroxide with sulfuric acid, also the degree of hydrolysis of the finished product, which is regulated by decreasing the dose of sulfuric acid relative to the neutralization reaction. The dose of sulfuric acid can be set in a wide range of values (1–0.666), including the formation of dihydroxo-aluminum sulfate (DHSA)  $Al_2(OH)_2(SO_4)_2$ . This makes it possible to use the proposed algorithm for calculating the material balance of the DHSA. Coagulant coagulation and storage problems, which are solved in production by reducing the content of crystallization water in the coagulant (which is tested by the content of  $Al_2O_3$  in the coagulant), which is taken into account in the calculation algorithm by setting the required value

$\omega(Al_2O_3)$  in the coagulant, but it affects the amount of water of crystallization in the product according to the methodology of the calculation algorithm. What is new is that for the calculation of the heat balance, thermal data were used and the concepts of physical heat and thermal effects of reactions and thermal effects of solution formation, vaporization and other processes observed in the technological process of production were applied. An example of calculating the material and heat balances for the production of aluminum sulfate hydrate coagulant is given. *Key words:* wastewater, coagulant, technological process, material balance, heat balance, brutto-formula, thermal effects, calculation example.

**Постановка проблеми.** Коагулянт алюмінію сульфат гідрат широко використовується при очищенні питної води та стічних вод від завислих домішок. Алюміній сульфат гідрат утворений катіоном слабкої основи, яка при збільшенні рН розчину послідовно утворює гідроксокомплекс. Переважне існування гідролізованих форм катіону алюмінію можна представити як:  $Al(OH)^{2+}$  – (рН = 3.8–4.9);  $Al(OH)_2^+$  – (рН = 5.0–5.6);  $Al(OH)_3$  – (рН = 7.2–7.6);  $Al(OH)_4^-$  – (рН > 7.6).

У водних розчинах ця сіль алюмінію частково гідролізує в основному за першою стадією у відповідності з реакцією:



це призводить до підкислення розчинів алюмінію сульфату, що збільшує їх корозійну активність. Зменшуючи дозу сульфатної кислоти при розчиненні алюмінію гідроксиду коагулянт містить групу  $Al(OH)^{2+}$ , яка при виготовленні робочого розчину

нейтралізує кислотний гідроген-йон, що утворюється при гідролізі, зменшуючи таким чином корозійну активність робочого розчину коагулянту.

**Новизна.** Промисловий коагулянт алюмінію сульфат-гідрат виробляється у вигляді кусків невизначеної форми або гранул. Якщо вміст  $Al_2O_3$  в коагулянті менший за 15%, то при зберіганні такий коагулянт злежується. Для запобігання процесу злежування в готовому продукті необхідно зменшувати кількість кристалізаційної води на стадії розбавлення концентрованої сульфатної кислоти до концентрації робочого розчину [1, 2]. Таким чином аналіз процесу виробництва коагулянту свідчить, що виробництво коагулянту стандартизованої якості впливає не тільки хімічна концепція методу, а й умови експлуатації та збереження алюмінію сульфату-гідрату. Цю взаємозалежність основних стадій виробництва необхідно врахувати при розробці алгоритму розрахунку матеріального та теплового балансу процесу.

В роботі представлено новий алгоритм розрахунку матеріального та теплового балансу виробництва коагулянту алюміній сульфат-гідрату з використанням бруто-формули коагулянту; такий методологічний підхід дозволяє врахувати взаємозв'язок стадій виробництва і виконати обчислення технологічних параметрів процесу що визначає наукову новизну алгоритму розрахунку.

**Аналіз джерел та останніх досліджень.** Публікацій в науково-технічній та періодичній літературі на цю тему не виявлено.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Розрахунки за розробленим алгоритмом вказують актуальність запропонованого методу обчислень, який полягає в пришвидшенні процесу проєктування нових локальних регіональних виробництв коагулянту та при реконструкції діючих виробництв спрямованих на виготовлення дигідро-оксосульфату алюмінію.

**Метою статті є:** розробка алгоритму розрахунку матеріального та теплового балансу виробництва коагулянту алюміній сульфат-гідрату, який би цілісно поєднував вирішення проблем різного генезису, тобто проблеми хімічної концепції методу та проблеми експлуатації та зберігання коагулянту.

**Методологічне та загальнонаукове значення.** Для розрахунку матеріального балансу методологічним підґрунтям є системне використання поняття бруто-формули частково гідролізованого коагулянту за рахунок зменшення дози сульфатної кислоти відносно стехіометрії реакції нейтралізації алюмінію гідроксиду. Це дозволяє врахувати взаємозв'язок окремих стадій виробництва та зберігання коагулянту і виконати обчислення технологічних параметрів процесу та використання цих даних для теплового балансу, методологічною основою розрахунку якого є використання поняття фізичної теплоти речовини та теплових ефектів процесів, що мають місце в технологічному процесі (теплові

ефекти хімічної реакції, приготування розчину, пароутворення тощо).

**Виклад основного матеріалу.** Вихідні данні:

– вміст  $Al_2O_3$  в коагулянті  $\omega_1 \geq 15.3\%$  для запобігання злежуваності коагулянта;

– вологий  $Al(OH)_3$  ( $M(Al(OH)_3) = 78$  г/моль =  $0.078$  кг/моль) з вмістом води  $\omega_2 = 12\%$ ;

– сульфатна кислота ( $M(H_2SO_4) = 98$  г/моль =  $0.098$  кг/моль) концентрована  $\omega_3 = 92.2\%$ ;

– доза сульфатної кислоти відносно реакції нейтралізації алюмінію гідроксиду  $D(H_2SO_4) = 0.98$  для підвищення рН коагуляційного очищення води та зменшення корозійної активності розчину коагулянту відносно технологічного обладнання;

– температура ведення процесу нейтралізації  $t \leq 120$  °C обмежена температурою кипіння сульфатної кислоти та технологічних розчинів в реакторі нейтралізації;

– обчислення виконати відносно 1000 кг коагулянту з наступним масштабуванням у відповідності з потужністю виробництва.

**1.** Обчислення проводимо з використанням бруто-формули алюмінію сульфату, яка формується при дозі сульфатної кислоти  $D(H_2SO_4) = 0.98$ ;

– бруто-формула алюмінію сульфату безводного:  $Al_2(OH)_{0.12}(SO_4)_{2.94}$ ;

– молярна маса бруто-формули алюмінію сульфату безводного:  $M(Al_2(OH)_{0.12}(SO_4)_{2.94}) = 338.28$  г/моль;

– масова частка  $Al_2O_3$  в алюміній сульфаті безводному:

$$\begin{aligned} \omega(Al_2O_3) &= \frac{M(Al_2O_3)}{M(Al_2(OH)_{0.12}(SO_4)_{2.94})} \cdot 100 = \\ &= \frac{102.0}{338.28} \cdot 100 = 30.15\% \end{aligned}$$

– молярна маса бруто-формули коагулянту кристалогідрату у відповідності з заданим у вихідних даних вмістом  $Al_2O_3$  ( $\omega_1 \geq 15.3\%$ ):

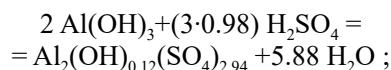
$$\begin{aligned} M(Al_2(OH)_{0.12}(SO_4)_{2.94} \cdot n(H_2O)) &= \\ &= \frac{338.28 \cdot 30.15}{15.3} = 666.6 \text{ г/моль} = 0.6666 \text{ кг/моль}; \end{aligned}$$

– кількість моль  $H_2O$  в коагулянті:

$$n(H_2O) = \frac{666.6 - 338.28}{18} = 18.24 \text{ моль}$$

– відповідно бруто-формула коагулянту набуває вигляд:  $Al_2(OH)_{0.12}(SO_4)_{2.94} \cdot 18.24(H_2O)$ ;

– рівняння бруто-реакції утворення коагулянту алюмінію сульфату без врахування концентрації сульфатної кислоти та вологості  $Al(OH)_3$  при дозі  $D(H_2SO_4) = 0.98$ :



– кількість моль  $H_2O$ , яку необхідно внести в реакційну суміш для отримання коагулянту з брутто-формулою  $Al_2(OH)_{0,12}(SO_4)_{2,94} \cdot 18,24(H_2O)$ . Ця кількість води окрім  $H_2O$ , яка утворюється за реакцією нейтралізації, вноситься також з вологим  $Al(OH)_3$  та з сульфатною кислотою  $\omega_3=92,2\%$  і технологічною водою;

– кількість  $H_2O$ , яка вноситься з вологим  $Al(OH)_3$ :

$$2 Al(OH)_3 = 156 \text{ г} \rightarrow \text{вологий } Al(OH)_3 = 177 \text{ г} \rightarrow m(H_2O) = 21,3 \text{ г} \rightarrow n(H_2O) = 1,18 \text{ моль};$$

– кількість  $H_2O$ , яка вноситься з вихідною сульфатною кислотою  $\omega_3=92,2\%$ :

$$2,94 H_2SO_4 = 288,12 \text{ г} \rightarrow m(H_2SO_4, \omega_3=92,2\%) = 312,49 \text{ г} \rightarrow m(H_2O) = 24,37 \text{ г} = 1,35 \text{ моль};$$

– кількість води, яка необхідна для забезпечення брутто-формули коагулянта  $Al_2(OH)_{0,12}(SO_4)_{2,94} \cdot 18,24(H_2O)$  і вноситься в реакційну суміш як технологічна вода:

$$n(H_2O) = 18,24 - 5,88 - 1,18 - 1,35 = 9,83 \text{ моль}.$$

**2. Матеріальний баланс виробництва коагулянту алюмінію сульфату в розрахунку на 1000 кг коагулянта.**

– маса технологічної води, яку необхідно внести в реакційну суміш в розрахунку на 1000 кг коагулянта:

$$m(H_2O) = \frac{10000 \cdot 0,189 \cdot 83}{0,6666} = 265,4 \text{ кг};$$

– маса вологого  $Al(OH)_3$ :

$$m(Al(OH)_3 \cdot n(H_2O)) = \frac{1000 \cdot 20,078}{0,66660,88} = 266,0 \text{ кг};$$

– маса сульфатної кислоти  $\omega_3=92,2\%$ :

$$m(H_2SO_4 \cdot n(H_2O)) = \frac{1000 \cdot 2,940 \cdot 0,98}{0,66660,922} = 469,0 \text{ кг}.$$

– Концентрація технологічного робочого розчину сульфатної кислоти:

$$\omega_4(H_2SO_4) = \frac{469 \cdot 0,922}{(469 \cdot 0,922) + (469 \cdot 0,078) + (266 \cdot 0,12) + 265,4} \cdot 100 = 56,5\%$$

Результати розрахунків внесемо в табл. 1.

**3. Тепловий баланс процесу виробництва коагулянту алюмінію сульфату гідрату (в розрахунку на 1000 кг продукту в розчиненому вигляді)**

*Прихідна складова теплового балансу формується:*

– фізичними теплотами вихідних компонентів, обчислених за температури навколишнього середовища вихідних компонентів, наведених в табл. 1 матеріального балансу. Температура навколишнього середовища зазвичай приймає значення  $t_n = (15-20) \text{ }^\circ\text{C}$ ;

– тепловими ефектами розведення вихідної сульфатної кислоти  $\omega_3=92,2\%$  до робочої концентрації  $\omega_2=56,4\%$ ;

– тепловим ефектом реакції нейтралізації алюмінію гідроксиду сульфатною кислотою.

Обчислимо зазначені компоненти теплового балансу:

– фізична теплота  $Al(OH)_3$ :

$$Q_1 = C_p \cdot m \cdot (t_n - 0) = 1,19 \cdot 234,1 \cdot 15 = 4280,5 \text{ кДж};$$

– фізична теплота сульфатної кислоти  $\omega_2=56,4\%$ :

$$Q_1 = C_p \cdot m \cdot (t_n - 0) = 2,37 \cdot 766,3 \cdot 15 = 27242,0 \text{ кДж};$$

– тепловий ефект розведення вихідної сульфатної кислоти до робочої концентрації  $\omega_2=56,4\%$  за температури реакційного середовища  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ . Визначається як різниця ентальпій робочого розчину сульфатної кислоти та вихідної сульфатної кислоти  $\omega_3=92,2\%$ :

$$Q_p = H_p - H_b = H_p \cdot m_p - H_b \cdot m_b,$$

де  $H_p, H_b$  – довідкові значення ентальпій робочого та вихідного розчинів сульфатної кислоти, кДж/кг;

$m_p, m_b$  – маси робочого та вихідного розчинів сульфатної кислоти, кг.

$$Q_p = 303,0 \cdot 766,3 - 201,8 \cdot 469,0 = 137544,7 \text{ кДж}.$$

Таблиця 1

**Матеріальний баланс виробництва коагулянту алюмінію сульфату гідрату (в розрахунку на 1000 кг коагулянту)**

прихід				витрати		
№	компонент	маса, кг	%	компонент	маса, кг	%
1	$Al(OH)_3$ вологий, в т.ч. $H_2O$	266,0	26,6	$Al_2(OH)_{0,12}(SO_4)_{2,94} \cdot 18,24H_2O$	1000,0	100
		31,9				
2	$H_2SO_4$ , $\omega_3=92,2\%$ в т.ч. $H_2O$	469,0	46,9			
		36,6				
3	$H_2O$		26,5			
	Разом	1000,4	100	Разом	1000,0	100

– Тепловий ефект реакції нейтралізації алюміній гідроксиду сульфатною кислотою:

$$-\sum(n\Delta H)_e = \sum(2(\Delta H(\text{Al}(\text{OH})_3)) + 3(\Delta H(\text{H}_2\text{SO}_4))) = \\ = 2(-1282.6) + 3(-811.3) = -4999.2 \text{ кДж};$$

$$\sum(n\Delta H)_k = \sum(1 \cdot \Delta H(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) + 6\Delta H(\text{H}_2\text{O})_p) = \\ = -3431.8 + 6 \cdot (-285.5) = -5144.8 \text{ кДж};$$

$$\Delta_r H = -5144.8 - (-4999.2) = -145.6 \text{ кДж.}$$

$$Q_{r1} = -\Delta_r H = 145.6 \text{ кДж.}$$

Це значення теплового ефекту відноситься згідно стехіометричного рівняння реакції нейтралізації до 156 г  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , яке необхідно переобчислити на 234.1 кг (табл. матеріального балансу 1)

$$Q_{r2} = \frac{145.6 \cdot 1000 \cdot 234.1}{156} = 218485.5 \text{ кДж.}$$

Значення прихідної складової в розрахунку на 1000 кг коагулянту:

$$Q_{\text{п}} = Q_1 + Q_2 + Q_p + Q_r = 4280.5 + 27242.0 + \\ + 137544.7 + 218485.5 = 384523.7 \text{ кДж.}$$

*Витратна складова теплового балансу формується з:*

– фізичної теплоти для підігріву  $\text{Al}(\text{OH})_3$  від температури навколишнього середовища  $15^\circ\text{C}$  до  $120^\circ\text{C}$ ;

– фізичною теплою підігріву робочого розчину сульфатної кислоти  $\omega_2=56.4\%$  від  $15^\circ\text{C}$  до  $120^\circ\text{C}$  робочої температури процесу.

Проведемо обчислення зазначених теплот:

– фізична теплота підігріву  $\text{Al}(\text{OH})_3$ :

$$Q_3 = C_p \cdot m \cdot \Delta t = 1.19 \cdot 234.1 \cdot (120-15) = 29250.8 \text{ кДж};$$

– фізична теплота для підігріву робочого розчину сульфатної кислоти  $\omega_2=56.4\%$ :

$$Q_4 = C_p \cdot m \cdot \Delta t = 2.37 \cdot 766.3 \cdot (120-15) = 190693.8 \text{ кДж};$$

Значення витратної складової теплового балансу в розрахунку на 1000 кг коагулянту:

$$Q_b = 29250.8 + 190693.8 = 219944.6 \text{ кДж.}$$

Результати обчислень внесено в табл. 2.

Як видно з табл. 2, прихідна складова теплового балансу суттєво перевищує витратну складову. Надлишок теплоти використовується в технологічному процесі, до прикладу, для підігріву води, яка очищується методом коагуляції, що сприяє якості очищення. В крупнотоннажних виробництвах надлишок теплоти витрачається на підігрів повітря, при барботажному перемішуванні реакційного середовища – суспензії  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в сульфатній кислоті, тощо.

**Головні висновки.** Розроблено новий алгоритм розрахунку матеріального балансу виробництва коагулянту алюмінію сульфату-гідрату з використанням поняття бруто-формули коагулянту, який дозволяє обчислити, який дозволяє обчислити витратні коефіцієнти продукування стандартизованого коагулянту з врахуванням взаємозв'язку хімічної концепції методу з вимогами умов експлуатації та зберігання коагулянту. Визначено алгоритм розрахунку теплового балансу, який ґрунтується на використанні понять фізичної теплоти речовини та теплового ефекту реакції нейтралізації алюміній гідроксиду сульфатною кислотою і теплового ефекту утворення робочого розчину сульфатної кислоти при розбавленні концентрованої.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Запропоновані алгоритми розрахунку матеріального та теплового балансів виробництва алюміній сульфат-гідрату – коагулянту очищення стічних та промислових стічних вод, перспективні щодо використання при проектуванні нових локальних і більш потужних виробництв коагулянту та при реконструкції діючих.

Таблиця 2

**Тепловий баланс виробництва коагулянту алюмінію сульфату гідрату (в розрахунку на 1000 кг коагулянту)**

№	прихід			витрати		
	компонент	значення, кДж	%	компонент	значення, кДж	%
1	Фізична теплота $\text{Al}(\text{OH})_3$	4280.5	11.0	Фізична теплота підігріву $\text{Al}(\text{OH})_3$	29250.8	13.3
2	Фізична теплота робочого розчину $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\omega_3=56.4\%$	27242.0	7.0	Фізична теплота підігріву розчину $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\omega_3=56.4\%$	190693.8	86.7
3	Тепловий ефект розведення вихідної $\text{H}_2\text{SO}_4$ до концентрації робочого розчину	137544.7	35.5			
4	Тепловий ефект реакції нейтралізації $\text{Al}(\text{OH})_3$	218485.5	56.4			
	<b>Разом:</b>	<b>387552.7</b>	<b>100</b>	<b>Разом:</b>	<b>219944.6</b>	<b>100</b>

**Література**

1. А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін та ін. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. К.: Лібра, 2000. 552 с.
2. Загальна хімічна технологія / Яворський В.Т., Перекупко Т.В., Знак З.О., Савчук Л.В. Львів: Львівська політехніка, 2005. 552 с.

## ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ ОЗЕРА КИТАЙ В УМОВАХ ЗРОСТАЮЧОГО АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Шекк П.В., Моторна Т.В.

Одеський державний екологічний університет  
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса  
[shekk@ukr.net](mailto:shekk@ukr.net), [motornaya.t@gmail.com](mailto:motornaya.t@gmail.com)

Робота присвячена одній з Придунайських водойм – озеру Китай. Метою дослідження є комплексна оцінка екологічного стану озера, та аналіз динаміки змін, що відбуваються у часі. Це дозволяє встановити можливі негативні тенденції, визначити шляхи стабілізації та покращення екологічного стану водойми. Моніторинг змін гідролого-гідрохімічного режиму та стану біоти Придунайських озер, після їхнього обвалування, є важливим, оскільки від стійкості їх екосистеми залежить майбутній сталий розвиток регіону. Ефективне використання водних та рибних ресурсів озер-водосховищ неможливе в умовах погіршення їх загальноєкологічного стану, природної рівноваги екосистеми. В останні роки комплексне дослідження оз. Китай не проводилось, що не дозволяє оцінити сучасний стан його екосистеми. Тому, вперше за останні сім років досліджено гідролого-гідрохімічний режим озера, дана оцінка стану кормового ресурсу водойми, складу іхтіофауни, динаміки промислу. В результаті обмеженого водообміну, а в окремі роки його повної відсутності, в озері Китай спостерігається зростання мінералізації вод та вмісту біогенних елементів, накопичення органічних речовин у воді і донних відкладеннях та інші негативні зміни гідрохімічного режиму, які призвели до деградації водної екосистеми озера. Бурхливий розвиток мікродоростей в весняно-літній період, призводить до перенасичення вод розчиненим киснем в світлий час доби і виникнення локальної або глобальної задухи у передранковий час. В результаті зміни гідролого-гідрохімічного режиму озера погіршилась кормова база гідробіонтів, у депресивного стану знаходиться популяція цінних аборигенних видів риб, деякі з них опинилися на межі зникнення. Значний негативний вплив на гідрохімічний режим та екологічний стан озера Китай надає приток забрудненої, високо-мінералізованої води з малих річок. Результати дослідження вказують на важливість збалансованого підходу до використання та охорони природних ресурсів Придунайських озер з урахуванням їх взаємозв'язку з оточуючим середовищем та забезпеченням збалансованого використання для збереження високої продуктивності та біологічного різноманіття екосистеми. Придунайські озера відіграють важливу роль у житті місцевого населення та екосистеми регіону Нижнього Дунаю, кожен елемент якої є важливою складовою для здорового існування населення, сталого забезпечення його водними та харчовими ресурсами. *Ключові слова:* озеро Китай, гідрохімія, кормова база, іхтіофауна, екосистема.

### Formation and functioning of the water ecosystem of lake China in conditions of increasing anthropogenic load. Shekk P., Motorna T.

The work is dedicated to one of the Danube reservoirs – Lake China. The purpose of the study is a comprehensive assessment of the ecological state of the lake and an analysis of the dynamics of changes occurring over time. This makes it possible to establish possible negative trends, to determine ways to stabilize and improve the ecological state of the reservoir. Monitoring changes in the hydrological-hydrochemical regime and the state of the biota of the Danube lakes after their collapse is important, since the future sustainable development of the region depends on the stability of their ecosystem. Effective use of water and fish resources of lakes-reservoirs is impossible in the conditions of deterioration of their overall ecological condition, the natural balance of the ecosystem. In recent years, a comprehensive study of the lake China was not conducted, which did not allow assessing the current state of its ecosystem. Therefore, for the first time in the last seven years, the hydrological and hydrochemical regime of the lake was investigated, an assessment of the state of the forage resource of the reservoir, the composition of ichthyofauna, and the dynamics of fishing was given. As a result of limited water exchange, and in some years its complete absence, in Lake China there is an increase in water mineralization and the content of biogenic elements, accumulation of organic substances in water and bottom sediments, and other negative changes in the hydrochemical regime, which led to the degradation of the water ecosystem of the lake. The rapid development of microalgae in the spring-summer period leads to oversaturation of water with dissolved oxygen during daylight hours and the occurrence of local or global suffocation in the early morning. As a result of the change in the hydrological and hydrochemical regime of the lake, the feed base of hydrobionts has deteriorated, and the population of valuable native fish species, which are on the verge of extinction, is in a depressed state. The influx of polluted, highly mineralized water from small rivers has a significant negative impact on the hydrochemical regime and ecological state of Lake China. The results of the study indicate the importance of a balanced approach to the use and protection of the natural resources of the Danube lakes, taking into account their relationship with the surrounding environment and ensuring balanced use for maintaining high productivity and biological diversity of ecosystems. The Danube lakes play an important role in the life of the local population and the ecosystem of the Lower Danube region as a whole. Each element of their ecosystem is an important component for the healthy existence of the population, sustainable provision of water and food resources. *Key words:* Lake China, hydrochemistry, feed base, ichthyofauna, ecosystem.

**Постановка проблеми.** Дельта Дунаю налічує понад 26 малих та великих озер. В результаті активного втручання людини, значна їх частка, під впливом антропогенних перетворень, зазнала значних негативних змін. У 1959–1970 рр. внаслідок широкомасштабного обвалування заплави, озера румун-



ської та української частин дельти, були ізольовані від ріки та почали використовуватись як водосховища для іригації та рибництва. З цього часу зв'язок озер з рікою підтримується за допомогою шлюзованих проток та штучних каналів, що порушило природний водообмін, призвело до змін гідролого-гідрохімічного режиму, негативно вплинуло на гідрохімічний склад та якості вод. Погіршилися, умови відтворення та нагулу, зменшилось біологічне різноманіття гідробіонтів, знизилась біологічна продуктивність озерних екосистем.

Моніторинг екологічних змін які відбуваються в придунайських озерах є важливим на глобальному рівні, оскільки стійкість екосистеми озер впливає на майбутній сталий розвиток регіону. Зростаючий обсяг споживання водних та рибних ресурсів озер-водосховищ, ставить під загрозу можливість довгострокової підтримки рівноваги цих природних екосистем, що зумовлює необхідність постійного контролю за їхнім станом.

**Актуальність дослідження.** Великі придунайські озера (Кагул, Ялпуг, Кугурлуй, Каргал, Китай, Сафьяни) ще на початку ХХ століття примикали до дунайської заплави і в період повені вільно сполучалися з рікою. Це забезпечувало інтенсивний водообмін, сталий гідрологічний та гідрохімічний режими, сприятливі умови відтворення та зростання гідробіонтів.

В залежності від морфометричних характеристик озер, характеру зв'язку з Дунаєм, особливостями водообміну та іншими чинників, зміна гідрологічного режиму, після обвалування по різному вплинула на екологічний стан озер. Деградація деяких з них відбувається досить швидко, інших – більш повільно, але скрізь спостерігається зростаюча тенденція до погіршення загального екологічного стану озер-водосховищ. Одне з найбільш вразливих є озеро Китай, тому дослідження особливостей формування і функціонування водної екосистеми саме цієї водойми, в умовах зростаючого антропогенного навантаження, є важливим і актуальним.

**Стан дослідженості питання** Великі Придунайські озера розташовані в північній частині пойми Дунаю витягнуті в меридіональному напрямку, примикають до дунайської заплави. Часто їх об'єднують у єдину категорію заплавної водойми [1]. Після широкомасштабного обвалування заплави румунської та української частин дельти озера були ізольовані від ріки та почали використовуватись як водосховища для іригації та рибництва. У цей період, лише в українській частині дельти було втрачено понад 30 тис. га найцінніших природних нерестовищ [2].

Після обвалування зв'язок з Дунаєм підтримується шлюзованими протоками і штучними каналами. Водойми перетворилися в водосховища які використовуються для пасовищного вирощування

риби [3] і водопостачання, а їхня біота поступово набула типово озерні риси [4].

Результати багаторічних досліджень гідрологічного і гідрохімічного режиму придунайських озер, стану кормової бази, складу іхтіофауни та рибогосподарського використання у попередні роки, представлені в багатьох статтях і монографіях [5, 6, 7, 8, 9].

Зміни, які відбуваються в озерних екосистемах, носять динамічний характер з вираженою тенденцією до погіршення екологічного стану озер. Обмежений, регульований водообмін з Дунаєм, привів до накопичення в ложі озер донних відкладень, які утворюються з завислого матеріалу, що потрапляє з дунайською водою, зростанню мінералізації вод, накопиченню органічних сполук, негативних змін гідрохімічного режиму і як слідство – зменшення видового різноманіття іхтіофауни та продукційних характеристик водних екосистем [6, 7, 8, 9, 10]. Озеро Китай є однією з Придунайських водойм, де негативні зміни мають найбільш виражений характер [6, 8].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття.** Останні дослідження оз. Китай відносяться до 2016 р. Вони показали негативну динаміку змін які відбуваються в екосистемі водойми в результаті порушення природного водообміну. В останні роки масштабні дослідження оз. Китай не проводились. Це не дозволяє оцінити сучасний стан екосистеми. Тому важливою є комплексна оцінка стану оз. Китай в сучасних умовах, та аналіз динаміки змін, які відбуваються у часі, що дозволить встановити можливі негативні тенденції та визначити можливі шляхи стабілізації та покращення екологічного стану водойми.

**Наукова новизна.** Вперше за останні сім років проведено комплекс досліджень гідролого-гідрохімічного режиму оз. Китай. Дана оцінка стану кормового ресурсу водойми, складу іхтіофауни, динаміки промислу. За результатами аналізу багаторічних даних проведена оцінка динаміки змін основних абіотичних та біотичних складових екосистеми озера.

**Матеріал і методи досліджень.** При аналізі багаторічної динаміки гідрохімічних параметрів вод оз. Китай були використані дані попередніх [5, 6, 7, 8, 9] та матеріали власних досліджень які проводились нами в період з 2019 по 2023 рр. на базі ТОВ «Сідіміт». Проби води відбирали за допомогою батометра у пониззі (с. Василівка), центральній частині (с. Червоний яр) та у верхів'ях озера (с. Новоселівка).

Експрес-аналіз гідрохімічних параметрів середовища проводили за допомогою приладів: «ЕКОТЕСТ-2000 Т» ( $O_2$ ;  $NO_2$ ;  $NO_3$ ;  $NH_4$ ;  $CO_2$ ; фосфати, рН), термооксіметр «Ажа-101М» ( $T^{\circ}C$ ;  $O_2$ ); «РН метра-150 М).

Мінералізацію, прозорість води, БПК-5, біхроматну та перманганатну окислюваність визначали за стандартною методикою [11, 12]. Усього було зібрано та проаналізовано 53 проби.

Відбір проб фіто-, зоопланктону та зообентосу проводили за загальноприйнятими методами. Відібраний матеріал фіксували 40% формальдегідом. Камеральну обробку проводили на базі лабораторії водних біоресурсів та аквакультури Одеського державного екологічного університету за загальноприйнятою методикою. Визначали біомасу мікродоростей (об'ємним методом), чисельність та біомасу організмів зоопланктону та зообентосу [13, 14].

Матеріал для іхтіологічних досліджень відбирали методом репрезентативних середніх проб зі промислових знарядь лову (сітки, ятері, неводи) та з уловів малькової волокуші при проведенні контрольних обловів. Видовий склад іхтіофауни визначали на свіжому матеріалі за допомогою відповідних визначників [15]. Статистична обробка результатів дослідження здійснювалася з використанням прикладних програм пакета *Microsoft Excel*.

**Результати власних досліджень.** Температура води оз. Китай коливається в широких межах в залежності від сезону, погодних умов, району та глибини вимірювання. Для аналізу динаміки температурного режиму поверхневих вод озера в період з 1980 по 2023 рр. використовувались архівні дані Одеського відділення ПівденНІРО за 1980–1998 рр., результати спостережень Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова за 2004–2016 рр. [6, 9] та власні данні за 2019–2023 рр. Показано, що середньорічна температура поверхневого шару вод озера змінювалась від 10,5 до 17,3°C (рис. 1).

В зимовий період температура знаходилась в межах -0,5–7,3°C (в середньому – 3,01°C), влітку – сягала 25,2–34,0°C (в середньому – 27,7°C). Проведений аналіз свідчить про стійку тенденцію до зростання температури вод озера за останні 43 роки.

Мабуть одним з найважливіших показників якості є мінералізація вод. Аналіз наявних даних за період з 1958 по 2023 рр. показав, що рівень мінералізації вод озера залежить від сезону року, об'ємів надходження Дунайських вод і району відбору проб. Так, у період весняного водопілля мінералізація вод знижується, а в літньо-осінній період поступово зростає. Виразність процесу найбільша в роки, коли рівень озера мінімальний в результаті недостатнього заповнення дунайською водою. Найбільш мінералізовані, зазвичай, водні маси у верхів'ях озера, у пониззі, яке примикає до водоподаючого каналу, мінералізація нижче. Також мінералізація зростає з весни до зими. За період з 1958 по 2023 рр. середня мінералізація вод оз. Китай зросла в 4,5 рази і негативна динаміка цього процесу в цілому зберігається (рис. 2).

Визначальним фактором для виживання, відтворення та зростання гідробіонтів є насичення води киснем. Дефіцит розчиненого кисню виникає, якщо його надходження у водне середовище менше ніж сумарне споживання гідробіонтами, витрати на окислення донних відкладень та розчиненої органічної речовини [16].

За даними багаторічних спостережень, у весняно-літній період концентрація розчиненого у воді кисню коливалось від 4,5 до 23,7 мг·дм<sup>-3</sup> (табл. 1). В весняно-літній період максимальні показники концентрації кисню припадали на денні та передвечірні часи.

У передранкові часи, насичення води киснем знижується до мінімуму, що підтверджують результати дослідження добової динаміки вмісту кисню у воді, проведені у липні 2022 та серпні 2023 рр. Максимальна його концентрації припадала

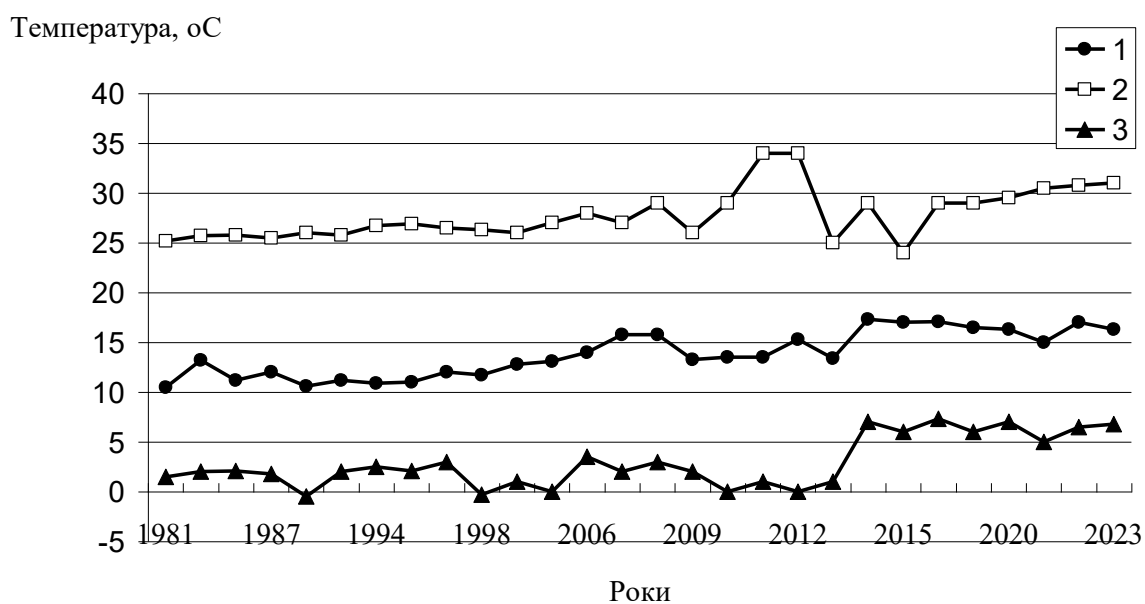


Рис. 1. Динаміка температури поверхневих вод оз. Китай (1 – середня, 2 – максимальна, 3 – мінімальна)

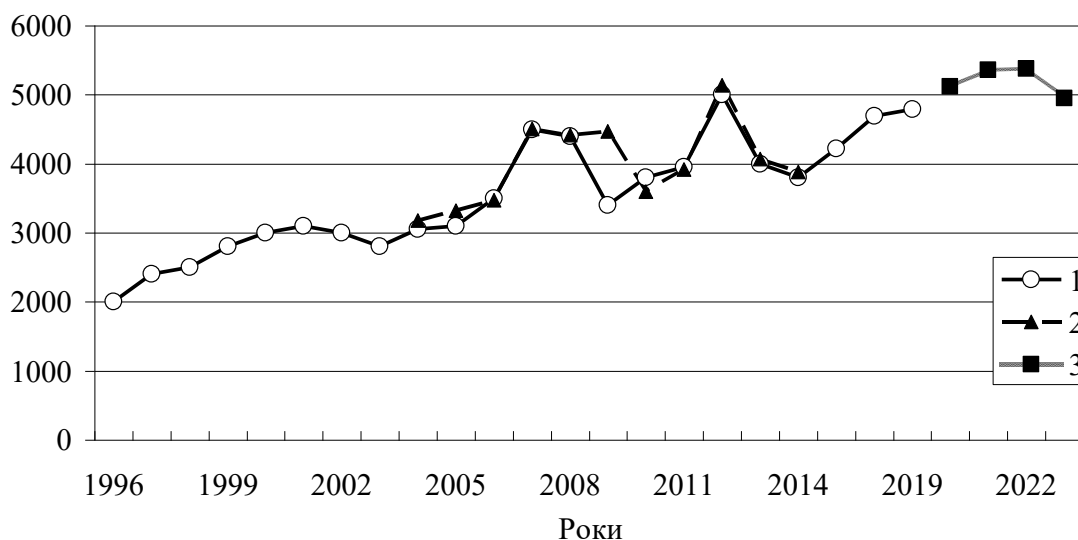
Мінералізація,  
мг•дм-3

Рис. 2. Динаміка середніх показників мінералізації вод оз. Китай (1 – [6, 9], 2 – [7], 3 – власні дані)

Таблиця 1

## Динаміка деяких гідрохімічних показників вод оз. Китай

Роки	Показники					
	O <sub>2</sub>	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub>
1988-1990 <sup>1</sup>	7,8-17,5	7,4-9,2	0,039-0,075* 0,0505	–	0,02-1,33* 0,472	0,017-0,18* 0,089
2001 <sup>2</sup>	6,1-11,8	8,11-8,62	0,07-0,058*	0,00-0,011	0,030-0,75*	0,04-0,160*
2004 <sup>3</sup>	9,0-15,7	8,49	0,378	–	0,431	0,079
2005	8,7-15,7	8,36	0,196	–	0,315	0,061
2006	7,7-13,9	8,3	0,191	–	0,234	0,064
2007	6,9-14,7	8,3	0,250	–	0,302	0,069
2008	9,5-15,5	8,2	0,253	–	0,392	0,075
2009	8,5-18,9	8,2	0,326	–	0,326	0,077
2010	6,1-15,5	8,5	0,236	–	0,235	0,066
2011	6,4-13,8	8,4	0,275	–	0,249	0,100
2012	6,1-23,7	8,7	0,313	–	0,525	0,111
2013	7,9-13,8	8,55	0,352	–	0,377	0,097
2014	8,0-11,0	–	0,392	–	0,510	0,046
2015	8,2-12,3	–	0,350	–	0,427	0,087
2016	4,5-12,6	–	0,241	–	0,502	0,135
2019 <sup>4</sup>	6,7-14,6	8,4-9,0	0,278	–	0,576	0,112
2020	–	8,2-8,8	0,298	–	0,498	0,125
2021	6,3-19,1	8,5-9,5	0,305	0,021	0,567	0,098
2022	1,9-24,1	8,3-9,6	0,311	0,028	0,511	0,109
2023	6,4-11,9	7,5-8,7	0,368	0,033	0,543	0,134

\* Мінімальні та максимальні значення

1 – [5], 2 – [17], 3 – [6, 9], 4 – Власні данні

на 18–21 годину, а поступове зниження відбувалося до 2–4 години ранку (рис. 3).

Інтенсивний розвитком фітопланктону та макрофітів у водоймі супроводжується перенасиченням вод киснем в денний час і падінням його концентрації у ночні або передранкові часи, що може привести, в окремі періоди, до задухи. Саме такі явища локальної задухи неоднаразово спостерігалися в озері в літній період 2017–2019 рр. Найбільше їм піддавався верхній плес озера.

У 2020–2022 рр. в озері спостерігався мінімальний рівень вод (0,44–0,70 м. БС). В результаті бурхливого розвитку фітопланктону («цвітіння») при високій температурі води (26–27°C) і при відсутності вітру, концентрація розчиненого кисню у передвечірній час досягала 14,2–17,0 мг·дм<sup>-3</sup>. О четвертій годині ранку 18 серпня концентрація кисню у воді знизилась до критичного рівня – 1,12–0,65 мг·дм<sup>-3</sup>. Результатом цього стала масова загибель гідробіонтів по всій акваторії озера. Найбільше постраждали популяції судака, жереха, рака, та інших гідробіонтів.

Суттєвою причиною виникнення задухи є також накопичення органічної речовини в донних осадах та у воді озера в результаті осідання нерозкладеної органіки, переважно рослинного походження. Це призводить до інтенсифікації процесів евтрофікації і здатне спровокувати, в будь який час, тотальну задуху. Про накопичення органіки свідчить прогресуюче зростання показників БСК-5, перманганатного та біхроматного окислення (рис. 4).

Показник рН вод озера загалом тримається в межах 8,1–8,7. У воді озера спостерігається про-

гресуюче зростання концентрації біогенних елементів (табл. 1).

В порівнянні з 1988–1990 рр. концентрація фосфатів у воді зросла майже вдвічі, вміст аммонійного азоту – в 7,3 рази, нітратного азоту – в 3 рази.

Про погіршення загального екологічного стану водойми свідчить зростання коефіцієнту забруднення вод (КЗ) вод, який показує кратність перевищення якості вод у частках ГПК. З 208 по 2014 рр. води оз. Китай характеризувались як помірно забруднені [9], але зростання КЗ в останні роки може свідчити про погіршення ситуації (табл. 2). Величина КЗ > 1 ца свідчить про порушення діючих норм.

Зміни гідрохімічного режиму озера Китай тісно пов'язані з динамікою його гідрологічного режиму. В роки коли об'єм дунайської води, яка надходить у водойми мінімальний, або зовсім відсутній, їхній гідрохімічний режим погіршується. У повноводні роки, коли водний баланс озера позитивний – покращується.

Низький рівень вод озера при високій температурі, сприяє інтенсифікації процесів випаровування і зростанню концентрації розчинених мінеральних та органічних речовин. Суттєво впливає на гідрохімічний баланс озера якість вод, прісноводного стоку рік Аліяга та Кіргіж-Китай. Мінералізація цих періодично пересихаючих річок залежить від їхньої водності та змінюється в межах від 3 500–3 800 до 7 600 мг/дм<sup>3</sup> і більше [5, 18]. За даними ДБУВР, в 2010 г. мінералізація р. Аліяга в середньому складала 8 219 мг/дм<sup>3</sup>, а річки Киргаж-Китай (на кордоні з Молдовою) – 3400–3800 г/дм<sup>3</sup> [8].

Вміст кисню у воді, мг·дм<sup>-3</sup>

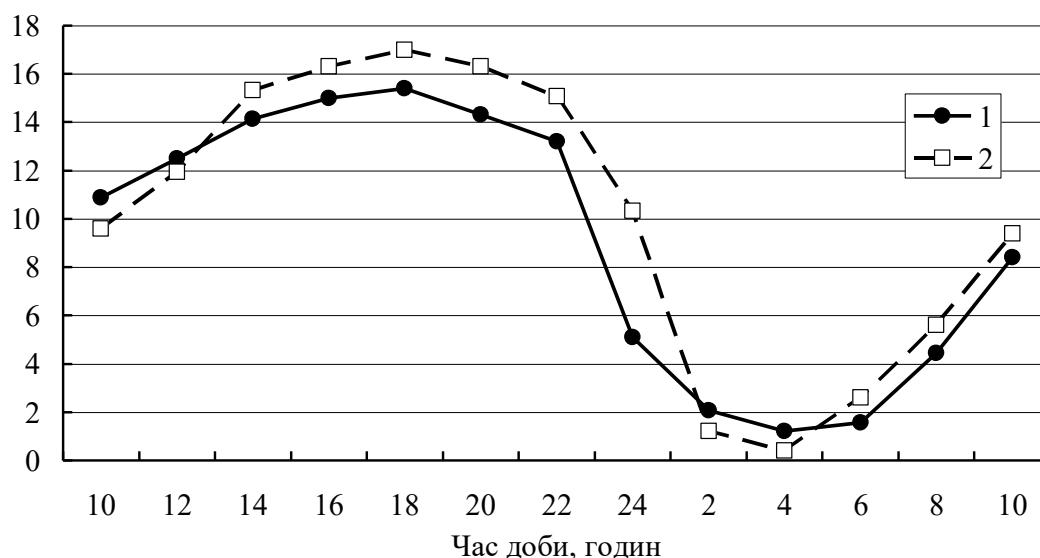


Рис. 3. Добова динаміка концентрації розчиненого кисню у воді оз. Китай (1 – липень 2020 р., 2 – серпень 2021 р.)

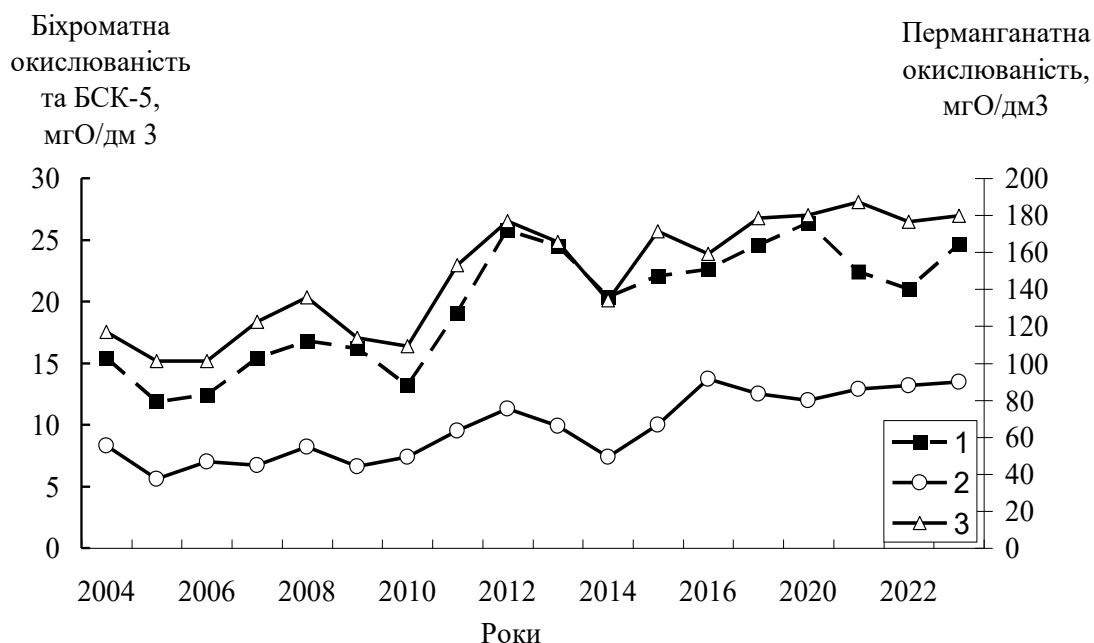


Рис. 4. Середньорічні показники перманганатної (1), біхроматної (3) окислюваності та Біологічного БСК-5 (2)

Таблиця 2

## Динаміка змін значення коефіцієнту забруднення (КЗ) вод оз. Китай

Роки	2008*	2009*	2010*	2011*	2012*	2013*	2014*	2021**	2022**
КЗ*	3,71	3,43	3,09	3,91	5,03	4,4	3,6	4,7	5,2

\* [9], \*\* Власні данні

Гідрологічний стан водойми регулюється за допомогою шлюзу-регулятора самопливом, через транспортуючі канали «Степовий» і «Кофа», або шляхом примусового поповнення через роботу насосних станцій Кілійського МУВГ «НС-3», «Кофа».

У порівнянні з 2022, 2023 рік видався досить водним, хоча і з високим температурним режимом та великим відсотком випаровування. Високий рівень Дунаю забезпечив поповнення оз. Китай шляхом самопопливу. За період роботи шлюзу Кофа-Степової (з 3 квітня до 3 липня 2023 р.) рівень води в озері підвищився з 0,8 до 1,39 мБС.

Таким чином найважливішим фактором, що впливає на гідрологічний режим озера-водосховища є рівень води в р. Дунай та стан гідротехнічних споруд, через які здійснюється водообмін. При високому рівні води в річці вода поступає в озеро самопливом. При недостатній водності ріки воду в озеро необхідно закачувати за допомогою насосних, але це дуже тривалий та коштовний процес, реалізація якого сьогодні практично неможлива.

В теперішній час, внаслідок активного впливу, екосистеми придунайських озер зазнають сильного антропогенного тиску. Їхній прямий зв'язок з рікою був порушений і водойми перетворились на наливні водосховища з регульованими рівнями. В зимо-

во-весняний період вони наповнюються, потім відбувається спрацювання рівня.

Значних змін зазнали також водозбірні площі. Понад 50% території дельти використовується в сільському господарстві, більше 32% – для вирощування риби та заготівлі очерету. До кінця 1980-х років водойми інтенсивно зариблювалися рослиноїдними рибами, в тому числі білим амуром, який оказав значний вплив на складі та розподіл теперішньої водної рослинності, яка в свою чергу визначає загальний стан водойми.

Так, в 1950–1960-х рр. оз. Кугурлуй, Каргал, Катлабух було повністю (100%) покрите водною рослинністю, Саф'ян – на Кагул – на 67–100%, Ялпуг – на 11–24%, Китай – на 15–21% Саф'ян – на 13–75%. У більшості водойм основні площі займала занурена рослинність. Після заселення водойм рослиноїдними рибами (1960–1970-х рр.) занурена рослинність на значних площах була знищена. На сучасному етапі існування придунайських озер площі заростання зануреною водною рослинністю скоротились і займають лише верхів'я та окремі плеси. Зазвичай, максимум інтенсивності вегетації припадає на початок літа [5, 18].

Безпосередньо в озері Китай смуги повітряно-водної рослинності охоплюють береги майже суцільним кільцем, заходячи до глибин 0,6–0,8 м. Найбільші масиви зосереджені в південній частині водойми біля селищ Василівка, Фурманівка і Муравлівка

та у верхів'ях озера. Склад ценозів крупноплямний. Основний компонент – очерет звичайний *Phragmites australis*, рідше зустрічається рогіз вузьколистий *Typha angustifolia*, інколи – схеноплекти Табернемонтана *Schoenoplectus tabernaemontani* й озерний *Scirpus lacustris*. [18].

В верхів'ї водойми значно виражене засолення, у межиріччі Аліяга – Китай значні площі зайняті клубне очеретом *Bolboschoenus maritimus*. Зарості валіснерії зникли. В першій половині літа на мілинах вище Василівки і Камишівки розвиваються розріджені ценози рдестів пронзенolistного *Potamogeton perfoliatus* та кучерявого *Potamogeton crispus*.

В 1963–1965 рр. у складі фітопланктону придунайських озер було зареєстровано 503 видів водоростей (655 внутрішньовидових таксонів), з них синьозелених – 95, евгленофітових – 108, динофітових – 36, золотистих – 50, діатомових – 140, жовтозелених – 8, зелених – 218. За наступні 25 років, характер фітопланктону озер майже не зазнав суттєвих змін [19, 20].

Сьогодні, в озері Китай, пік розвитку фітопланктону припадає на у квітень (в середньому 68 953 тис кл/дм<sup>3</sup>, 65977 мг/м<sup>3</sup>). Понад 90% біомаси 91900 мг/м<sup>3</sup> припадає на долю синьозелених водоростей. У травні кількісні показники вегетації фітопланктону знижуються. Другий максимум розвитку фітопланктону (98270 тис. кл/дм<sup>3</sup> та 35093 мг/м<sup>3</sup>) спостерігається у вересні. Домінують, також синьозелені водорості, що може свідчити про посилення антропогенного евтрофування озера.

Основу зоопланктону оз. Китай в 1940–1950-х рр. складали коловертки (50% біомаси), гіллястовусі та веслоногі ракоподібні. Середньорічна біомаса зоопланктону складала 2,2 г/м<sup>3</sup>, чисельність – 900 тис/м<sup>3</sup> [20]. В 1960-х рр. середня біомаса літнього зоопланктону озера складала 8–9 г/м<sup>3</sup>, домінували коловертки та безпанцирні копеподити [21]. Реліктові ракоподібні були малочисельними, що може бути результатом зростаючого органічного забруднення водойми. У 1989 р. літній зоопланктон оз. Китай включав – 53 таксони (видових і внутрішньовидових рангів). Переважали коловертки, веслоногі та гіллястовусі ракоподібні, личинки дрейсен. Взимку основу планктону складали коловертки, та веслоногі ракоподібні представлені в основному наупліальними та копеподітними стадіями циклопідів. У весняному зоопланктоні також переважали коловертки, веслоногі (копеподібні стадії каланід) посідали друге місце. Чисельність і біомаса зоопланктону помітно коливається за сезонами та роками. Весною чисельність в середньому складала 1,04 млн. екз.·м<sup>-3</sup> (1,43 г·м<sup>-3</sup>); влітку – 164,0 тис. екз.·м<sup>-3</sup> (0,63 г·м<sup>-3</sup>).

За нашими даними, у весняно-літній період 2022–2023 рр. у зоопланктоні оз. Китай, як і у попередній період, за чисельністю домінували коловертки, а за біомасою – веслоногі та гіллястовусі ракоподібні. Середня біомаса зоопланктону у пониззі

озера складала 3,3–5,2 г/м<sup>3</sup>, у верхів'ях – 0,8–1,1 г/м<sup>3</sup>. Восени загальний рівень розвитку зоопланктону був низьким. Сьогодні зоопланктон озера Китай відноситься до коловертчного типу, що може бути слідством змін його гідролого-гідрохімічного режиму.

В макрзообентосі Придунайських озер до 1960-х рр. домінували олігохети, поліхети, амфіподи, личинки хирономід та моллюски. Після обвалування озер і втрати вільного зв'язку з Дунаєм структура ценозів макрзообентосу в результаті зростання антропогенного навантаження на екосистему озер спростилася [21]. Дослідження зообентосу озера, проведені в 2004–2016 рр. показали значні коливання кількісних показників в просторі та часі. Як і у попередні роки за чисельністю домінували личинки хирономід та олігохет за біомасою – двостулкові моллюски. Мінімальна біомаса організмів зообентосу в усі сезони відмічалась у верхів'ях озера – (6,3–8,7 г/м<sup>2</sup>, максимальна), у пониззі (10,4–12,3 г/м<sup>2</sup>) [8].

Дослідження проведені нами в 2020–2023 рр. показали, що склад зообентосу був ідентичним попередньому періоду, а середня біомаса коливалась від 4,6–5,7 г/м<sup>2</sup> у верхньому плесі до 8,9–10,7 г/м<sup>2</sup> у пониззі озера.

В 1960-х рр., до обвалування заплави ріки, в придунайських озерах було знайдено 48 видів риб, в 2001–2012 рр. – 41 вид [6]. В тому числі, в оз. Китай, в цей період, було встановлено – 30 видів (табл. 3).

В 2022–2023 рр. в оз. Китай нами було виявлено 21 вид риб. Зникли в'язь, гірчак, чехоня, золотий (звичайний) карась, щиповка, багатоголкова колюшка, морська голка, бички пуголовка та гонець. Натомість в уловах знаходили строкатого товстолобика.

Значно зменшилися та змінилися за своїм складом улови в озері. В 1951–1959 рр. улов сягав 219 т. (37,5 кг/га), в 1970–1980 рр. 95–147,6 т (19,1–29,5 кг/га). Основу уловів складали: короп, судак, карась, щука, окунь. Значне місце в уловах займали тюлька, краснопірка, тараня. Улови раків коливалися від 34,5 до 53,5 т (6,9–10,7 кг/га).

За офіційною статистикою Управління рибохорони в період з 2000 по 2019 рр. вилов коропа в оз. Китай в середньому складав 36,6 т, рослиноїдних риб (товстолобика), – 45 т. Основним об'єктом промислу був карась сріблястий – 466 т. Улов аборигенних видів (плоскирка, лящ, окунь) складав 23,3 т.

Після переведення оз. Китай на режим СТРГ, в 2013 р. улови знизилися до 25,4 т. Зариблення озера рослиноїдними рибами та коропом в наступний період сприяли поступовому зростанню улові при зменшенні їх різноманіття. У 2021 р. річний вилов досяг 182,8 т. основу уловів складали карась сріблястий, короп та рослиноїдні риби (рис. 5).

Представники аборигенної іхтіофауни займали в промислі другорядне місце, а їхні улови значно коливалися в різні роки, що може бути пов'язане з умовами нересту та погіршенням гідролого-гідрохімічного режиму водойми.

## Видовий склад іхтіофауни озера Китай у 2001–2012 та 2022–2023 рр.рр.

Таксони	2001–2012 <sup>1</sup>	2020–2023 <sup>2</sup>
<b>Оселедцеві Clupeidae</b>		
Тюлька чорноморсько-азовська <i>Clupeonella cultriventris</i> (Nordmann, 1840)	+	+
<b>Коропові Cyprinidae</b>		
В'язь європейсько-сибірський <i>Idus idus</i> (Linnaeus, 1758)	+	–
Плітка звичайна <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
Краснопірка звичайна <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	+	
Верховодка звичайна <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
Верховка звичайна <i>Leucaspis delineatus</i> (Heckel, 1843)	+	+
Плоскирка європейська <i>Blicca bjoerkna</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
Лящ звичайний <i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
Товстолобик білий амурський Нуропthalmichthys molitrix (Valenciennes, 1844)	+	+
Товстолобик строкатий південнокитайський <i>Aristichthys nobilis</i> (Richardson, 1845)	–	+
Чехоня звичайна <i>Pelecus cultratus</i> (Linnaeus, 1758)	+	–
Гірчак європейський <i>Rhodeus amarus</i> (Bloch, 1782)	+	–
Чебачок амурський <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck et Schlegel, 1846)	+	+
Білий амур східноазіатський <i>Stenopharyngodon idella</i> (Valenciennes, 1844)	+	+
Короп звичайний, сазан <i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
Карась звичайний, карась золотий <i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758)	+	–
Карась сріблястий <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	+	+
<b>В'юнові Cobitidae</b>		
Щипавка звичайна <i>Cobitis taenia</i> (Linnaeus, 1758)	+	–
<b>Сомові Siluridae</b>		
Сом європейський <i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758	+	+
<b>Щукові Esocidae</b>		
Щука звичайна <i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	+	+
<b>Колючкові Gasterosteidae</b>		
Багатоголкова колючка південна <i>Pungitius platygaster</i> (Kessleer, 1859)	+	–
Триголкова колючка звичайна <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	+	+
<b>Голкові Syngnathidae</b>		
Морська голка пухлощока <i>Syngnathus nigrolineatus</i> Eichwald, 1831	+	–
<b>Центрархові Centrarchidae</b>		
Сонячна риба синьозяброва <i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<b>Окуневі Percidae</b>		
Судак звичайний <i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
Окунь звичайний <i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	+	+
<b>Бичкові Gobiidae</b>		
Бичок кругляк <i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)	+	+
Бичок головач, бичок Кесслера <i>N. kessleri</i> (Gunther, 1861)	+	+
Бичок пісочник <i>N. fluviatilis</i> (Pallas, 1814)	+	+
Бичок гонець <i>N. gymnotrachelus</i> (Kessler, 1857)	+	–
Бичок-пуголовок зірчастий <i>Benthophilus stellatus</i> (Sauvage, 1874)	+	–
Усього видів	30	21

1 – За даними Заморов В.В., Джуртубаев М.М. та ін., 2014 р. [6].

2 – Власні данні

Виллов, т

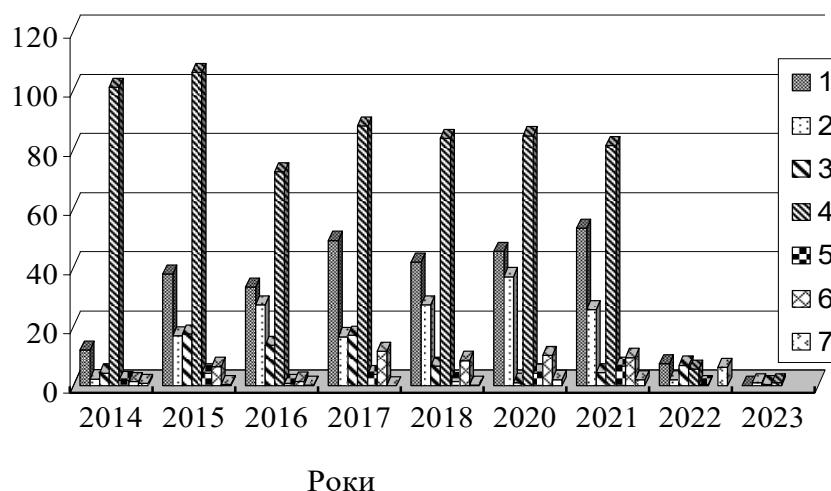


Рис. 5. Виллов риби в оз. Китай (за даними органів рибоохорони) 1 – карп, 2 – товстолобик, 3 – білий амур, 4 – карась сріблястий, 5 – судак, 6 – ляц, 7 – щука

Глобальна задуха, яка спостерігалась у водоймі в 2021–2022 рр., привела до масової загибелі риб. В 2022 р. улов склав всього 28,8 т, а в 2023 р. – 2,4 т. Найбільш катастрофічна ситуація склалась саме з аборигенними видами. Практично повністю зникла популяція судака, щуки, сома та ін. Зникли білізна, чехоня, золотий карась. В депресивному стані знаходиться популяція рака. Натомість в озері з'явився новий вид – японська прісноводна креветка *Macrobrachium nipponense*, чисельність якої стрімко зростає і яка найближчим часом може стати новим, перспективним об'єктом промислу.

**Висновки.** Обмежений зв'язок з Дунаєм, в поєднанні з маловодністю ріки в весняний період, призвів до недостатнього заповнення озера Китай річковими водами. В результаті обмеженого водообміну, а в окремі роки його повної відсутності, в водоймі спостерігається зростання мінералізації вод та вмісту біогенних елементів, накопичення органічних речовин у воді і донних відкладеннях та інші негативні зміни гідрохімічного режиму, які призвели до деградації водної екосистеми озера.

Бурхливий розвиток мікроводоростей в весняно-літній період, призводить до перенасичення вод розчиненим киснем в світлий час доби і виникнення локальної або глобальної задухи у передранковий час.

Зміни гідролого-гідрохімічного режиму озера призвело до погіршення кормової бази гідробіонтів, депресивного стану популяції цінних аборигенних видів риб, які опинилися на межі зникнення.

Значний негативний вплив на гідрохімічний режим та екологічний стан озера Китай надає приток забрудненої, високомінералізованої води з малих річок Аліяга та Кіргіж-Китай.

На покращення ситуації дозволяє сподіватися оптимізація рівневого режиму водойми в 2023 р. в результаті заповнення його великим об'ємом дунайської води майже до контрольної відмітки. Разом з тим, екосистема озера Китай сьогодні знаходиться у вкрай нестійкому стані і будь які екологічні потрясіння можуть вивести її з рівноваги, привести до глобальної екологічної катастрофи.

#### Література

1. Швебе Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України. Одеса: Астропринт, 2003. 389 с.
2. Шекк П.В. Ретроспективний аналіз і сучасний стан іхтіофауни та рибних промислів дельти Дунаю. Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова, 2003. Т. 8. Вип. 11. екологія. С. 55–83.
3. Рибалко В.Я., Г. де Грааф Майбутнє рибного господарства. ТАСИС, 2002. 5 с.
4. Ляшенко А.В., Воліков Ю.Н. Сапробіологічна характеристика екологічного стану озера-лимана Ялпуг за організмами макрозообентосу. Гідробіологічний журнал. Київ, 2001. Т. 37. № 3. С. 74–81.
5. Гідроекологія української частини Дунаю та суміжних водойм / за ред. В.Д. Романенко. Київ: Наукова думка, 1993. 328 с.
6. Макрозообентос Придунайського озера Китай і умови його існування: кол. монографія / Джуртубаєв Ю.М., Заморов В.В., Заморова М.П., Урбанська Т.В.; за ред. М.М. Джуртубаєв. Одеса: Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, 2019. 170 с.
7. Кічук Н.С., Шакіряннова Ж.Р., Медведєва Ю.С., Курілова І.В. Формування гідрохімічного режиму та оцінка якості води Придунайських озер. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2016. Т. 3(42). С. 56–63.
8. Водний і сольовий режими озера Китай: кол. монографія / Гопченко Є.Д., Шакіряннова Ж.Р.; Медведєва Ю.С. ОДЕКУ. Одеса: «ТЕС», 2018. 136 с.



9. Джуртубасв М.М., Урбанська Т.В., Джуртубасв Ю.М. Багаторічна динаміка гідрологічних та гідрохімічних показників озера Китай. Вісник Дніпропетровського університету (серія: біологія, екологія), 2016. Т. 24(2). С. 384–391.
10. Заморов В.В., Джуртубасв М.М., Олейник Ю.Н., Радіонова Н.П. Іхтіологічні дослідження на Придунайських озерах. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету, 2006. 2 (29).серія біологія. С. 19–21.
11. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ: Наукова думка, 2007. 456 с.
12. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Київ: Ніка-Центр, 2008. 656 с.
13. Романенко В.Д. Основи гідроекології. Київ: Генеза, 2004. 664 с.
14. Кражан С.А., Лупачева Л.І. Природна кормова база водойм та методи її визначення при інтенсивному веденні рибного господарства (Довідкові матеріали для працівників ставового господарства УРСР). Львів, 1991. 105 с.
15. Мовчан Ю.В. Риби України (визначник-довідник). Київ: Наукова Думка, 2011. 420 с.
16. Гриб Й.В., Войтишина Д.Й. Концептуальні основи відродження трансформованих екосистем малих річок рівнинної частини території України. Екологічний вісник, 2009. № 5. С. 62–64.
17. Деньга Ю.М., Медінець В.І. Гідрохімічний режим і якість вод Придунайських озер. Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова, 2002. Т. 7. Вип. 2. серія екологія. С. 17–25.
18. Ковтун О.А., Ткаченко Ф.П. Біорізноманіття макрофітів Придунайських озёр Ялпуг і Кутурлуй. Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова, 2002. Т. 7. Вип. 2. екологія. С. 70–74.
19. Костікова Л.Е. Фітопланктон придунайських лиманів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук. Київ, 1969. 19 с.
20. Ковальова Н.В., Поліщук Л.Н., Медінець В.І., Дерезюк Н.В., Газетов Є.І. Закономірності співвідношення біомаси фіто-, бактеріо- і зоопланктону в Придунайських озёрах літом 2000 р. Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова, 2002. Т. 7. Вип. 2. екологія. С. 100–106.
21. Поліщук В.В. Гідрофауна пониззя Дунаю в межах України. Київ: Наукова думка, 1974. 420 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ПІД ОЗИМУ ПШЕНИЦЮ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Ільїна В.Г., Нікітін П.С.

Одеський державний екологічний університет  
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса  
[agroecology87@gmail.com](mailto:agroecology87@gmail.com), [Vilina653@gmail.com](mailto:Vilina653@gmail.com)

Дослідження впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області має велике значення для забезпечення стабільного врожаю та підвищення його якості. У даній роботі проведено комплексний аналіз впливу різних кліматичних та метеорологічних умов на поглинання азотних добрив на ріст, розвиток та формування врожаю озимої пшениці. Моделювання проводилося на агрофоні України, що характеризується відносно сприятливим кліматом для вирощування цієї культури. Використаний апарат математичного моделювання включає аналіз фізіологічних показників рослин, визначення маси та якості врожаю, а також статистичну обробку отриманих даних.

Результати дослідження показали, що на поглинання азотних добрив в значній мірі впливають умови зволоження ґрунту та температурний режим. Виявлено оптимальні умови для поглинання азотних добрив в Одеській області з урахуванням функцій впливу фактичної та оптимальної температури повітря для ефективного внесення цих видів добрив. Також було встановлено, що на поглинання азотних добрив значний вплив мають фізико-хімічні характеристики ґрунтів. В умовах півдня України, найбільш розповсюдженими типами ґрунтів є південні чорноземи. Саме для цього типу ґрунтів проводилося математичне моделювання.

Отже, отримані результати свідчать про важливість урахування факторів навколишнього середовища для раціонального внесення азотних добрив при вирощуванні озимої пшениці в Одеській області. Це може сприяти підвищенню ефективності вирощування культури, забезпеченню стійкості до стресових умов та збільшенню прибутковості сільськогосподарського виробництва. Врахування отриманих даних дозволить оптимізувати технології вирощування озимої пшениці та забезпечити стабільні та високі врожаї. *Ключові слова:* озима пшениця, азотне живлення, ріст, розвиток, субмодель, прогнозування, оптимізація, продуктивність, температурний коефіцієнт, швидкість денітрифікації.

### **Modeling the influence of agrometeorological conditions on the efficiency of nitrogen nutrition for winter wheat in Odesa region. Iilina V., Nikitin P.**

Studying the influence of agrometeorological conditions on the efficiency of nitrogen fertilization for winter wheat in the Odesa region is crucial for ensuring stable yields and enhancing their quality. This study conducts a comprehensive analysis of the impact of various climatic and meteorological conditions on nitrogen fertilizer uptake for the growth, development, and yield formation of winter wheat. Modeling was conducted in the agroclimate of Ukraine, characterized by a relatively favorable climate for this crop. The mathematical modeling apparatus used included the analysis of plant physiological indicators, determination of yield quantity and quality, as well as statistical processing of the obtained data.

The research results indicate that soil moisture conditions and temperature regime significantly affect nitrogen fertilizer uptake. Optimal conditions for nitrogen fertilizer absorption in the Odesa region were identified considering the functions of actual and optimal air temperature for the effective application of these fertilizers. It was also found that soil physicochemical characteristics have a significant impact on nitrogen fertilizer uptake. In the conditions of southern Ukraine, the most common soil types are southern chernozems. Mathematical modeling was specifically conducted for this soil type.

Therefore, the obtained results emphasize the importance of considering environmental factors for the rational application of nitrogen fertilizers in winter wheat cultivation in the Odesa region. This can contribute to increasing the efficiency of crop cultivation, ensuring resilience to stressful conditions, and enhancing the profitability of agricultural production. Incorporating this data will allow for the optimization of winter wheat cultivation technologies and ensure stable and high yields. *Key words:* winter wheat, nitrogen nutrition, growth, development, submodel, forecasting, optimization, productivity, temperature coefficient, denitrification rate.

**Постановка проблеми, актуальність.** Озима пшениця є однією з найважливіших зернових культур в Україні, а Одеська область – одним з основних її виробників. Зростання потреб населення та постійне оновлення сортів озимої пшениці зумовлюють необхідність удосконалення, які б забезпечували високу продуктивність та якість

зерна. Традиційні методи дослідження впливу азотного живлення на ріст та розвиток озимої пшениці є трудомісткими, затратними та не дають можливості прогнозувати їх розвиток в мінливих умовах середовища, тому математичне моделювання може стати ефективним інструментом для вирішення цієї проблеми.

Розробка та впровадження математичної моделї впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області:

1. Оптимізувати систему удобрення та підвищити ефективність використання добрив.

2. Прогнозувати вплив різних факторів (грунту, клімату, сорту) на ріст та розвиток озимої пшениці.

3. Розробити рекомендації по оптимальним умовам внесення азотних добрив з урахуванням процесів денітрифікації.

4. Зменшити негативний вплив добрив на якісні характеристики врожаю озимої пшениці.

Метою роботи є оцінка впливу метеорологічних та кліматичних умов на ефективність азотного живлення для росту та розвитку озимої пшениці за допомогою математичного моделювання, що є найсучаснішим методом дослідження в агроекологічній науці. Об'єктом дослідження є посіви озимої пшениці в Одеській області.

**Виклад основного матеріалу.** Моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області є ключовим аспектом для підвищення виробництва рослинної продукції та оптимізації сільського господарства. Успішне вирощування рослин вимагає глибокого розуміння кліматичних та агрометеорологічних умов, а також ефективне використання цієї інформації для вибору відповідних сортів рослин.

Одним з ключових елементів успішної аграрної діяльності є вибір сортів рослин, що найкраще адаптовані до конкретного клімату. Інформація про температурні режими, опади та властивості ґрунту дозволяє підібрати оптимальні сорти культур, які будуть найбільш продуктивними в даному регіоні [1].

Крім того, планування сільськогосподарських робіт неможливе без урахування кліматичних умов. Аналіз даних про клімат допомагає визначити оптимальний час для посіву, обробки полів, зрошення або водоочищення, що забезпечує максимальний врожай та допомагає уникнути втрат через негативні погодні умови.

Розуміння агрокліматичних ресурсів також дозволяє ефективно розвивати сільське господарство. Адаптація до кліматичних змін та вирощування стійких та продуктивних культур є ключовими для забезпечення стабільного виробництва та внеску сільського господарства в харчову безпеку та економіку країни. Прогнозування обсягів виробництва на основі цих даних допомагає забезпечити ефективне використання ресурсів та стабільний розвиток галузі [2].

Для моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області використано інформацію про вміст основного складового мінерального добрива у ґрунтах районів Одеської області за 2010–2021 роки, яка наведена на рисунку 1 [3, 4].

Спостерігається загальне зростання норм внесення азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області з 2010 по 2021 рр. Це може бути пов'язано з низкою факторів, до яких відносяться збільшення потреби у продуктах харчування, до яких належить зерно озимої пшениці, що і стимулює аграріїв до інтенсифікації виробництва. Впровадження нових технологій вирощування озимої пшениці, які передбачають більш високі норми внесення добрив призводить до урахування впливу факторів, які визначають отримання більш високих та стійких врожаїв цієї культури.

Норми внесення азотних добрив відрізняються між різними районами Одеської області. Найвищі

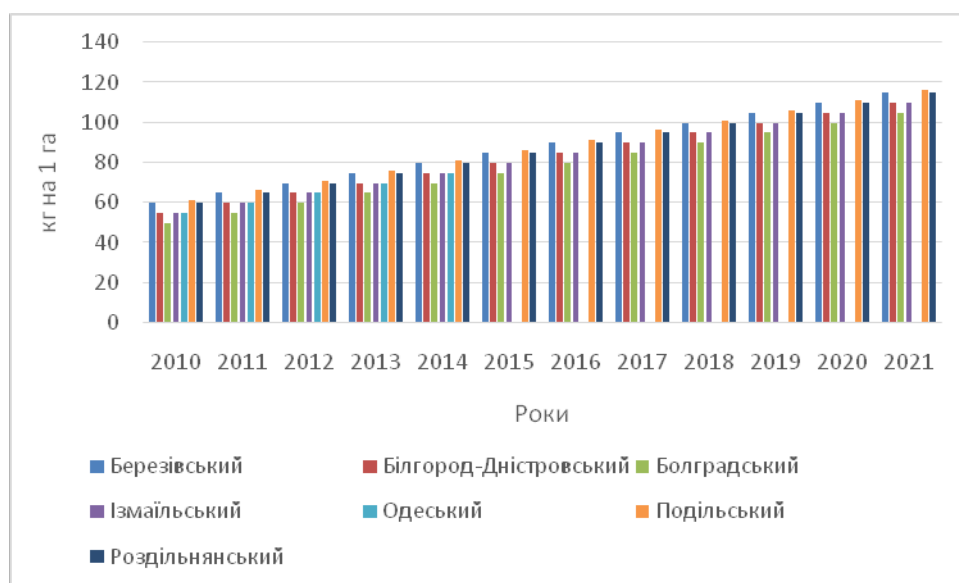


Рис. 1. Внесення азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області

норми зазвичай вносяться в Березівському, Білгород-Дністровському, Подільському та Роздільнянському районах. Найнижчі норми – в Одеському та Болградському районах. Це може бути пов'язано з різними факторами, такими як ґрунтово-кліматичні умови, особливості сівозмін та інші. Внесення азотних добрив має свої варіації в залежності від етапів росту рослин.

Для моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області було використано математичну модель, яка наведена у [5].

Для визначення забезпеченості рослин азотом використовується субмодель азотного живлення. Застосування субмоделей, які досить докладно описують перетворення азотних сполук у ґрунті, обмежується відсутністю необхідних початкових даних. У зв'язку з цим для моделі «погода – урожай 3» розроблено спрощений азотний блок, який використовує для розрахунку початкових даних процентний вміст гумусу у ґрунті й умови навколишнього середовища за осінньо-весняний період.

Вміст доступного рослинам мінерального ґрунтового азоту  $N_k$  для трьох ґрунтових шарів 0–20, 20–50 і 50–100 см визначається шляхом розв'язання системи рівнянь [5]:

$$\frac{dN_k}{dt} = H_k + \delta_k U_N - h_k + V_{k-1} - V_k - A_k, \quad (1)$$

де  $H_k$  – мінералізація легкогідролізуемого органічного азоту  $k$ -го шару ґрунту;  $U_N$  – кількість мінеральних добрив з урахуванням їх іммобілізації;  $\delta_k$  – логічна перемінна, яка має значення  $\delta_k = 1$  для першого шару ґрунту в день внесення добрив і  $\delta_k = 0$  у всіх інших випадках;  $V_{j-1}$  і  $V_k$  – потоки мінерального азоту з водою через верхню і нижню межі  $k$ -го шару ґрунту: для  $k = 1$  величина  $V_{k-1} = 0$ ;  $h_k$  – денітрифікація;  $A_k$  – поглинання азоту рослинами з  $k$ -го шару ґрунту.

Основне поповнення запасів доступного мінерального азоту у ґрунті відбувається за рахунок мінералізації (різниця мінералізації й іммобілізації) легкогідролізуемого органічного азоту  $N_G$ , що міститься у ґрунті. При записі виразу для швидкості мінералізації приймається, що вона залежить від наявності субстрату  $N_G$ , здатності ґрунту перетворювати субстрат – легкогідролізуемий органічний азот у мінеральний  $C_H$ , а також температури і вологості ґрунту:

$$H_k = C_{Hk} N_{Hk} \Phi_{Hk} \Psi_{Hk}, \quad (2)$$

де  $\Psi_{Hk}$  – коефіцієнт вологості для мінералізації;  $\Phi_{Hk}$  – температурний коефіцієнт мінералізації, який дорівнює:

$$\Phi_{Hk} = \exp \left[ -a_\phi \left( T_{pk} - T_p^{opt} \right)^2 \right], \quad (3)$$

де  $a_\phi$  – параметр;  $T_{pk}$  – середня температура  $k$ -го шару ґрунту, яка розраховується на підставі

отриманих напівемпіричних співвідношень, що зв'язують різницю температури ґрунту і середнє багаторічне її значення з площею фітомаси і відхиленнями температури повітря і кількості годин сонячного сяйва від відповідних середніх багаторічних величин;  $T_p^{opt}$  – оптимальна для мінералізації температура ґрунту.

Аналогічно (2) записується рівняння для розрахунку швидкості денітрифікації:

$$h_k = C_{hk} N_k \Phi_{hk} \Psi_{hk}, \quad (4)$$

де  $C_{hk}$   $N_k$  – можлива швидкість денітрифікації;  $C_h$  – коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту;  $\Phi_{hk}$  – температурний коефіцієнт;

$\Psi_{hk}$  – коефіцієнт вологості.

При моделюванні впливу погодних умов на поглинання азотних добрив ідентифіковані параметри моделі стосовно агрометеорологічних умов Одеської області з урахуванням потреб озимої пшениці у факторах навколишнього середовища та норм і видів внесення азотних добрив.

На рисунку 2 проаналізовано температурний коефіцієнт мінералізації при внесенні азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області.

На рисунку 2 представлено графік динаміки температурного коефіцієнта мінералізації (ТКМ) ґрунту при внесенні азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області протягом вегетаційного періоду. Графік відображає дані для трьох районів Одеської області.

Згідно з графіком, ТКМ протягом вегетаційного періоду має нелінійний характер. У період третьої декади квітня спостерігається незначне зниження ТКМ у всіх агрокліматичних зонах. У першій декаді травня ТКМ починає зростати, досягаючи максимуму у другій та третій декаді травня. У першій декаді червня ТКМ поступово знижується.

Зростання ТКМ у травні можна пояснити підвищенням температури ґрунту. Згідно з даними багаторічних спостережень, середня температура ґрунту в Одеській області в цей період становить 10–15°C. При таких температурах активізуються процеси мінералізації органічних речовин, що призводить до збільшення концентрації розчинених мінеральних добрив у ґрунті.

Внесення азотних добрив також може впливати на ТКМ. Азотні добрива стимулюють ріст і розвиток мікроорганізмів, які беруть участь у процесах мінералізації. Це може призводити до додаткового збільшення ТКМ. Динаміка ТКМ у різних агрокліматичних зонах може відрізнятися. Це може бути обумовлено різними факторами, такими як тип ґрунту, вміст органічних речовин, вологість ґрунту, агротехнічні прийоми тощо.

На рисунку 3 приведена динаміка швидкості денітрифікації внесених азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області. Денітрифікація – це природний процес, в якому азотні сполуки, зокрема

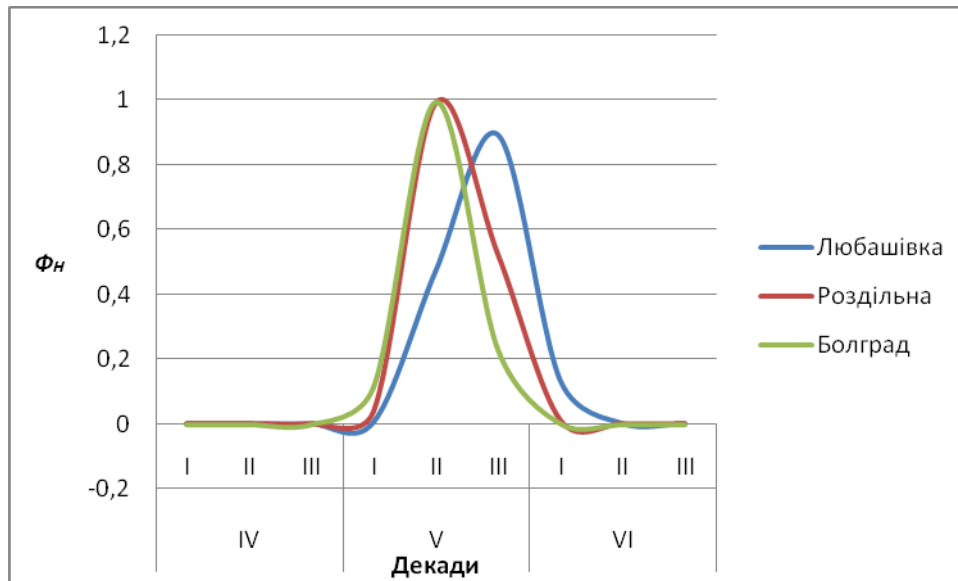


Рис. 2. Температурний коефіцієнт мінералізації азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області

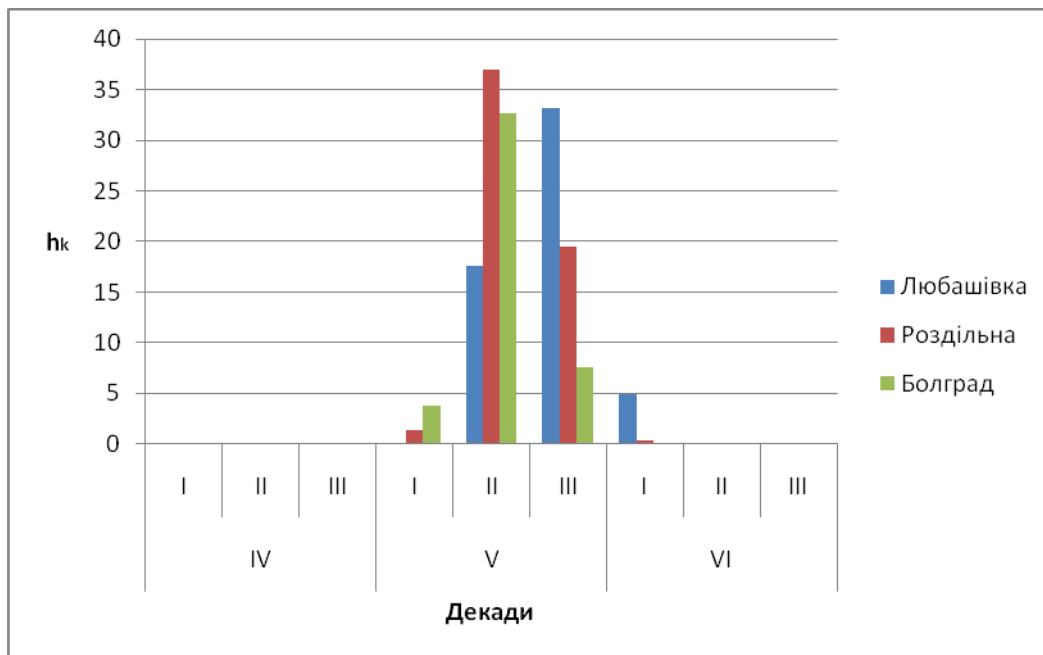


Рис. 3. Динаміка швидкості денітрифікації внесених азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області

нітрати і нітрити, перетворюються на азотні гази і виводяться з ґрунту або водного середовища.

Цей процес здійснюється денітрифікуючими бактеріями, які відсутні в органічних системах. Денітрифікація є одним з екологічно важливих процесів в природних екосистемах, оскільки вона допомагає підтримувати баланс азоту та запобігати надмірній концентрації азотних сполук, яка може мати негативний вплив на екосистеми і здоров'я людей.

З рисунку видно, що швидкість денітрифікації азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області значно змінюється протягом вегетаційного

періоду. Найвища швидкість денітрифікації спостерігається в травні-червні коли відбувається максимальний вегетативний ріст рослин озимої пшениці, і накопичення максимальної маси рослин. Це пов'язано з тим, що в цей період рослини активно поглинають азот, що призводить до накопичення нітратів і нітритів у ґрунті.

У першій декаді травня швидкість денітрифікації нижча, ніж у другій та третій декаді травня. Це пов'язано з тим, що в цей період рослини ще не так активно поглинають азот. У третій декаді травня та в першій декаді червня швидкість денітрифікації

знову зростає. Це пов'язано з тим, що в цей період озима пшениця нагромаджується в стеблі, що призводить до розкладання органічних речовин і вивільнення азоту в ґрунт.

**Головні висновки.** Озима пшениця, як ключова зернова культура в Україні, вимагає постійного удосконалення вирощування для забезпечення високої продуктивності та якості зерна. Зростання потреб населення та постійне оновлення сортів створюють необхідність в пошуку ефективних методів удобрення та дослідження їх впливу на ріст та розвиток культури. Розробка та впровадження моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області є кроком у напрямку оптимізації системи удобрення, прогнозування впливу різних факторів та розвитку нових продуктивних сортів. Математичне моделювання дозволяє оптимізувати систему удобрення та підвищити ефективність використання добрив, що є ключовим для підвищення врожайності та зниження впливу на довкілля. Моделювання надає можливість прогнозувати вплив різних факторів, таких як ґрунтові та кліматичні умови, на ріст та розвиток озимої пшениці, що сприятиме кращому розумінню та плануванню вирощування. Результати дослідження, отримані за допомогою моделювання, можуть використовуватися для вирощування нових сортів озимої пшениці з підвищеним потенціалом продуктивності та стійкістю до змін у середовищі. Дослідження динаміки азотного живлення та його впливу на ґрунтові процеси в Одеській області підкреслюють важливість системного підходу до вирощування озимої пшениці, що включає в себе як агротехнічні, так і екологічні аспекти.

**Використання результатів дослідження.** Результати цього дослідження мають значний потенціал для практичного використання в аграрному секторі, зокрема для оптимізації вирощування озимої

пшениці в Одеській області з урахуванням умов для денітрифікації.

**1. Підвищення ефективності внесення добрив:** З урахуванням динаміки температурного коефіцієнта мінералізації (ТКМ) ґрунту та швидкості денітрифікації азотних добрив можна розробити оптимальний графік внесення добрив, що дозволить максимізувати їх ефективність та знизити ризик надмірного витрати.

**2. Адаптація агротехнік:** З урахуванням різниці в нормах внесення добрив між різними районами області можна розробити рекомендації з агротехніки, що враховуватимуть специфіку кожного району і допоможуть оптимізувати вирощування пшениці.

**3. Моделювання ризиків та планування:** На основі динаміки ТКМ та швидкості денітрифікації можна розробити рекомендації для оптимізації та прогнозування ризиків, пов'язаних з надмірним або недостатнім внесенням добрив, що допоможе аграріям планувати свої дії з вирощування культур.

**4. Екологічні аспекти:** Розуміння процесів денітрифікації також може сприяти розробці агрокультурних практик, спрямованих на зменшення негативного впливу аграрного виробництва на навколишнє середовище.

**5. Дослідження та інновації:** Отримані дані можуть послужити основою для подальших досліджень та інновацій у галузі сільського господарства, наприклад, розробки оптимальних методів внесення добрив та створення умов для отримання більш високих та стійких врожаїв озимої пшениці, які будуть більш адаптовані до специфіки ґрунтів та кліматичних умов Одеської області.

Ці можливості показують, що результати дослідження можуть бути корисними для практичного використання в аграрному секторі, сприяючи підвищенню врожайності та стійкості сільськогосподарського виробництва.

### Література

1. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. Одеса. ТЕС, 2012. 612 с.
2. Кирнасівська Н.В. Землеробство та рослинництво: конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2008. 283 с.
3. 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).
4. 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).
5. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: підручник. Одеса: Екологія, 2013. 436 с.

## ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК КАРТОПЛІ (*SOLANUM TUBEROSUM* L.)

Цибуля С.Д.<sup>1</sup>, Мачульський Г.М.<sup>2</sup>, Буяльська Н.П.<sup>1</sup>, Костенко І.А.<sup>1</sup>, Іваненко К.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Чернігівська політехніка»

вул. Шевченка, 95, 14035, м. Чернігів

<sup>2</sup>Національний університет «Чернігівський колегіум ім. Т.Г. Шевченка»

вул. Гетьмана Полуботка, 53, 14013, м. Чернігів

stcibula@gmail.com, buialska@gmail.com

Радіочутливість картоплі (*Solanum tuberosum* L.) визначали через 15 і 30 днів після опромінення (гама-випромінювання, 10–25 Гр) за первинними ростовими процесами (за масою, кількістю проростків і корінців проростків). Кращі результати отримані серед 4n-форм. Мінімальною радіочутливістю характеризувався український сорт Слов'янка. Зростання проростків і корінців диплоїдів суттєво не змінювалося при дозі 10 Гр. У той же час, при цій дозі спостерігалася стимуляція ростових процесів тетраплоїдів. Маса рослин змінювалася більше, ніж кількість проростків та корінців. При збільшенні дози опромінення частота хромосомних аберацій зростає майже в 2 рази. Виявлено затримку у зростанні та розвитку диплоїдних сортів та гібридів, яка зберігалася протягом усього вегетаційного періоду, при збільшенні дози гамма-випромінювання. Радіаційна депресія, що видно вже з появою проростків, підтверджується результатами вивчення врожайності опромінених рослин. У тетраплоїдів мутагенна стимуляція спостерігалася в більшості варіантів, як за зростанням, розвитком, так і за врожайністю (для диплоїдів значний ефект відмічено лише при дозах 10, 15 Гр і лише за показником врожайності). Стимуляція ростових процесів тетраплоїдного сорту Слов'янка відзначена при всіх дозах гамма-опромінення (від 10 до 25 Гр). Морфологічні аномалії під впливом радіації виявлялися на початку розвитку рослин. Радіоморфози листової пластинки відзначені у тетраплоїдів, з мінімальним значенням у сорту Слов'янка. При цьому диплоїди не мали таких радіоморфозів. Для них були характерні хлорофільні мутації типу yellow variegated (строкатість). У період активного цвітіння максимальна фертильність пилку опромінених рослин була при дозах 10, 15 Гр. Це пов'язано із активацією редокс-ферментів (пероксидази та поліфенолоксидази). Серед 4n-форм опромінених рослин український сорт Слов'янка мав найвищий рівень крохмалистості та стійкості до фітофторозу та вірусів (візуальний контроль). Встановлено, що цей сорт зберігає свої якісні та кількісні показники при радіоактивному забрудненні (до 1 Ку/км<sup>2</sup>) сільськогосподарських угідь (дослідження проводились у Чернігівській області). *Ключові слова:* екологічний фактор, гамма-випромінювання, картопля, радіаційні ураження, стимуляція росту, сорт, гібрид.

**The influence of ionizing radiation on the growth and development of potato (*Solanum tuberosum* L.). Tsybulya S., Machulskyi H., Buialska N., Kostenko I., Ivanenko K.**

The radiosensitivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) was determined in 15 and 30 days after gamma-ray irradiation (10–25 Gy) based on primary growth processes (by weight, number of seedlings and seedling roots). The best results were among the 4n forms. The Ukrainian variety Slavyanka was characterized by minimal radiosensitivity. The growth of seedlings and roots of diploids did not change significantly at a dose of 10 Gy. At the same time, stimulation of growth processes in tetraploids was observed at this dose level. The mass of plants changed more than the number of seedlings and roots. The frequency of chromosomal aberrations increases almost 2 times with increasing radiation dose level. A delay in the growth and development of diploid varieties and hybrids, which persisted throughout the growing season when increasing the gamma radiation dose level, was revealed. Radiation depression, which is visible already with the appearance of seedlings, is confirmed by the results of studying the yield of irradiated plants. Mutagenic stimulation of tetraploids was observed in most options, both in indicators of growth, development and yield (for diploids, a significant effect was observed only at doses of 10, 15 Gy and only in terms of yield). Stimulation of growth processes in the tetraploid variety Slavyanka was observed at all level of gamma radiation doses (from 10 to 25 Gy). Morphological anomalies under the influence of radiation were detected at the beginning of plant development. Radiomorphoses of the leaf blade were detected in tetraploids, with a minimum value in the Slavyanka variety. At the same time, diploids did not have such radiomorphoses. They were characterized by chlorophyll mutations such as yellow variegated. During the period of active flowering, the maximum of fertile pollen grains of irradiated plants was at doses of 10 and 15 Gy. This is due to the activation of redox enzymes (peroxidase and polyphenol oxidase). Among the 4n-forms of irradiated plants, the Ukrainian variety Slavyanka had the highest level of starchiness and resistance to late blight and viruses (visual control). It has been established that this variety retains its qualitative and quantitative indicators in case of radioactive contamination (up to 1 Ku/km<sup>2</sup>) of farmland (the study was carried out in the Chernigov region). *Key words:* environmental factor, gamma radiation, potato, radiation damage, growth stimulation, variety, hybrid.

**Постановка проблеми.** Іонізуюче випромінювання є відомим мутагенним фактором, ефекти впливу якого мають як детермінований, так і стохастичний характер. Вивчення його впливу на живі організми далеко продовжується і в наш час, враховуючи величезну кількість видів сучасної біоти, кожен із яких у процесі еволюції придбав унікальні характе-

ристики, що визначають комплекс адаптацій до чинників довкілля. Мутації, що виникають під впливом іонізуючого випромінювання можуть як підвищити, так і знизити адаптаційні можливості живих організмів. Визначення таких наслідків опромінювання не завжди є простим завданням. Для його вирішення необхідно мати якомога найповнішу біологічні та

екологічні характеристики організмів, які зазнали опромінення. Вони необхідні для подальшого порівняльного аналізу, результатами якого стане оцінка наслідків змін, що виникли. Такі характеристики вже встановлені насамперед для сільськогосподарських рослин, які, отже, є зручними модельними об'єктами для досліджень. Враховуючи господарську значущість сільськогосподарських рослин, результати досліджень щодо аналізу впливу на них іонізуючого випромінювання безперечно мають не лише наукову, а й практичну значущість.

Мета дослідження – проаналізувати вплив гамма-випромінювання на ряд ди- та тетраплоїдних сортів і гібридів картоплі.

**Актуальність дослідження.** Визначення ефектів впливу іонізуючого випромінювання на сільськогосподарські культури є актуальним завданням, що пов'язане з необхідністю підйому врожайності за рахунок отримання нових сортів, стимулювання розвитку рослин, а також підвищення стійкості до несприятливих факторів середовища, що виникають внаслідок сучасних кліматичних змін та забруднення ґрунтів радіонуклідами після аварії на ЧАЕС. Вивчення впливу іонізуючого випромінювання на сільськогосподарські рослини є також актуальними у зв'язку з необхідністю отримання фундаментальних наукових відомостей, які можуть бути екстрапольовані на інші біологічні об'єкти.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Визначення радіочутливості сільськогосподарських рослин є частиною фундаментальних досліджень у галузі вивчення екології рослин, оскільки дозволяє проаналізувати вплив на рослинні організми іонізуючого випромінювання як одного з абіотичних факторів середовища. Крім того, виявлення особливостей впливу іонізуючого випромінювання на сільськогосподарські культури сприяє рішенням прикладних завдань у напрямку забезпечення населення продовольством. Виявлення радіочутливості картоплі є важливим завданням в Україні у зв'язку з необхідністю оптимізації підбору сортів для одержання необхідного врожаю в умовах кліматичних змін та антропогенного забруднення ґрунтів, у тому числі радіонуклідами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження щодо визначення наслідків опромінення картоплі проводили у різних напрямках. Важливе практичне значення мають дослідження в області отримання картоплі з підвищеною стійкістю до факторів середовища. Так, проведено дослідження по отриманню картоплі з підвищеною солета посухостійкістю [1–3]. Гама-випромінювання використано як мутагенний фактор при виробництві мікроклубнів диплоїдної та тетраплоїдної картоплі [4, 5]. Проведено також дослідження з виявлення впливу гамма-випромінювання на калюсні клітини картоплі [6]. Одним з найбільш поширених напрям-

ків досліджень є вивчення змін властивостей бульб картоплі, у тому числі структурних властивостей крохмальних зерен, після їх опромінення різними дозами [7, 8].

При цьому результати, отримані різними авторами, можуть значно відрізнятися. Так, при вивченні впливу гамма-випромінювання на насіння картоплі в якості оптимальної дози, яка стимулює їх проростання, одні автори наводять дозу в 20 Гр, інші – на порядок більше [9, 10].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Невирішеними залишаються питання радіочутливості окремих сортів і гібридів картоплі, що визначається за станом опромінених рослин протягом усього періоду росту та розвитку.

**Новизна.** Отримано результати комплексного вивчення ефектів впливу іонізуючого випромінювання, у тому числі утвореного при розпаді  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у забрудненому ґрунті, на ряд ди- та тетраплоїдних сортів і гібридів картоплі.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Проведена робота відображає комплексний підхід до вивчення впливу іонізуючого випромінювання на рослини. Він включає аналіз ефектів опромінення за допомогою таких показників як частота хромосомних аберацій у кінчиках корінців, динаміка росту рослин, частота морфологічних змін, фертильність пилку та ряду інших. Використання цього підходу дозволяє простежити наслідки опромінення протягом зростання та розвитку рослин. Його використання є доцільним щодо радіочутливості як сільськогосподарських культур, так і дикорослих рослин, у тому числі тих, що мають природоохоронні категорії.

**Виклад основного матеріалу.** Радіочутливість картоплі було проаналізовано на тетраплоїдних сортах Світанок Київський, Резерв, Істринський, Слов'янка, а також гібридах 276-662, 946-3, а також на диплоїдах ПДС 83-44, Т-707, Р1225694, L-10.

Радіочутливість обраних для дослідження сортів картоплі визначали через 15 і 30 діб після гамма-опромінення (10–25 Гр) у лабораторних умовах теплиці за кількістю і масою проростків та корінців. Цитологічний аналіз первинних корінців (20–30 у кожному варіанті) проводили за допомогою ацетокармінових препаратів, з визначенням відсотка хромосомних аберацій (мости, фрагменти) в анафазі та телофазі першого мітоза (10–30 проб).

Бульби масою 50–70 г (4n) і 10–30 г (2n) піддавали гамма-опроміненню (10–25 Гр) та використовували у польових випробуваннях. Контроль – неопромінені бульби. В період вегетації враховували схожість, динаміку росту та розвитку, з вивченням морфологічних змін, з виявленням радіоморфозів.

У фазу активного цвітіння, визначали активність редокс-ферментів (пероксидази та поліфенолоксидази) у зернях пилку 2n- і 4n-гамма-опромінених форм



картоплі та фертильність пилку забарвленням в ацетокарміні та оглядом у 10 полях зору під мікроскопом ( $\times 420$ ). Активність редокс-ферментів визначали спектрометричним методом (СФ-16). Субстрати – пірогалол (для пероксидази) та пірокатехін (для поліфенолоксидази). Результат виражали у одиницях зміни оптичної густини на 1 г сирової маси за 1 хв.

У період вегетації оцінювали стійкість картоплі до вірусних хвороб, фітофтори. Після збору врожаю оцінювали врожайність, крохмалистість картоплі. Крохмалистість визначали 2 методами: за Еверсом – поляриметрією, за відхиленням площини поляризації поляризованого променя, та спектрофотометрією за інтенсивністю забарвлення йод-крохмального комплексу.

Результати експериментів обробляли методами математичної статистики, з використанням стандартної помилки  $S$  (при  $n = 6$ ,  $t = 2,75$ , та довірчій ймовірності  $0,95$ , вона складала:  $S = \pm 5-10\%$ ). Визначали також коефіцієнт кореляції  $r$  регресійним аналізом (методом найменших квадратів). Малоймовірні дані не враховували за  $Q$ -критерієм [11].

Результати досліджень з вивчення впливу гамма-випромінювання на динаміку росту проростків, корінців картоплі (Слов'янка, Резерв, Світанок Київський, 276-662, P1225694, ПДС 83-44, T-707) із різною плодючістю до контрастних доз гамма-опромінення (10 і 25 Гр) у первинних ростових процесах (через 15 і 30 діб) представлені в таблиці 1 (позначення в таблиці наступні: а – за середньою масою, б – за кількістю, шт.).

Доза 10 Гр суттєво не впливала на ріст проростків та корінців диплоїдів і викликала стимуляцію ростових процесів тетраплоїдів. Більшій зміні піддавалась маса, чим кількість проростків, корінців.

Встановлено, що при збільшенні дози випромінювання частота хромосомних аберацій зростає майже в 2 рази. В пострадіаційний період (30 діб) спостерігалось відновлення від радіаційного ураження, особливо у тетраплоїдів, завдяки збільшеному набору хромосом. У диплоїдів ослаблені радіацією клітини можуть загинути.

Кращі результати серед 4n-форм спостерігали у українського сорту Слов'янка, а серед 2n-форм – у T-707.

Одним з важливих критеріїв оцінки радіочутливості опромінення є частота індукованих хромосомних аберацій. Експериментальні дані щодо впливу гамма-випромінювання (10 і 25 Гр) на зміну хромосом в анафазі та телофазі мітозу первинних корінців ряду сортів та гібридів представлені в таблиці 2.

З таблиці 2 видно, що у тетраплоїдів більше пошкоджених клітин (мостів, фрагментів), в порівнянні з диплоїдами. Але, враховуючи, що у тетраплоїдних клітин число хромосом більше, розраховували відсоток пошкоджень на 1 хромосому. Виявилось, що кількість хромосомних аберацій у тетраплоїдів має тенденцію до зниження. Мінімальну частоту хромосомних аберацій спостерігали у українського сорту Слов'янка (4n), максимальну – у ПДС 83-44 (2n). Треба зауважити, що завдяки дрібним хромосомам картоплі, вона більш радіостійка, ніж інші

Таблиця 1

## Вплив гамма- випромінювання на динаміку росту проростків, корінців картоплі, % до контролю

Сорт, форма	Дози, Гр	Проростки				Корінці			
		15		30		15		30	
		а	б	а	б	а	б	а	б
4n									
Слов'янка	10	119,1	121,7	117,4	110,3	113,1	120,9	110,7	110,9
	25	45,6	51,9	69,9	57,4	37,8	63,5	47,8	109,3
Резерв	10	117,2	118,4	115,4	109,9	111,4	119,3	109,2	109,3
	25	42,3	44,8	68,7	51,1	36,4	62,9	46,3	74,6
Світанок Київський	10	105,2	115,3	111,8	107,1	106,7	117,1	108,1	111,4
	25	40,1	43,2	63,1	49,4	35,2	65,3	43,9	71,4
276-662	10	104,3	114,8	111,3	106,9	105,8	115,8	107,9	110,0
	25	38,9	42,6	60,3	48,6	33,9	60,0	42,9	69,7
2n									
P1225694	10	97,3	102,4	99,1	101,2	97,1	100,5	98,7	97,1
	25	28,1	37,5	46,3	46,8	31,4	50,8	38,4	59,2
ПДС 83-44	10	98,4	103,3	101,2	102,9	98,8	101,2	100,8	99,4
	25	29,4	39,3	48,9	49,8	29,8	49,3	39,8	60,5
T-707	10	94,7	100,0	100,9	102,0	95,6	102,7	99,8	101,2
	25	32,2	37,3	54,7	41,2	31,7	51,7	41,1	61,4

## Частота хромосомних аберацій в кінчиках корінців під впливом гамма-випромінювання

Сорт, форма	Доза, Гр	% пошкоджених клітин	% пошкоджень на 1 хромосому
4n			
Слов'янка	10	6,3	0,14
	25	12,7	0,32
Резерв	10	7,2	0,15
	25	15,8	0,33
946-3	10	9,7	0,18
	25	17,8	0,35
2n			
P1225694	10	4,3	0,18
	25	8,6	0,37
ПДС 83-44	10	4,6	0,19
	25	9,1	0,38
Т-707	10	4,2	0,17
	25	8,7	0,36

культурні рослини (жито, горох, пшениця), де частота хромосомних аберацій досягає значних рівнів (78–94%) [12–16]. Отже, дослідження первинних ростових процесів у бульбах і цитологічний аналіз показали, що збільшенню плідності відповідає стійкість до дії гамма-випромінювання. Це можна пояснити, мабуть, більш швидким відновленням діяльності пошкодженого ядра у тетраплоїдів.

Радіочутливість картоплі у польових випробуваннях проводили на 3-х тетраплоїдних сортах (Резерв, Істринський, Слов'янка) та 2-х гібридах (276-662, 946-3) різної групи сплості та 4-х диплоїдах (ПДС 83-44, Т-707, P1225694, L-10).

Число виживших рослин визначали на 40 день після появи проростків у контролі. Диплоїд L-10 був найбільш ослабленим: навіть в контролі схожість не більше 30% (далі не аналізувався). Відмічали найбільш радіаційну депресію появи проростків у диплоїдних форм Т-707, ПДС 83-44, меншою була у P1225694 (рис. 1).

Серед 4n-форм кращі результати були у українського сорту Слов'янка, найгірші – у гібрида 946-3, проростки якого при 25 Гр з'явилися на 9 діб пізніше контролю. На відміну від тетраплоїдів, у диплоїдів із збільшенням дози гамма-опромінення відбувалася затримка у рості і розвитку, яка зберігалася протягом всього періоду вегетації.

Одержані результати (рис. 1) демонструють дозову залежність початку фаз розвитку рослин, яка найбільше проявилася у диплоїдів. Тому при дозі 25 Гр повне цвітіння у них відмічалася на 11–21 діб пізніше контролю, а у тетраплоїдних – на 9–18 діб.

За час вегетаційного періоду зростання та розвиток картоплі спрямовані не тільки на запилення та

формування насіння, а й запасання крохмалю в бульбах для подальшого перенесення несприятливого періоду року. Отже, ступінь утворення бульб після опромінення є важливим показником впливу іонізуючого випромінювання на цей вид рослини в цілому та його різних сортів та гібридів зокрема.

Під час збирання врожаю проводили пошуковий облік кількості й маси бульб, результати якого показані в таблиці 3 (позначення в таблиці наступні: а – за масою бульб (% до контролю), б – за кількістю бульб (% до контролю)).

Експериментальні дані про врожайність картоплі (табл. 3) підтверджують наявність радіаційної депресії, що встановлено на початок росту і розвитку рослин – при появі проростків. Максимально врожайним був український сорт Слов'янка. Найбільше зниження врожаю за масою бульб (4n) спостерігали при дозі 25 Гр у гібрида 946-3 (29,7%) і у сорта Світанок Київський (28,1%), мінімальне – у гібрида 276-662 (7,1%) і Резерв (16,2%). У диплоїдів максимальне зниження (47,7%) спостерігалось у ПДС 83-44 і Т-707 (36,3%). Разом з тим, в дозах 10–15 Гр відмічалось підвищення врожайності, в основному, за рахунок збільшення маси однієї бульби на 50,7% (при 10 Гр) у ПДС 83-44 і 32,3% (15 Гр) у Т-707. Маса 1 бульби зростала при збільшенні дози (15 Гр) і у тетраплоїдів – у Резерва – на 74%, тоді як у гібрида 946-3 – лише на 4%. Сорт Резерв зберігав підвищення (на 56%) маси однієї бульби і при дозі 25 Гр. Тому зниження врожаю цього сорту при 25 Гр (на 17,2%) відбувалось за рахунок зниження числа бульб (на 24,1%), в порівнянні з контролем.

Отримані результати мають практичну значимість, оскільки іонізуюче випромінювання у певних

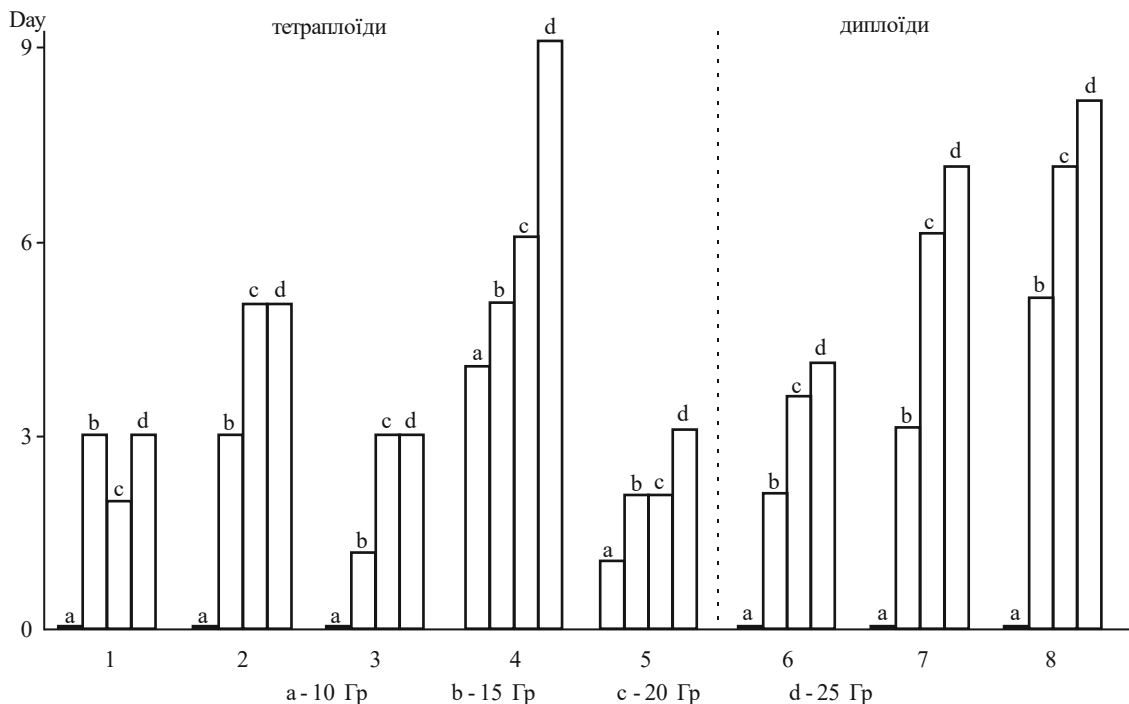


Рис. 1. Радіаційна депресія появи проростків (затримка порівняно з контролем) 4n- і 2n-форм картоплі: 1 – Істринський, 2 – Резерв, 3 – Слов'янка, 4 – 946-3, 5 – 276-662, 6 – P1225694, 7 – T-707, 8 – ПДС 83-44

Таблиця 3

## Вплив гамма-випромінювання на врожайність картоплі, %

Сорт, форма	Показник	Доза випромінювання, Гр			
		10	15	20	25
4n					
Слов'янка	а	99,2	97,5	84,9	85,2
	б	106,9	79,3	76,7	77,8
Резерв	а	97,1	94,6	76,8	83,8
	б	105,3	76,7	66,9	75,9
Світанок Київський	а	87,1	84,9	72,5	71,9
	б	70,9	71,6	64,8	65,6
2n					
P1234013	а	111,0	90,9	59,1	55,2
	б	92,3	80,1	51,9	45,7
ПДС 83-44	а	122,1	121,4	62,1	52,3
	б	93,8	91,7	58,3	49,3
T-707	а	132,1	79,6	57,8	63,7
	б	94,0	72,1	47,8	36,3

дозах демонструє стимулюючу дію на ріст та розвиток рослин. У разі сільськогосподарських рослин ця стимулююча дія може призводити до підвищення врожайності. Так, виявлено врожайні сорти (за нижнім рівнем високої врожайності по середньому значенню контролю) та стимульовані (за перевищенням максимального рівня врожайності контролю). У Резерва

і Слов'янки стимульовані рослини відмічені при всіх дозах гамма-випромінювання (від 10 до 25 Гр), відповідно: 9–4% та 12–8%. На відміну від тетраплоїдів, у диплоїдів при 25 Гр не відмічено появу стимульованих рослин (за масою та кількістю бульб).

Експерименти показали, що диплоїди більш чутливі до впливу радіації. В той час як у тетраплоїдів

мутагенна стимуляція спостерігалася у більшості варіантів, як за ростом, розвитком, так і за врожайністю, для диплоїдів значимий ефект відмічено лише при дозах 10, 15 Гр і тільки за показником врожайності.

Вивчено ступінь мінливості різних сортів та гібридів картоплі під впливом гамма-випромінювання в період від сходів до кінця вегетації за морфологічними ознаками (змінюючи форми листової пластинки та хлорофільними мутаціями).

Спостереження проводили двічі за вегетацію: після появи проростків і до цвітіння. Морфологічні аномалії під дією радіації (радіоморфози) спостерігалися більш суттєво з початку розвитку. Найбільш часто радіоморфози листової пластинки були у тетраплоїдних гібридів: 946-3 – 40–60%, 276-662 – 45–50%.

Із збільшенням дози гамма-випромінювання (10–25 Гр) частота радіоморфозів збільшується у середньому, від 33,3 до 46,7% (табл. 4), з мінімальним значенням у сортів Слов'янка і Істринський (28 і 30%). У диплоїдів подібні радіоморфози не виявлені. В них відмічені хлорофільні мутації типу *jellow variegated* (строкатість). При 25 Гр максимум хлорофільних мутацій був у Т-707 (18,6%), хоча при 10, 15 Гр вони були відсутні. Оцінка мутабільності картоплі при 25 Гр показала, що тетраплоїдні рослини мають меншу мутабільність проти диплоїдних. Але у розрахунку на 1 хромосому, тетраплоїди при більш високій частоті мутацій (28,8%) і хромосомних аберацій (46,7%), мали менший відсоток мутацій (0,60) і хромосомних пошкоджень (0,34) проти диплоїдів (0,81 та 0,37, відповідно).

Одним із найбільш важливих показників впливу іонізуючого випромінювання на насінневі рослини є кількість стерильних пилових зерен.

Максимальна фертильність для вивчених сортів та гібридів була при дозах 10, 15 Гр. Найбільші значення мав український сорт 4n Слов'янка. Діплоїдні форми мали меншу фертильність проти тетраплоїдів. Але опромінені 2n форми збільшували фертильність більш суттєво на 12–14% проти тетраплоїдів (10–11%).

Фертильність, здебільшого, обумовлена інтенсивністю редокс-процесів й активністю редокс-ферментів (табл. 5).

Ступінь підвищення активності редокс-ферментів, проти контролю, показана для стимульованих форм на рисунку 2: за пероксидазою – 13,3–20,8%, за поліфенолоксидазою – 20,1–22,2%. Це дозволяє зробити висновок, що гамма-випромінювання (15 Гр) стимулює ступінь активації редокс-ферментів, як у тетраплоїдів, так і у диплоїдів картоплі, при цьому у останніх у більшій мірі.

Ушкодження, які можуть спричинити іонізуюче випромінювання, здатні знизити стійкість рослин до патогенів. У зв'язку з цим визначення ступеня ураження опромінених рослин збудниками грибкових та вірусних інфекцій наочно демонструє їх загальну радіочутливість.

Візуальний контроль ураження рослин фітофторою та вірусами проводили на 4n (Слов'янка, Істринський) і 2n (ПДС 83-44) опромінених (15 Гр) формах картоплі (рис. 3).

Ступінь ураження фітофторою складає 28,3–31,6%, вірусами – 10,1–11,8%. Менше ураження спостерігали у 2n-форми. Серед 4n-форм крашим був сорт Слов'янка.

У ході проведених досліджень також визначено крохмалистість бульб вивчених форм картоплі. В цілому крохмалистість змінювалася від 17,1 до 20,9%.

Таблиця 4

## Середня частота морфологічних змін у досліджених сортів та гібридів, %

Доза випромінювання, Гр	Радіоморфози у тетраплоїдів	Хлорофільні мутації у диплоїдів
10	33,3	0
15	37,5	3,2
20	39,2	13,6
25	46,7	16,5

Таблиця 5

## Фертильність пилку стимульованих 4n- і 2n-форм картоплі, %

Сорт, форма	Доза випромінювання, Гр			
	контроль	10	15	20
4n				
Слов'янка	62,0	73,4	72,5	68,5
Резерв	58,9	69,1	71,6	61,2
Істринський	61,2	72,1	71,2	67,3
2n				
ПДС 83-44	45,4	59,1	53,9	46,3
P1225694	46,1	60,4	54,2	47,9
Т-707	43,2	53,3	52,4	44,4

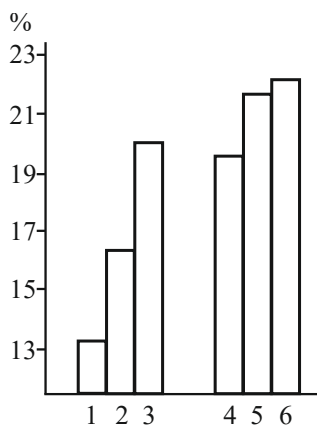


Рис. 2. Ступінь активації редокс-ферментів: 1-3 – пероксидаза, 4-6 – поліфенолоксидаза, 1, 4 – Істринський, 2, 5 – Слов'янка, 3, 6 – ПДС 83-44

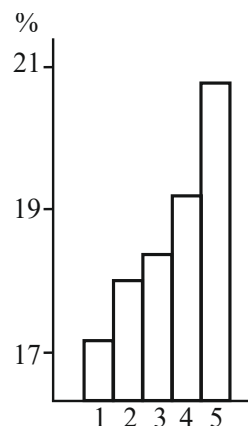


Рис. 4. Крохмалистість 4n-, 2n-форм картоплі, гамма-опроміненою дозою 15 Гр: 1 – ПДС 83-44, 2 – P1225694, 3 – Істринський, 4 – Резерв, 5 – Слов'янка

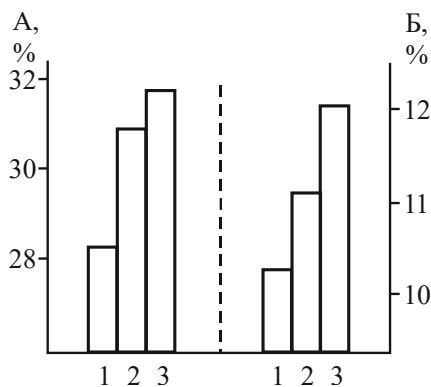


Рис. 3. Ступінь ураження картоплі фітофторою (А) і вірусами (Б): 1 – ПДС 83-44, 2 – Слов'янка, 3 – Істринський

Серед 4n гамма-опромінених форм картоплі максимальну крохмалистість мав український сорт Слов'янка, серед 2n-форм – P1225694 (рис. 4).

Характерно, що вказані сорти та гібриди картоплі не знижували своїх показників в умовах радіаційного забруднення (до 1 Ки/км<sup>2</sup>) сільгоспугідь Чернігівщини (Ріпкинський район), і навіть їх дещо підвищували при обробці ґрунту захисною композицією за рахунок інгібування радіолізного ефекту. Отримані результати показані в таблиці 6 (позначення в таблиці наступні: А<sub>Σ</sub>' – після обробки ґрунту синергічною захисною композицією (СЗК).

Український сорт Слов'янка мав максимум крохмалистості (рис. 5).

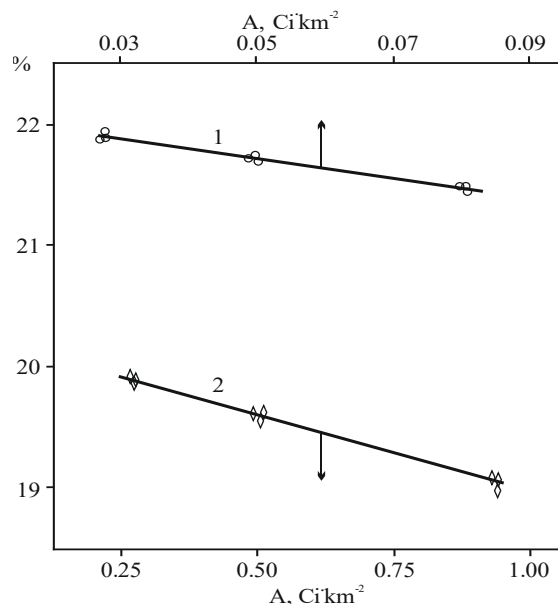


Рис. 5. Крохмалистість українського сорту Слов'янка в умовах радіаційного забруднення ґрунту: 1 – з обробкою СЗК, 2 – без СЗК

**Головні висновки.** Встановлено, що доза гамма-опромінення в 25 Гр викликає радіаційну депресію – гальмування первинних ростових процесів картоплі. Доза гамма-випромінювання 10 Гр викликала у тетраплоїдів стимуляцію ростових процесів, максимально у Слов'янки – на 17,4 і 10,7%, і мало

Таблиця 6

Характеристика радіаційного забруднення ґрунту, А, Ки/км<sup>2</sup>

Зразки ґрунту	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	A <sub>Σ</sub>	A <sub>Σ</sub> '
1	0,80	0,12	0,92	0,080
2	0,41	0,09	0,50	0,050
3	0,22	0,05	0,27	0,029

впливала на диплоїди – ростові процеси були, практично, на рівні контролю.

Визначення частоти індукованих хромосомних аберацій показало, що у тетраплоїдів пошкоджених клітин було більше (при 25 Гр: 12,7–17,8%, мінімально – у Слов'янки) проти диплоїдів (8,6–9,1%). Але у перерахунку на 1 хромосому у тетраплоїдів їх було дещо менше (0,32–0,35), ніж у диплоїдів (0,36–0,38). При збільшенні дози опромінення від 10 до 25 Гр частота пошкоджень збільшується у 2 рази. Це призводить до радіаційної депресії появи проростків і зниження врожайності картоплі.

Показано, що диплоїди більш чутливі до впливу радіації, значимий позитивний ефект відмічається лише при дозах 10, 15 Гр і, в основному, за показником врожайності.

Визначено частоту радіоморфозів досліджених сортів та гібридів, яка у тетраплоїдів зростає від 33,3

до 46,7%. У диплоїдів вони були відсутні, а спостерігалися хромосомні мутації типу yellow variegated (строкатість).

Відмічено, що максимальна фертильність пилку була при випромінюванні 10, 15 Гр, з найбільшим значенням 73,4 і 72,5% у тетраплоїда Слов'янка.

Менші значення спостерігали у диплоїдів (60,4 і 54,2%). Це корелює з підвищенням ступеня активності редокс-ферментів (пероксидази та поліфенолоксидази).

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати можуть бути використані в подальших дослідженнях по вивченню впливу іонізуючого випромінювання на рослини. Вони можуть знайти застосування в сільськогосподарській практиці як при підборі сортів і гібридів картоплі з підвищеною радіостійкістю, так і при проведенні селекційної роботи.

### Література

1. Yayıci O., Alikamanoğlu S. Induction of salt-tolerant potato (*Solanum tuberosum* L.) mutants with gamma irradiation and characterization of genetic variations via RAPD-PCR analysis. *Turk J Biol.* 2012. Vol. 36. P. 405–412.
2. Impact of gamma irradiation pretreatment on biochemical and molecular responses of potato growing under salt stress / E.A. Mohamed et al. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2021. Iss. 8. No. 35.
3. Stability and anatomical parameters of irradiated potato cultivars under drought stress / S.Y. Naiem et al. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 2022. Iss. 29. P. 2819–2827.
4. Micro-tuber production in diploid and tetraploid potato after gamma irradiation of *in vitro* cuttings for mutation induction / S. Bado et al. *American Journal of Plant Sciences.* 2016. Vol. 7. P. 1871–1887.
5. Mahfouze S.A., Esmael A.M., Mohasseb H.A.A. Genetic improvement of potato microtuber production *in vitro* by gamma irradiation. *Biotechnología Aplicada.* 2012. Vol. 29. No. 4. P. 253–257.
6. Efecto de las radiaciones gamma sobre callos de papa var. 'Desirée' / N. Veitia et al. *Biotechnología Vegetal.* 2007. Vol. 7. No. 1. P. 57–61.
7. Dhali K., Basak N., Bhattacharya S. Effect of gamma irradiation on potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers influencing post-harvest quality parameters. *Journal of Crop and Weed.* 2017. Vol. 13. Iss. 2. P. 129–135.
8. Changes in wheat and potato starches induced by gamma irradiation: A comparative macro and microscopic study / H. Atrous. *International Journal of Food Properties.* Vol. 20. No. 7. P. 1532–1546.
9. Salomón Díaz J.L., González Cepero M.C., Castillo Hernández J.G., Nualles M.V. Efecto de los rayos gamma sobre la germinación de la semilla botánica de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales.* 2017. Vol. 38. No. 1. P. 89–91.
10. Подгаєцький А.А., Кравченко Н.В., Падалка Ю.М. Проростання насіння міжвидових гібридів картоплі під впливом гамма-випромінювання. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Аграрна біологія».* 2015. Вип. 30. № 9. С. 43–46.
11. Gordon A., Ford R. *The Chemist's Companion. A Handbook of practical Data, Techniques and References.* New York: Wiley-Interscience Publ., 1972. 541 p.
12. Lowes K., Neele A. Influence of weight of seed tubers on selection of first year clones: preliminary results. *The production of new potato varieties: technological advances* / G.J. Jellis, D.E. Richardson (Eds). Cambridge: Cambridge Univ. press, 1987. P. 78–80.
13. Swaminathan M. *A Comparison of Mutation Induction in Diploids and Polyploids.* New York: Pergamon Press, 1965. 619 p.
14. Miller M. The radiosensitivity of three pairs of diploid and tetraploid plant species: Correlation between nuclear and chromosomal volume, roentgen exposure and energy absorption per chromosome. *Radiation Botany.* 1970. Vol. 10. Iss. 3. P. 273–279.
15. Lachman J., Hamouz K., Orsák M., Pivec V. Potato tubers as a significant source of antioxidants in human nutrition. *Rostlinna Výroba.* 2001. Vol. 46. P. 231–236.
16. Saikhan A., Howard L., Miller J. Antioxidant Activity and total phenolics in different genotypes of potato (*Solanum tuberosum* L.). *J. of Food Science.* 1995. Vol. 60. Iss. 2. P. 341–343.

## СИРОВИННА ПРОДУКТИВНІСТЬ *SERRATULA CORONATA* L. ЗА УМОВ ІНТРОДУКЦІЇ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ПОЛІССІ УКРАЇНИ

Івашченко І.В., Котюк Л.А., Бакалова А.В., Грицюк Н.В.

Поліський національний університет

бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

kalateja@ukr.net

Стаття присвячена інтродукційним дослідженням цінної лікарської рослини серпю увінчаного (*Serratula coronata* L.) в умовах Центрального Полісся України, яка вирізняється високим вмістом біологічно активних речовин, зокрема, фітоекдистероїдів. Мета роботи – оцінити динаміку та особливості формування сировинної продуктивності серпю увінчаного в умовах Центрального Полісся з метою подальшого культивування та застосування у фармації, косметології. Інтродуценти культивували упродовж 2013–2023 рр. в Ботанічному саду Поліського національного університету. Згідно зі схемою польового дослідження насіння серпю висівали широкорядним способом. У генеративних особин вивчали наступні біометричні показники: довжину пагонів (см); кількість пагонів (штук); кількість кошиків на генеративному пагоні. Облік продуктивності надземної маси різновікових генеративних рослин визначали в період масового квітання. В описах використана загальноприйнята термінологія з морфології вищих рослин. В результаті проведених досліджень встановлено, що за інтродукції в Центральному Поліссі України генеративні рослини серпю увінчаного у фазу квітання залежно від віку формували від 2,6±0,8 до 25,8±1,9 генеративних пагонів довжиною від 81,4±8,96 до 148,2±2,8 см та від 10,8±2,38 до 15,4±2,2 суцвіть на пагоні. Інтродуценти різного віку суттєво відрізнялись за продуктивністю. Маса надземної частини генеративних рослин варіювала від 182,7±15,4 (2-й рік життя) до 1825,9±158,3 г/рослину (6-й рік життя), сировинна продуктивність – від 0,62±0,1 кг/м<sup>2</sup> зеленої маси (2-й рік життя) до 4,77±0,17 кг/м<sup>2</sup> (6-й рік життя). Сировинна продуктивність серпю увінчаного, залежно від віку, варіювала в середньому від 0,62±0,1 кг/м<sup>2</sup> зеленої маси до 4,77±0,17 кг/м<sup>2</sup> і була найвищою у шестирічних рослин. Результати проведених досліджень впродовж 2013–2023рр. свідчать про перспективність культивування серпю увінчаного в зоні Центрального Полісся України для подальшого використання у фармації, косметології. *Ключові слова:* *Serratula coronata*, інтродукція, сировинна продуктивність, біометричні показники, Центральне Полісся України.

**Raw material productivity of *Serratula coronata* L. Under the conditions of its introduction in Central Polissia of Ukraine. Ivashchenko I., Kotyuk L., Bakalova A., Hrytsiuk N.**

The article is devoted to the introductory studies of a valuable medicinal plant crowned serpium (*Serratula coronata* L.) in the conditions of Central Polissia of Ukraine. The plant is characterized by a high content of biologically active substances, in particular, phytoecdysteroids. The purpose of the study is to evaluate the dynamics and peculiarities of the formation of the raw material productivity of the crowned serpium in the conditions of Central Polissia with the aim of its further cultivation and application in pharmacy and cosmetology. Introducers were cultivated during 2013-2023 in the Botanical Garden of Polissia National University. According to the scheme of the field experiment, serpium seeds were sown in a wide-row method. The number of shoots and their length (cm) and the number of baskets on a generative shoot were determined in generative individuals of different ages. Accounting of the productivity of the above-ground mass of introducers was determined in the phase of mass flowering. In the descriptions, generally accepted terminology on the morphology of higher plants is used. As a result of the conducted research, it was found that during the introduction in Central Polissia of Ukraine, generative plants of crowned serpium in the flowering phase, depending on the year of life, formed from 2,6±0,8 to 25,8±1,9 generative shoots with a length from 81,4±8,96 to 148,2±2,8 cm and from 10,8±2,38 to 15,4±2,2 from inflorescences per shoot. Introducers of different ages differed significantly in terms of productivity. The mass of the above-ground part of generative plants varied from 182,7±15,4 (2<sup>nd</sup> year of life) to 1825,9±158,3 g/plant (6<sup>th</sup> year of life), raw material productivity varied from 0,62±0,1 kg/m<sup>2</sup> of green mass (2<sup>nd</sup> year of life) to 4,77±0,17 kg/m<sup>2</sup> (6<sup>th</sup> year of life). Depending on the age, the raw material productivity of crowned serpium varied on average from 0,62±0,1 kg/m<sup>2</sup> of green mass to 4,77±0,17 kg/m<sup>2</sup> and was the highest in 6-year old plants. The results of the research during 2013-2023 testify to prospects of cultivating a series of crowns in Central Polissia zone of Ukraine for further use in pharmacy and cosmetology. *Key words:* *Serratula coronata*, introduction, productivity, biometric indicators, Central Polissia of Ukraine.

**Постановка проблеми.** Інтродукція рослин є фактором збагачення рослинних ресурсів та збільшення біотичного різноманіття культурфітоценозів [1]. Важливе значення має вивчення інтродукційних ресурсів та мобілізація видів цінних лікарських рослин з високим вмістом БАР, зокрема серпю увінча-

ного, з метою подальшого культивування та застосування у фармації, косметології.

**Актуальність дослідження.** Серпій увінчаний – перспективне джерело високоякісної лікарської сировини для розробки нових адаптогенних лікарських рослинних препаратів, що в значній мірі від-

новлюють і підвищують працездатність при розумових і фізичних перевтомах. Для умов Центрального Полісся відсутні відомості щодо введення даного виду в культуру. У зв'язку з цим особливої актуальності набули інтродукційні дослідження, зокрема, вивчення продуктивного потенціалу серпю увінчаного в умовах культури.

Метою роботи було оцінити динаміку та особливості формування сировинної продуктивності серпю увінчаного в умовах Центрального Полісся України.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Серпій увінчаний (*Serratula coronata* L.) – багаторічна полікарпічна, симподіальна, з напіврозетковим типом структури надземних пагонів трав'яна рослина родини Asteraceae [2; 3]. За класифікацією життєвих форм рослина відноситься до трав'яних мичкуватокореневих (китицекореневих або додатковокореневих) полікарпиків. За тривалістю вегетації види *Serratula* є тривало-вегетуючими рослинами, за способом зимівлі – літньо-зеленими [4]. Рід нараховує близько 70 видів, розповсюджених в Євразії та Північній Африці. Серпій увінчаний поширений в Середній Азії, Східній Європі, Східному і Західному Сибіру, Кавказі, на Далекому Сході; в Україні – в південній частині Полісся, в Лісостеповій зоні, північній частині Степу [2; 5; 6]. На території України поширено 5 видів роду *Serratula* L., серед яких серпій увінчаний та серпій фарбувальний (*S. tinctoria* L.) мають найширший ареал [4]. *S. coronata* зустрічається на сухих луках, в чагарниках, по узліссях в південних районах Рівненської, Житомирської, Київської, Сумської, Чернігівської областей.

Серпій увінчаний – корисна кормова і лікарська рослина, що вирізняється високим вмістом фітоекдистероїдів, які виявляють анаболічну, адаптогенну, антиоксидантну, мембраностабілізуючу, гепато-, нейро- та нефропротекторну, антиаритмічну, імуномодулюючу, гіпоглікемічну і гіпохолестеролемічну властивості [7; 8]. Надземна частина *S. coronata* може використовуватись як замітник сировини *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) IIIJin, оскільки містить в 10 разів більше екдистероїдів, ніж корені левзеї сафлоровидної [9]. Надземна частина *S. coronata* містить флавоноїди, вітаміни, незамінні амінокислоти, дубильні речовини, макро- і мікроелементи [10; 11; 12; 13]. В народній медицині використовується при епілепсії, неврозах, новоутвореннях, анемії, геморої, ангіні, блювоті, пропасниці, в якості ранозагоювального засобу [9]. В науковій медицині серпій увінчаний застосовують як імуномодулюючий, адаптогенний, антиоксидантний засіб. Рослина має антимикробні [14], антидепресантні властивості та здатна поліпшувати пам'ять [15]; застосовується в косметології [16], від псоріазу [17], при лікуванні себореї [18].

В літературних джерелах відсутні відомості щодо сировинної продуктивності *Serratula coronata* L. за умов інтродукції в Центральному Поліссі України, а дослідження зарубіжних вчених загалом спрямовувалися на вивчення біохімічного складу фітосировини інтродуцента.

**Наукова новизна.** Вперше досліджено особливості формування сировинної продуктивності різновікових генеративних особин *S. coronata* за умов інтродукції в Центральному Поліссі України.

**Матодологія досліджень.** В Ботанічному саду Поліського національного університету нами створена інтродукційна популяція рослин *S. coronata* із насінного матеріалу, отриманого із колекції пряно-ароматичних рослин відділу культурної флори НБС імені М. М. Гришка НАН України. Інтродукційні дослідження здійснювали, послуговуючись рекомендаціями Д. Б. Рахметова [1]. Грунт ботанічного саду дерново-карбонатний, вміст гумусу (за Тюрином) –  $2,39 \pm 0,01$  %, Ph-сольове гумусового горизонту – від  $7,2 \pm 0,10$ ; вміст  $P_2O_5$  –  $332,67 \pm 18,87$  мг/кг;  $K_2O$  –  $128,67 \pm 26,9$  мг/кг (за Кирсановим),  $N_k$  (за Корнфілдом) – від  $63,0 \pm 10,1$  мг/кг ґрунту. Екологічні умови району ботанічного саду типові як для Центрального Полісся України. Інтродуценти культивували упродовж 2013–2023 рр. на відкритій, добре освітленій ділянці, в екологічно вирівняних умовах без застосування пестицидів.

Полеві досліди закладали відповідно до існуючих методик для науково-дослідних установ у чотирьох повтореннях суцільним способом [19]. Стратифіковане насіння серпю висівали у третій декаді квітня широкорядним способом із міжряддями 70 см. Догляд за рослинами полягав у регулярному видаленні бур'янів та рихленні міжрядь. В перший рік життя сіянці серпю увінчаного проходили прегенеративний період онтогенезу. Ріст і розвиток рослин в прегенеративному періоді онтогенезу нами детально було висвітлено в праці «Біологічні особливості *Serratula coronata* L. (Asteraceae) за інтродукції в Ботанічному саду ЖНАЕУ» [20]. На другий рік вегетації рослини вступали в генеративний період, досягаючи середньовікового генеративного стану на третій рік зростання. У генеративних особин вивчали наступні біометричні показники: довжину пагонів (см); кількість пагонів (штук); діаметр стебла (мм); довжину і ширину листової пластинки (см), кількість кошиків у волоті річного пагона. Вимірювали 30 типових особин. В описах використана загальноприйнята термінологія з морфології вищих рослин [21; 22]. Урожай надземної біомаси різновікових рослин серпю увінчаного визначали суцільним методом у фазі масового квітування [23; 19]. Сировину зрізали вручну з кожної ділянки, зважували.

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



**Викладення основного матеріалу.** Практичний інтерес представляє вивчення потенціалу досліджуваних інтродуцентів *S. coronata* за кількістю та довжиною пагонів, які характеризують потужність рослини, обумовлюючи такий важливий показник продуктивності, як маса надземної частини рослин. За умов інтродукції у генеративних особин, залежно від року життя, формується від  $2,6 \pm 0,8$  до  $25,8 \pm 1,9$  пагонів (див. рис. 1), згідно літературних джерел в природних фітоценозах Полтавської області –  $2,6 \pm 0,4$  генеративних пагонів та від 1 до 6 ( $2,2 \pm 0,3$  шт) вегетативних [24]. За умов зростання в Центральному Казахстані кількість генеративних пагонів у рослин складає в середньому  $12,8 \pm 0,5$  шт. [25].

Мінімальна кількість пагонів відмічена у 2014 році (другий рік життя) – в середньому  $2,6 \pm 0,8$  шт., максимальна – у 2018 році (шостий рік життя) –  $25,8 \pm 1,9$  шт. (рис. 1), що в 9,9 разів більше,

порівняно з 2014 роком. В цілому рослини характеризувались значною варіабельністю даної ознаки. Кількість пагонів у рослин *S. coronata* з віком закономірно збільшувалася, що має важливе практичне значення. Проте, на 7-му році життя зафіксовано зменшення їх кількості. У одинадцятирічних інтродуцентів формувалось в середньому  $21,3 \pm 2,5$  пагони (рис. 1), що є свідченням появи перших ознак синільного періоду.

Інтродуценти відрізнялись і за довжиною пагонів, яка також була різною за роками досліджень. Мінімальна довжина пагонів відмічена у дворічних рослин –  $81,4 \pm 8,96$  см, максимальна – у шести-семирічних –  $146,1 \pm 2,7$ ;  $148,2 \pm 2,8$  см, відповідно (рис. 2).

Згідно досліджень S. M. Adekenov (2008) в природних фітоценозах Центрального Казахстану рослини сягали висоти 35–150 см, що узгоджується з результатами наших досліджень. На інтенсивність росту і розвитку рослин значно



Рис. 1. Кількість генеративних пагонів на особину *S. coronata* залежно від року вегетації

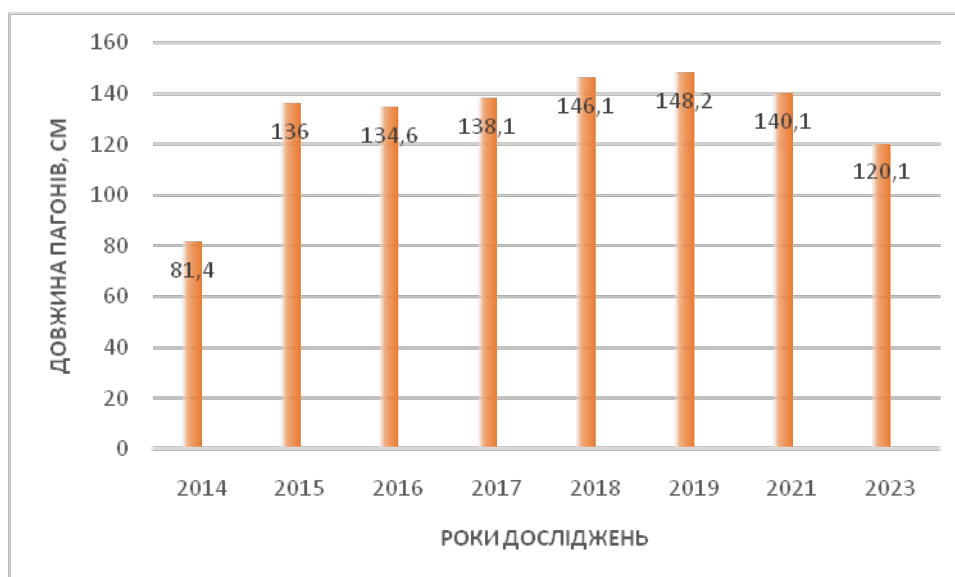


Рис. 2. Довжина генеративних пагонів *S. coronata* залежно від року вегетації

впливали погодні умови вегетаційного періоду та вік рослин.

В умовах культури листки *S. coronata* непарно-пірчастороздільні до розсічених з 4–7 парами довгасто-ланцетних бічних сегментів і більшим за них верхівковим. Параметри листків генеративних особин упродовж досліджень змінювались незначно. Форма і розміри листків залежали від місця розташування на рослині. Розеткові листки довгочерешкові, великі; стеблові листки серединної формації – короткочерешкові, верхівкові – сидячі. Пластинки листків серединної формації завдовжки  $16,03 \pm 0,54$  см, шириною  $11,03 \pm 0,53$  см. В природних умовах Центрального Казахстану стеблові листки серпю увінчаного мали розміри –  $9,7 \pm 0,3 \times 6,1 \pm 0,3$  см;  $16,4 \pm 0,7 \times 13,2 \pm 0,7$  см; в умовах культури –  $16,1 \pm 0,5 \times 9,2 \pm 0,2$  см, що узгоджується з нашими даними [25]. У генеративних особин формувалося в середньому  $29,9 \pm 1,24$  листків на пагоні. В умовах Полтавської області цей показник становив 12–16 шт. [24].

Діаметр пагона біля основи генеративних особин становив 6–10 мм, в умовах Полтавської області – 7–10 мм [24], в умовах Центрального Казахстану –  $7,3 \pm 0,2$  [25], що загалом узгоджується з нашими показниками.

У верхній частини пагони розгалужені і закінчуються суцвіттям волоттю. В умовах досліджень на генеративному пагоні формувалося від  $10,8 \pm 2,38$  до  $15,4 \pm 2,2$  кошиків (рис. 3).

В природних фітоценозах серпю увінчаного Полтавської області на одному пагоні формувалося в середньому  $10,7 \pm 2,3$  кошиків [24], в умовах Центрального Казахстану – на одній особині зафіксовано від  $5,5 \pm 0,3$  до  $14,5 \pm 0,9$  суцвіть [25].

Надземна маса генеративних рослин, залежно від року життя, становила від  $182,7 \pm 15,4$  до

$1825,9 \pm 158,3$  г/рослини (рис. 4). Згідно досліджень S. M. Bek et al. (2007) в умовах культури в Центральному Казахстані – від 353,4 до 1169,8 г/1 рослини, що дещо менше.

Найнижчі показники відмічені у генеративних рослин другого року вегетації –  $182,7 \pm 15,4$ , максимальні – шостого року –  $1825,9 \pm 158,3$  г/рослину.

Фітомаса молодих генеративних (дворічних) особин у фазу квітування в середньому була значно меншою, ніж у середньовікових (три-чотирирічних). Збільшення надземної маси однієї особини серпю увінчаного до четвертого року життя пов'язано із збільшенням кількості річних пагонів до  $12,4 \pm 1,5$ . Рослини другого року життя формували лише 1–3 генеративні пагони. Вага однієї чотирирічної рослини збільшувалася у порівнянні із дворічними особинами у 5,51 разів. Незалежно від віку, рослини формують найбільшу фітомасу у фазу квітування, що пояснюється збільшенням довжини пагонів, розмірів суцвіть та листків верхівкової формації.

Успіх впровадження в культуру різних видів лікарських рослин в нові умови зростання в значній мірі залежить від комплексу господарсько цінних показників, в тому числі від маси сировини. Сировиною для отримання біологічно активних речовин із рослин серпю увінчаного є його надземна частина (пагони із суцвіттями). В умовах Центрального Казахстану для отримання фітопрепаратів із фармакопейної лікарської рослини *S. coronata* рекомендовано заготовляти в якості сировини надземну фітомасу в період квітування [9]. Біологічна продуктивність, як швидкість продукування рослинами надземної і підземної біомаси, безпосередньо залежить від росту і розвитку рослин як впродовж малого сезонного життєвого циклу



Рис. 3. Кількість суцвіть на пагоні *S. coronata* залежно від року вегетації



Рис. 4. Маса надземної частини рослин *S. coronata* залежно від року вегетації



Рис. 5. Сировинна продуктивність *S. coronata* залежно від року вегетації

(за вегетаційний період) так і впродовж всього життєвого циклу (в онтогенезі). Продуктивність надземної маси залежать від ряду факторів: віку рослин, умов вирощування, що включають погодні умови в період росту і розвитку рослин, умов агротехніки та інше. Відповідно, сировинна продуктивність серпю увінчаного, залежно від віку, варіювала в середньому від  $0,62 \pm 0,1$  кг/м<sup>2</sup> зеленої маси (другий рік життя) до  $4,77 \pm 0,17$  кг/м<sup>2</sup> (6 рік життя) (див. рис. 5).

Середньовікові генеративні особини 5–8-го років життя незначно відрізнялись за сировинною продуктивністю. Сировинна продуктивність рослин 3–4-го року життя була суттєво нижчою, що в значній мірі пов'язано із несприятливими екологічними

умовами вегетаційного періоду 2015–2016 рр. До 11-го року життя в інтродуцентів відмічено пониження сировинної продуктивності до  $3,93 \pm 0,13$  кг/м<sup>2</sup>, що пояснюється появою перших ознак синільного періоду.

**Висновки.** Отримані результати показали, що в ґрунтово-кліматичних умовах Центрального Полісся України можливе отримання значних врожаїв сировини *S. coronata*: продуктивність надземної маси середньовікових генеративних особин у фазі квітання становила від  $1,35 \pm 0,15$  (3-й рік життя) до  $4,77 \pm 0,17$  кг/м<sup>2</sup> (6-й рік життя). Найвищу продуктивність рослин ( $4,77 \pm 0,17$  кг/м<sup>2</sup>), максимальну кількість генеративних пагонів ( $25,8 \pm 1,9$  шт), максимальну довжину пагонів ( $148,2 \pm 2,8$  см) та максимальну кіль-

кiсть суцвiть на пагонi (15,4±2,2 шт.) встановлено у шестирiчних особин. Середньовiковi генеративнi особини 5–8-го рокiв життя незначно вiдрiзнялись за сировинною продуктивнiстю. До 11-го року життя у iнтродуцентiв вiдмiчено зниження сировинної про-

дуктивностi до 3,93±0,13 кг/м<sup>2</sup>, що пояснюється появою перших ознак синiльного перiоду.

Враховуючи, що *S. coronata* є новою, перспективною лiкарською культурою дослiдження в такому аспектi необхiдно розширити i продовжити.

### Лiтература

1. Рахметов Д. Б. Теоретичнi та прикладнi аспекти iнтродукцiї рослин в Україні. К.: Аграр Медiа Груп, 2011. 398 с.
2. Флора УРСР: У 12 т. Т. 4 / за ред. О. Д. Васюлиної. Київ: Вид-во АН УРСР, 1962. 589 с.
3. *Serratula coronata* L. in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklistdataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2024-02-03.
4. Насiнна та сировинна продуктивнiсть *Serratula coronata* L. та *Serratula tinctoria* L. / Четверня С. О., Джуренко Н. І., Паламарчук О. П., Грахов В. П. *Бiологiчні системи*. 2015. Т.7, вип. 2. С. 222–228.
5. Морфолого-анатомiчне дослiдження листкiв серпiю увiнчаного (*Serratula coronata* L.) / Марчишин С. М., Атаманчук Т. О., Рахметов Д. Б., Сiра Л. М. *Фармацевтичний часопис*. 2018. № 3. С. 17–21. doi: 10.11603/2312-0967.2018.3.9343
6. *Serratula coronata* (Asteraceae) – a new species record for the flora of Azerbaijan / Huseynova A. Y., Aghayeva P. N., Qarakhani P. Kh., Ali-Zade V. M. *Український ботанiчний журнал*. 2019. Т. 76, № 1. С. 67–70. doi: <https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.01.067>
7. Laekeman G., Vlietinck A. Phytoecdysteroids: Phytochemistry and Pharmacological Activity. In *Natural Products: Phytochemistry, Botany and Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes* / K. G. Ramawat, J. M. Mérillon, Eds. Springer: Berlin / Heidelberg, Germany, 2013. P. 3827–3849.
8. The Phytochemical, Biological and Medicinal Attributes of Phytoecdysteroids: An Updated Review / Das N. et al. *Acta Pharm. Sin. B* 2021. Vol. 11. 1740–1766.
9. Current state of natural thickets of *Serratula coronata* on the territory of Central Kazakhstan / Adekenov S. M., Baitulin I. O., Egeubayeva R. A., Gemedzhiyeva N. G. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Biological series*. 2008. № 6. P. 18–25.
10. Мiнарченко В. М. Лiкарськi судиннi рослини України (медичне та ресурсне значення). Київ: Фiтосоцiоцентр, 2005. 324 с.
11. Ivashchenko I., Ivashchenko O., Rakhmetov D. Phenolic Compounds in *Serratula* improving nutrition, health and life quality. *The scientific proceeding of international network AgroBioNet*. Nitra, 2016. P. 149–154.
12. Иващенко І. В., Рахметов Д. Б., Вергун О. М. Бiохiмiчнi особливостi iнтродукованої популяцiї *Serratula coronata* L. (Asteraceae) у Центральному Полiсiї України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. T15, № 2. P. 200–205. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.2.2019.173574>
13. Extraction and identification of polyphenolic component from *serratula coronate* L. and *Salsola collina* Pall. Using various technological parameters / *Herald of science of Seifullin Kazakh agro technical university* / Kitghan A. A. et al. *Agricultural agro technical universciences*. 2022. Part 1, No2 (113). С. 196–208. [https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.2\(113\).1024](https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.2(113).1024)
14. Ivashchenko I. V. Antimicrobial activity of ethanolic extracts of *Serratula coronata* L. (Asteraceae) introduced in Zhytomyr Polissya. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 2016. Vol. 6, No1. P. 290–303. <http://dx.doi.org/10.15421/201616>
15. Antidepressant effect and recognition memory improvement of two novel plant extract combinations – antistress I and antistress II on rats subjected to a model of mild chronic stress / Kandilarov I.K. et al. *Folia Med (Plovdiv)*. 2018. Vol. 60, Iss.1. P.110–116. doi: 10.1515/folmed-2017-0073.
16. Analysis of Cosmetic Products Containing *Serratula coronata* Herb Extract / Kroma A. et al. *Cosmetics*. 2023. Vol. 10, No 1. P. 18. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10010018>
17. Phytoecdysteroids from *Serratula coronata* L. for Psoriatic Skincare / Kroma A. et al. *Molecules*. 2022. Vol. 27, No 11. P. 3471. <https://doi.org/10.3390/molecules27113471>
18. Separation and HPLC Characterization of Active Natural Steroids in a Standardized Extract from the *Serratula coronate* Herb with Antiseborrheic Dermatitis Activity / Napierała M. et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. 17(18):6453. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186453>
19. Дослiдна справа в агрономiї: навч. посiбник: у 2 кн. Теоретичнi аспекти дослiдної справи / А. О. Рожков А.О. та iн.; за ред. А. О. Рожкова. Х.: Майдан, 2016. Кн. 1. 316 с.
20. Иващенко І. В., Рахметов Д. Б. Бiоморфологiчнi особливостi *Serratula coronata* L. (Asteraceae) за умов iнтродукцiї в ботанiчному саду ЖНАЕУ. *Modern Phytomorphology*. 2016. Vol. 10. P. 71–82. doi:10.5281/zenodo.155363
21. Зиман, С. М., Гродзинський, Д. М., Булах О. В. *Латинсько-англо-росiйсько-український словник термiнiв з морфологiї та систематики судиннихрослин. К.: Наук. Думка, 2011. 284.*
22. Новикова А., Барабаш-Красни Б. Сучасна систематика рослин. Загальнi питання: навчальний посiбник. Львiв: Лiга – Прес, 2015. 686с.
23. Порада О. А. Методика формування та ведення колекцiї лiкарськихрослин. Полтава: Березоточа, 2007. 50 с.
24. Четверня С. О., Джуренко Н. І., Паламарчук О. П. Особливостi онтогенезу *Serratula coronata* L. та *Serratula tinctoria* L. в природних мiсцезростаннях. *Вiстник проблем бiологiї i медицини*. 2018. Вип. 2 (144). С. 99–103 doi:10.29254/2077-4214-2018-2-144-99-103.
25. Introduction of *Surratula coronata* in the conditions of Central Kazakhstan, features of flowering and seed ripening / Bek S. A., Mikhailova E. G., Akhmetzhanova A. P., Adekenov S. M. *News of the NAS RK, Biological series*. 2006. № 3 (255). P. 24–29.
26. Raw material productivity of *Serratula corronata* L. cultivated in Central Kazakhstan / Bek S. A. and others. *Science News of Kazakhstan*, 2007. Vol. 2. P. 18–124.

## СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ ТА ДОБОРУ СЕЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ОЗИМИХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗА МОРОЗОСТІЙКІСТЮ

Юрченко Т.В.<sup>1</sup>, Пикало С.В.<sup>1</sup>, Гудзенко В.М.<sup>2</sup>, Томашевська А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла  
Національної академії аграрних наук України  
08853, с. Центральне, Київська обл.

<sup>2</sup>ТОВ «НВФ «Урожай»  
вул. Благовісна, 193, 18000, м. Черкаси  
rykserg@ukr.net

Серед сільськогосподарських культур зернові займають перше місце, тому вирощування високих урожаїв і підвищення їхніх валових зборів – пріоритетний напрям у розвитку вітчизняного сільського господарства. Морозостійкість – одна з основних складових адаптивності сортів озимих зернових культур. Для визначення морозостійкості існує багато методів, заснованих на різних принципах дії. Переважна їхня більшість не є нині оптимальними, внаслідок чого актуальним залишається завдання створення нових і вдосконалення вже наявних методів оцінювання морозостійкості селекційного матеріалу озимих зернових культур. У представленій роботі наведено порівняльну характеристику різних способів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Модифіковано та удосконалено спосіб оцінювання та добору морозостійкого селекційного матеріалу озимих зернових культур, який базується на дії стресового низькотемпературного чинника, спрямованого проти виживання нестійких форм. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель. Новим є те, що оцінювання та добір генотипів проводять при проморожуванні проростків за дії підібраних диференціюючих температур впродовж підбраного часового проміжку з подальшим дорощуванням у польових умовах під осінню сівбу без проведення яровизації. Суть методу полягає в тому, що він дає змогу значно прискорити та спростити оцінювання та добір морозостійких генотипів і таким чином забезпечує скорочення селекційного процесу та зменшує матеріальні затрати на його виконання. Переваги запропонованого методу над традиційними полягають у економії енергозатрат, можливості працювати з великими вибірками зразків та контролювати умови зовнішнього середовища. Використання даного методу в селекції озимих зернових культур сприятиме створенню нових сортів, які мають цінні практичні властивості. Запропонований метод надасть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці. *Ключові слова:* озимі зернові культури, метод, стійкість, низькі температури, оцінювання.

**Method of evaluation and selection of breeding material of winter cereals for frost resistance. Yurchenko T., Pykalo S., Hudzenko V., Tomashevska A.**

Among agricultural crops, grains occupy the first place, so growing high yields and increasing their gross yields is a priority direction for the development of domestic agriculture. Frost resistance is one of the main components of the adaptability of winter grain crop varieties. To determine frost resistance, there are many methods based on different operating principles. The vast majority of them today are not optimal, as a result of which the task of creating new and improving existing methods for assessing the frost resistance of breeding material for winter grain crops remains urgent. The presented work provides a comparative description of various methods, each of which has its own advantages and disadvantages. The method for assessing and selecting frost-resistant breeding material for winter grain crops has been modified and improved, based on the action of a low-temperature stress factor directed against the survival of unstable forms. The proposed method is protected by a utility model patent. The new aspect is that the evaluation and selection of genotypes is carried out by freezing the seedlings under the influence of selected differentiating temperatures for a selected time period, followed by growing in field conditions for autumn sowing without vernalization. The essence of the method is that it can significantly speed up and simplify the evaluation and selection of frost-resistant genotypes and thus ensures a reduction in the breeding process and reduces material costs for its implementation. The advantages of the proposed method over conventional ones are energy savings, the ability to work with huge samples, and control environmental conditions. The use of this method in the selection of winter grain crops will contribute to the creation of new varieties with valuable practical properties. The proposed method will make it possible to more fully realize the productivity potential of the studied varieties laid down by breeders, which will contribute to their more effective use both in crop production and in breeding practice. *Key words:* winter grain crops, method, resistance, low temperatures, evaluation.

**Постановка проблеми.** Глобальні кліматичні зміни, що спостерігаються протягом останніх десятиліть, значною мірою впливають на валові збори зернових культур [1]. З огляду на нестабільні погодні умови, необхідно підвищувати стійкість рослин до біотичних та абіотичних чинників

довкілля [2; 3]. Несприятливі фактори вирощування зернових культур виставляють надзвичайно важливе завдання – створення нових сортів з потужним генетичним потенціалом високої продуктивності та адаптивності для одержання стабільних валових зборів зерна [4]. Дія низьких температур, особливо

в ранньовесняний період, є однією з найбільш поширених причин загибелі озимини. Під час створення сортів озимих зернових культур однією з важливих властивостей рослин, що потребує уваги на всіх етапах селекційної роботи, є здатність протистояти несприятливим умовам зимівлі, зокрема стійкість до низької температури та до її коливань протягом зимового періоду [5; 6].

**Актуальність дослідження.** Незадовільний стан посівів озимих культур переконує в нагальній потребі проведення селекційних досліджень у напрямі підвищення морозостійкості рослин, тобто їх здатності переносити негативні температури без незворотних шкідливих наслідків [7; 8]. Встановлено, що стійкість рослин до дії низьких температур деякою мірою корелює зі стійкістю їх до інших несприятливих умов, що спостерігаються при випріванні, дії льодяної кірки тощо [9]. У зв'язку з цим відібрані морозостійкі генотипи можуть характеризуватися і загальною зимостійкістю. З часом змінюються кліматичні умови, родючість ґрунту, адаптивність сортів, тому дослідження щодо створення та удосконалення способів оцінки і добору зразків на морозостійкість ніколи не втрачатимуть своєї актуальності.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Представлені матеріали є частиною таких науково-дослідних робіт: «Вивчити генетичні та фізіологічні складники формування адаптивного потенціалу зернових і виділити на цій основі донори морозостійкості та посухостійкості для використання в селекції озимої м'якої пшениці» (номер державної реєстрації № 0116U004005); «Особливості формування ознак і властивостей зернових культур, які визначають стійкість до абіотичних стресових чинників, в умовах Лісостепу України з використанням біотехнологічних та фізіолого-генетичних методів» (номер державної реєстрації № 0121U100435).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для росту і розвитку озимих зернових важливе значення має зимовий період [10; 11]. Під час зимівлі у рослин за низької температури повітря різко знижуються темпи росту та інтенсивність фізіологічних процесів, а тому вони дуже вразливі до негативних чинників зимового періоду – низьких критичних температур, особливо за відсутності снігового покриву, різких зростань температури, а також до вимокання та випирання [12; 13].

На тлі підвищення загального температурного фону осінньо-зимового періоду суттєво зріс рівень його коливання, внаслідок чого спостерігаються часті довготривалі відлиги з різкими короткочасними зниженнями температури, утворення льодової кірки, яка стає додатковим фактором вимерзання [14]. Через несприятливі умови перезимівлі в різних регіонах України майже щороку гине велика кількість посівів озимини. Ось чому таке велике значення має морозостійкість – здатність рослин пере-

носити низькі температури без незворотних шкідливих наслідків [10; 13]. Відмінності між сортами та гібридами щодо рівня морозостійкості можуть змінюватися у різних країнах відповідно до змін кліматичних умов. Під час створення сортів однією з найважливіших властивостей рослин, що потребує уваги на всіх етапах селекційної роботи, є здатність протистояти несприятливим умовам зимівлі, зокрема стійкість до низької температури та до її коливань впродовж зимового періоду [15; 16]. Незадовільний стан посівів озимих культур переконує в нагальній потребі проведення агротехнічних і селекційних досліджень у напрямі підвищення їх морозостійкості [9; 16]. Тому ця ознака є одним з необхідних складників адаптивності сортів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Розробка та вдосконалення методів оцінювання морозостійкості є важливою складовою селекційного процесу зернових культур. Варто підкреслити, що методів оцінювання та добору рослин за морозостійкістю існує багато і залежно від цілей дослідження цієї ознаки і зони вирощування вони можуть бути різними.

Одним із методів добору озимих зернових культур на стійкість до низьких температур є польові дослідження [17]. Проте за умов змін клімату та теплих м'яких зим відібрати морозостійкий матеріал в польових умовах є досить складним завданням. В селекції озимих культур під час виведення нових сортів найбільш перевіреним і надійним є метод прямого проморожування рослин у висівних ящиках [18]. Ящики розміром 30×40 см і глибиною 12–15 см заповнюють звичайним просіяним ґрунтом на 3–4 см нижче верхнього краю. Дослідний матеріал висівають у ящику в рядки через 3–4 см по 20–25 насінин в кожному і насипають зверху ґрунту на 3 см. Весь період осені і початку зими рослини перебувають у природних умовах, де проходять першу та другу фазу загартування. Після загартування ящики транспортують з вегетаційного майданчика і поміщають в низькотемпературні камери КНТ – 1М, де проводять проморожування дослідних зразків. Оцінювання за морозостійкістю проводять через 15–20 діб після проморожування рослин у камерах.

Проте недоліками цього способу є мала пропускна здатність, значна трудомісткість, необхідність використання значної площі штучного клімату, а також те, що рослини, які вижили під час проморожування, не зберігаються для подальшого вирощування. Тобто цей метод слугує лише для оцінювання рослин за морозостійкістю, а не для добору кращих з них за вказаною ознакою.

У селекційній практиці озимих злаків для оцінювання зразків досить часто використовують метод проморожування проростків за Г. А. Самігіним [15]. Зволожені насіння пророщують в термостаті при температурі +15...+20 °С до появи проростків дов-

жиною 5–7 мм, потім викладають у марлеві мішечки по 100 штук і поміщають в ексікатор спочатку для загартування на 7 діб за температури від 0 до -2 °С, а потім на 3 доби при -4 °С. Проростки проморожують за температури від -11 до -13 °С у міні-камерах ЛВН–200Г з експозицією 24 год. Зразки розкладають в ростильні на фільтрувальний папір, накривають склом (захист від пересихання) і через 7–10 діб проводять підрахунок життєздатних рослин. Слід відмітити, що таке відносно швидке зниження температури дозволяє значно скоротити час досліду і за умови правильно підібраної температури проморожування не впливає на точність оцінювання морозостійкості зразків. Складність широкого поширення цього методу полягає в необхідності мати спеціальні морозильні та кліматичні камери.

**Мета роботи** – модифікувати та удосконалити існуючий спосіб добору морозостійкого селекційного матеріалу озимих зернових культур, що дасть можливість за короткий час і з необхідною вірогідністю оцінити та відібрати морозостійкі зразки.

**Новизна.** Модифіковано та удосконалено спосіб оцінювання та добору морозостійкого селекційного матеріалу озимих зернових культур, що обумовлений дією стресового низькотемпературного чинника, спрямованого проти виживання нестійких форм. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель (№ 153824 від 06.09.2023, бюл. № 36) [19]. Суть методу полягає в тому, що він дає змогу значно прискорити та спростити оцінювання та добір морозостійких генотипів і таким чином забезпечує скорочення селекційного процесу та зменшує матеріальні затрати на його виконання. Новим є те, що оцінювання та добір генотипів проводять при проморожуванні проростків за дії підібраних диференціюючих негативних температур впродовж підбраного часового проміжку з подальшим дорошуванням у польових умовах під осінню сівбу без проведення яровизації.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Запропонований метод оцінювання та добору морозостійкого селекційного матеріалу озимих зернових культур доповнить методологію та сприятиме створенню нових сортів із цінними практичними властивостями. Спосіб може бути використаний у селекційних центрах, науково-дослідних установах та дослідних станціях.

**Виклад основного матеріалу.** Найбільш близьким по технічній суті є аналогічний спосіб, згідно якого оцінювання та добір генотипів проводять за проморожування проростків при дії підібраних диференціюючих температур протягом підбраного часового проміжку з наступним дорошуванням у відкритому ґрунті [20]. Даний спосіб прийнято за найближчий аналог. Попередньо проросле зерно у марлевих мішечках складають у скляний ексікатор та проморожують за схемою: перша фаза загартування за температури +1 °С протягом 8 діб, друга

фаза загартування – 3 доби за температури -4 °С, надалі – зниження до наміченої температури проморожування по 2 °С на годину. Оптимальною для диференціації проростків за морозостійкістю є температура проморожування від -11,5 до -12,5 °С. Після проморожування температуру у камері так само поступово підвищують. Проростки розкладають у лотках на вологому фільтрувальному папері, через 5–6 діб проводять підрахунок тих, що вижили після проморожування. Живі проростки кожного зразка розкладають, скручують у паперові рулони і поміщають в камеру, де проростки проходять яровизацію 50 діб за температурного режиму +1 °С. Навесні проростки у рулонах висаджують у відкритий ґрунт, контролюючи вологозабезпечення поливом.

Проте недоліком вказаного методу є його складність, довготривалість та енергозатратність, оскільки він включає проведення яровизації одержаних проростків. У зв'язку з цим збільшуються трудові витрати та затрати на електроенергію для яровизації.

Запропонований спосіб включає нижче перераховані процеси. З кожного селекційного зразка відбирають по 200 зерен та засипають їх у чашки Петрі на фільтрувальний папір, обприскуючи розчином гіпохлориту натрію з розрахунку 3:1 (після обприскування насіння просихає 2 год). Потім насіння заливають дистильованою водою та пророщують впродовж 48 год у термостаті за температури +21 °С. Проросле насіння (довжина проростків має бути 3–5 мм) вміщують у спеціальні марлеві мішечки, які складають у скляний ексікатор.

Підготовлений матеріал проморожують у модифікованих камерах ЛВН-200 Г за наступною схемою. Перша фаза загартування за температури +1,3 °С протягом 7 діб, друга фаза загартування – 1 доба за температури -2 °С, 3 доби за температури -4 °С. У подальшому знижують температуру на 2 °С кожну годину до температури, яка розрахована для кожної культури індивідуально. Оптимальною для диференціації проростків за морозостійкістю є температура проморожування: пшениця м'яка – мінус 12,5 °С, пшениця тверда – мінус 11,5 °С, ячмінь – мінус 9,5 °С. Після проморожування температуру у камері так само поступово підвищують на 2 °С кожну годину до +2 °С, після чого матеріал ще 1 добу тримають у вимкненій камері для поступового розморожування. Після цього проростки розкладають у ростильні на вологий фільтрувальний папір, накривають склом (захист від пересихання) і через 7 діб проводять підрахунок життєздатних рослин.

Відібраний селекційний матеріал після оцінювання висаджують у поле в оптимальні строки сівби. Додатково підрахунки рослин проводять після появи сходів та після перезимівлі. Час проморожування селекційного матеріалу – за три тижні до оптимальних строків сівби озимини.

**Головні висновки.** Таким чином, у результаті дослідження модифіковано та удосконалено

спосіб оцінювання та добору морозостійкого селекційного матеріалу озимих зернових культур. Наведено порівняльну характеристику різних методів в оцінюванні зразків зернових культур на стійкість до низьких температур. Аналіз літературних джерел засвідчив, що для вивчення морозостійкості існує багато методик, заснованих на різних принципах дії, і кожен із них має свої переваги та недоліки. Переважна їх більшість не є нині оптимальними, внаслідок чого актуальним лишається завдання створення нових і вдосконалення вже наявних методів оцінювання озимих зернових культур. Переваги запропонованого

методу над традиційними полягають у економії енергозатрат, можливості працювати з великими вибірками зразків та контролювати умови зовнішнього середовища.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Використання даного методу в селекції озимих зернових культур сприятиме створенню нових сортів, які мають цінні практичні властивості. Удосконалений спосіб надасть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці.

### Література

1. Mahalingam R., Pandey P., Senthil-Kumar M. Progress and prospects of concurrent or combined stress studies in plants. *Annual Plant Reviews*. 2021. Vol. 4. P. 813–868
2. Kyrylenko V.V., Kochmarskyi V.S., Humeniuk O.V., Volohdina H.B., Pykalo S.V., Dubovyk N.S., Sabadyn V.Ya., Lobachov V.O. Influence of climatic factors on *Triticum aestivum* L. grains formation in F 1 crossing varieties with 1AL.1RS and 1BL.1RS translocations. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. Iss. 2. P. 99–105.
3. Chaudhry S., Sidhu, G.P.S. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*. 2022. V. 41. Is. 1. P. 1–31.
4. Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В., Гуменюк О.В., Харченко М.В., Рибка К.М. Розроблення способів оцінки та добору генотипів зернових культур на стійкість до абіотичних стресових чинників. *Екологічні науки*. 2020. № 5(32). С. 175–184.
5. Моргун В.В., Логвиненко В.Ф. Селекція сортів озимої пшениці на високу зимо- та морозостійкість. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. Київ: Логос, 2001. Т. 2. С. 204–211.
6. Юрченко Т., Пикало С., Харченко М. Морозостійкість новостворених сортів пшениці м'якої озимої миронівської селекції за різних умов загартування. *Вісник аграрної науки*. 2023. Т. 101. № 11. С. 35–43.
7. Soleimani B., Lehnert H., Babben S., Keilwagen J., Koch M., Arana-Ceballos F.A., Chesnokov Y., Pshenichnikova T., Schondelmaier J., Ordon F. Genome wide association study of frost tolerance in wheat. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Iss. 1. 5275.
8. Armoniene R., Liatukas, Z. Brazauskas G. Evaluation of freezing tolerance of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under controlled conditions and in the field. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2013. Vol. 100. P. 417–424.
9. Литвиненко М.А., Лифенко С.П. Вплив строків сівби і сублетальних зимових температур на виживаність та врожайність озимої пшениці. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 5. С. 27–31.
10. Пірич А.В. Морозостійкість нових сортів пшениці м'якої озимої миронівської селекції. *Миронівський вісник*. 2018. Вип. 7. С. 85–92.
11. Балабух В.О. Однолеток Л.П., Кривошеїн О. Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у періоди вегетаційного циклу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. № 3. Вип. 46. С. 72–85.
12. Самець Н.П., Грицевич Ю.С., Ворончак М.В. Оцінка зміни клімату на тривалість періодів вегетації та спокою пшениці озимої. *Стратегія інтеграції аграрної освіти, науки, виробництва: глобальні виклики продовольчої безпеки та змін клімату: доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції Міжнародного форуму (м. Миколаїв, 27–28 травня 2021 р.)*. Миколаїв, 2021. С. 85–88.
13. Кириленко В.В., Гуменюк О.В., Дергачов О.Л., Дубовик Н.С., Близнюк Б.В., Хоменко С.О. Методи підвищення морозо-, зимостійкості пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) в умовах Лісостепу України. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2015. Т. 16. С. 120–124.
14. Феоктістов П.О., Блищик Д.В., Нагуляк О.І. Вплив змін погодних умов на формування морозостійкості рослин озимої пшениці в Одеській області. *Насінництво*. 2013. № 6. С. 7–9.
15. Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В., Рибка К.М., Харченко М.В., Прокопик Н.І. Методи оцінки морозостійкості селекційного матеріалу пшениці. *Екологічні науки*. 2021. № 2(35). С. 82–89.
16. Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В., Харченко М.В. Особливості погодних умов в Центральному Лісостепу України впродовж 2019 – 2022 років. *Екологічні науки*. 2023. № 3(48). С. 78–85.
17. Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур / за ред. В.В. Волкодава. 2000. Київ : АЛЕФА, С. 10–50.
18. Пшениця озима. Метод визначення морозостійкості сортів: ДСТУ 4749:2007. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 8 с.
19. Спосіб оцінювання та добору морозостійкого селекційного матеріалу озимих зернових культур: пат. 153824 Україна: МПК А01Н 1/04. № 202202833; заявл. 08.08.2022; опубл. 06.09.2023, Бюл. № 36. 5 с.
20. Спосіб добору морозостійкого селекційного матеріалу пшениці м'якої озимої: пат. 128674 Україна: МПК А01Н 1/00, А01Н 3/00. № 201711023; заявл. 13.11.2017; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19. 5 с.



---

# ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

---

УДК 333.73(477):630\*2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.29>

## СИНЕРГІЯ РИЗИКІВ ТА ПЕРСПЕКТИВ: АНАЛІЗ КРУГЛОГО СТОЛУ ТА ФОРУМУ ЩОДО ЛІСІВ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ ЄС

Бондар О.Б.<sup>1</sup>, Мельник Є.Є.<sup>2</sup>, Чернишенко О.Я.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Західноукраїнський національний університет

вул. Львівська, 11, 46009, м. Тернопіль

<sup>2</sup>Український ордена «Знак пошани» науково-дослідний інститут лісового господарства  
та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького

вул. Пушкінська, 86, 61024, м. Харків

olexandr.bondar91@gmail.com, Wudckij@bigmir.net

Стаття підкреслює важливість лісових ресурсів України в контексті європейської інтеграції та сталого розвитку. Вона висвітлює сучасні виклики, з якими стикається лісове господарство, такі як знеліснення, деградація лісів, та необхідність адаптації до змін клімату. Автори статті аналізують результати недавніх заходів круглого столу: «Ліси України в контексті європейської інтеграції: виклики та можливості» (21 березня 2024 року, м. Львів) та форуму: «Ліси України: стале управління та інновації» (22 березня 2024 року, м. Київ), проведених українськими та міжнародними організаціями, що стосуються лісового господарства, та визначають ключові ризики та перспективи в цій сфері.

Значна увага приділяється ролі лісів у забезпеченні екологічної безпеки та біорізноманіття, а також їхньому впливу на економіку країни. Розглядаються питання екологічної політики та законодавства, необхідність реформування лісового сектору, та впровадження ефективних механізмів контролю за використанням лісових ресурсів.

Автори звертають увагу на важливість міжнародної співпраці та обміну досвідом у сфері лісового господарства, що може сприяти впровадженню кращих практик та стандартів. Вони закликають до активізації діалогу між усіма зацікавленими сторонами, включаючи державні органи, наукові установи, громадські організації, та бізнес, з метою формування ефективної та відповідальної лісової політики.

Важливо зазначити, що ліси відіграють ключову роль у підтримці стабільності клімату, збереженні водних ресурсів та підтримці біологічного різноманіття. Вони також служать домівкою для численних видів рослин та тварин, багато з яких є унікальними для України. Однак, незважаючи на їхню важливість, ліси України зазнають серйозних загроз через неконтрольоване вирубування дерев, незаконну торгівлю деревиною та забруднення.

У зв'язку з цим необхідно посилити зусилля з боку уряду, громадськості та міжнародної спільноти щодо захисту та відновлення лісових ресурсів України. Вони також підкреслюють необхідність розробки та впровадження ефективних стратегій та політик, спрямованих на збереження лісів, підтримку біорізноманіття та забезпечення сталого розвитку.

Стаття має практичне значення для урядових органів, науковців та громадськості, що займаються питаннями сталого розвитку та екології, і вносить вагомий внесок у розуміння складності сучасної ситуації в лісовому господарстві України.  
*Ключові слова:* лісова екосистема, форум, круглий стіл, відновлення довкілля, Україна.

**Synergy of risks and prospects: analysis of the round table and forum on Ukrainian forests in the context of the EU. Bondar O., Melnyk Ye., Chernyshenko O.**

The article emphasizes the importance of Ukraine's forest resources in the context of European integration and sustainable development. It highlights the current challenges faced by forestry, such as deforestation, forest degradation, and the need to adapt to climate change. The authors of the article analyze the results of recent roundtable events: "Ukrainian Forests in the Context of European Integration: Challenges and Opportunities" (March 21, 2024, Lviv) and the forum: "Forests of Ukraine: Sustainable Management and Innovation" (March 22, 2024, Kyiv), held by Ukrainian and international forestry organizations, and identify key risks and prospects in this area.

Considerable attention is paid to the role of forests in ensuring environmental safety and biodiversity, as well as their impact on the country's economy. The issues of environmental policy and legislation, the need to reform the forestry sector, and the introduction of effective mechanisms to control the use of forest resources are discussed.

The authors also draw attention to the importance of international cooperation and exchange of experience in the field of forestry, which can contribute to the implementation of best practices and standards. They call for intensified dialogue between all stakeholders, including government agencies, academia, civil society organizations, and business, to develop effective and responsible forest policies.

It is important to note that forests play a key role in maintaining climate stability, conserving water resources, and supporting biodiversity. They are also home to numerous species of plants and animals, many of which are unique to Ukraine. However, despite their importance, Ukraine's forests are under serious threat from uncontrolled deforestation, illegal timber trade, and pollution.

In this regard, it is necessary to strengthen efforts on the part of the government, the public and the international community to protect and restore Ukraine's forest resources. They also emphasize the need to develop and implement effective strategies and policies aimed at forest conservation, biodiversity and sustainable development.

The article is of practical importance for government agencies, scientists, and the public concerned with sustainable development and the environment, and makes a significant contribution to understanding the complexity of the current situation in the forestry sector in Ukraine. *Key words:* forest ecosystem, forum, round table, environmental restoration, Ukraine.

**Постановка проблеми.** Ліси України відіграють важливу роль у сфері екології, економіки та соціального розвитку країни [5, 7]. Збереження та стале використання лісів є ключовим завданням, особливо в контексті євроінтеграції.

Нещодавно в Україні відбулися два важливих заходи, присвячених лісовому господарству:

1. **Круглий стіл:** «Ліси України в контексті європейської інтеграції: виклики та можливості» який проводився в м. Львів, Стрийський парк, 14, офіс Громадської організації «Лісові ініціативи і суспільство», формат участі: очно, дистанційно [6].

2. **Форум:** «Ліси України: стале управління та інновації» який проводився в м. Київ, вул. Ярославів Вал, 22, організатори Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (ФАО), Forest Stewardship Council (FSC), Всесвітній фонд дикої природи (WWF), Проект інституційної та політичної реформи для малих фермерських господарств (EU IPRSA), формат участі: очно, дистанційно [12].

Під час обговорень на цих заходах було виокремлено ряд ризиків та перспектив, пов'язаних з лісами України [6, 12]:

1) **Ризики:** незаконна вирубка лісів, знищення біорізноманіття, лісові пожежі, зміна клімату, застаріла інфраструктура.

2) **Перспективи:** євроінтеграція та прийняття європейських стандартів лісового господарства, розвиток інноваційних технологій, збільшення інвестицій, створення нових робочих місць, підвищення екологічної свідомості.

Ці заходи об'єднали експертів з різних галузей, щоб обговорити актуальні проблеми та перспективи розвитку лісового господарства України.

**Актуальність дослідження.** Дослідження ризиків та перспектив розвитку лісового господарства України є актуальним завданням, яке має значний вплив на екологічну, економічну та соціальну сферу країни [1, 3, 4]. Результати дослідження допоможуть Україні зберегти та відновити свої ліси, модернізувати лісове господарство, підвищити його економічну ефективність та відповідальність перед суспільством, а також успішно інтегруватися до Європейського Союзу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Військові дії мають значний вплив на лісові екосистеми, завдаючи шкоди довкіллю та створюючи ризики для людей та тварин [2, 9]. Круглі столи можуть відігравати важливу роль у згуртуванні зацікавлених сторін для обговорення цих проблем, пошуку рішень та координації дій.

Проведення круглих столів може сприяти підвищенню усвідомленості щодо впливу військових дій на лісові екосистеми. Це може стимулювати більшу

підтримку громадськості у захисті лісів та зменшенні негативних наслідків війни [10, 11].

Обмін інформацією під час круглих столів може створити майданчик для обміну знаннями та досвідом щодо впливу військових конфліктів на ліси. Це може допомогти експертам, політикам і практикам краще розуміти проблему та розробляти ефективніші рішення [8].

Круглі столи також можуть сприяти розробці та узгодженню стратегій для певного захисту лісів від військових дій. Це може включати планування реагування на надзвичайні ситуації, відновлення лісів та збільшення їх стійкості до майбутніх конфліктів [3].

Крім того, круглі столи можуть сприяти координації дій зацікавлених сторін, таких як урядові органи, неурядові організації, науковці та місцеві громади.

*Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття* здійснює аналіз синергії ризиків та перспектив, інноваційні технології, екологічна свідомість та євроінтеграція.

1. **Синергія ризиків та перспектив:** більшість досліджень ризиків та перспектив розвитку лісового господарства України проводяться ізольовано.

2. **Інноваційні технології:** існуючі дослідження інноваційних технологій у лісовому господарстві не дають чіткої картини пріоритетних напрямків розвитку.

3. **Екологічна свідомість:** дослідження екологічної свідомості населення щодо значення лісів України мають фрагментарний характер.

4. **Євроінтеграція:** дослідження адаптації лісової політики України до європейських стандартів зосереджуються на окремих аспектах проблеми.

Ця стаття досліджує не вирішені раніше частини загальної проблеми розвитку лісового господарства України, пропонуючи нові підходи до вирішення проблем галузі.

*Новизна дослідження* полягає в системному підході до аналізу ризиків та перспектив, визначенні пріоритетних напрямків розвитку інновацій, розробці комплексної стратегії підвищення екологічної свідомості та комплексній оцінці проблем та перспектив адаптації лісової політики України до європейських стандартів.

*Методологічне або загальнонаукове значення.* Для написання статті використали матеріали ГО «Лісові ініціативи і суспільство» [6] та FSC в Україні [12].

**Виклад основного матеріалу. Круглий стіл:** «Ліси України в контексті європейської інтеграції: виклики та можливості» який проводився в м. Львів, Стрийський парк, 14, офіс Громадської організації «Лісові ініціативи і суспільство» (рис. 1).



Рис. 1. Очні учасники круглого столу [6]

Захід проводив Олег Листопад, експерт Мережі захисту національних інтересів АНТС, представив учасників семінару.

Вітальне слово [6]: Петро Павличенко, представник Лісової служби США в Україні, привітав учасників та наголосив на важливості співпраці у збереженні лісів.

Ліси України в глобальному контексті та загрози знеліснення і деградації лісів: доповідачі Дмитро Карабчук, канд. с.-г. наук, керівник ГО «ЛІС», експерт із питань лісової політики, розповів про роль українських лісів у глобальному контексті та про загрози, з якими вони стикаються. Тетяна Пивовар, канд. с.-г. наук, старша наукова співробітниця, аналітикиня ГО «ЛІС», представила дані про знеліснення та деградацію лісів в Україні. Основні тези: Роль українських лісів у глобальному контексті; Загрози знеліснення та деградації лісів в Україні; Дані про знеліснення та деградацію лісів в Україні.

Ліси та інновації: Нові рішення для кращого світу: доповідач Василь Масюк, міжнародний експерт ФАО в Україні, розповів про інноваційні рішення для збереження та кращого управління лісами. Основні тези: Інноваційні рішення для збереження та кращого управління лісами; Приклади успішного використання інновацій у лісовому господарстві.

Вплив війни на лісове господарство – основні виклики: доповідачі Ігор Будзінський [6], начальник Управління лісового господарства та відтворення лісів Держлісагентства України, розповів про вплив війни на лісове господарство України та Віктор Мельниченко, генеральний директор ВО «Укрдержліспроект», окреслив основні виклики, з якими стикається лісова галузь в умовах війни. Основні тези: Вплив війни на лісове господарство України; Основні виклики, з якими стикається лісова галузь в умовах війни; Шляхи подолання викликів, пов'язаних з війною.

Реформування лісової галузі: ризики і переваги: доповідач Ігор Лицур, виконавчий директор ДП «Ліси України», розповів про реформування лісової галузі та про ризики та переваги цього процесу. Основні тези: Реформування лісової галузі України; Ризики та переваги реформування; Очікувані результати реформування.

Чи достатньо збережених пралісів в Україні і яка їхня роль у збереженні світової спадщини лісів? доповідачка Людмила Сломінська, менеджер проєктів напряму «Ліси» WWF-Україна, розповіла про роль пралісів у збереженні біорізноманіття та про те, чи достатньо їх збережено в Україні. Основні тези: Роль пралісів у збереженні біорізноманіття; Площа збережених пралісів в Україні; Заходи збереження пралісів.

Вирішення глобальних проблем на локальному рівні: місцеві громади і ліс: доповідачка Маріне Елбакідзе, канд. геогр. наук, доцентка кафедри гео-екології і фізичної географії ЛНУ ім. Івана Франка, розповіла про роль місцевих громад у збереженні лісів [6].

Основні тези: Роль місцевих громад у збереженні лісів; Приклади успішної співпраці місцевих громад та лісівників; Шляхи залучення місцевих громад до управління лісами.

Потенціал FSC сертифікації системи ведення лісового господарства: доповідач Павло Кравець [6], директор FSC Україна, розповів про FSC сертифікацію та її роль у забезпеченні сталого управління лісами. Основні тези: FSC сертифікація та її роль у забезпеченні сталого управління лісами, переваги FSC сертифікації для лісгосподарських підприємств, розвиток FSC сертифікації в Україні.

III, OSINT та автоматизація як інноваційні рішення для збереження лісів: доповідач Євгеній Хань, менеджер СоС та цілісності FSC Україна, розповів про інноваційні рішення, які можуть допо-

могти у збереженні лісів. Основні тези: інноваційні рішення, які можуть допомогти у збереженні лісів, приклади використання ШІ, OSINT та автоматизації в лісовому господарстві, перспективи розвитку інноваційних рішень для збереження лісів

*Апробація цифрових інструментів та технологій для сталого управління лісами: доповідач Радміла Устич, експертка ГО ФОРЗА.* Основні тези: Застосування цифрових інструментів та технологій для моніторингу лісів; Переваги використання цифрових технологій у лісовому господарстві; Практичні приклади використання цифрових інструментів.

*Екологічна вартість лісу за чинним законодавством України: доповідач Олег Сторчоус, адвокат,* розповів про екологічну вартість лісу та про те, як вона враховується у чинному законодавстві України. Основні тези: Поняття екологічної вартості лісу; Як враховується екологічна вартість лісу в українському законодавстві; шляхи покращення законодавства щодо екологічної вартості лісу [6].

*Екологи, лісівники, бізнес – опоненти чи зацікавлені сторони? Доповідач Юрій Дюг, голова правління ГО "Wood Industry UA",* провів дискусію про те, чи є екологи, лісівники та бізнес опонентами чи зацікавленими сторонами, які мають співпрацювати для збереження лісів. Основні тези: Чи є екологи, лісівники та бізнес опонентами в питаннях використання лісів; Важливість співпраці усіх зацікавлених сторін для збереження лісів; Шляхи налагодження співпраці між екологами, лісівниками та бізнесом.

**Підсумки семінару:** Учасники семінару обговорили актуальні проблеми та перспективи розвитку лісового господарства України. Були окреслені основні виклики, з якими стикаються українські ліси, та шляхи їх подолання. Наголошено на важливості співпраці всіх зацікавлених сторін для збереження та сталого управління лісами України.

**Форум: «Ліси України: стале управління та інновації»** який проводився в м. Київ, вул. Ярославів Вал, 22, організатори Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (ФАО), Forest Stewardship Council (FSC), Всесвітній фонд дикої природи (WWF), Проект інституційної та політичної реформи для малих фермерських господарств (EU IPRSA), формат участі: очно, дистанційно [3, 12].

**Сесія 1: EUDR як інструмент наближення євроінтеграційних перспектив для України.**

Аналіз виступів на сесії «EUDR як інструмент наближення євроінтеграційних перспектив для України».

Вітальне слово: Олег Бондаренко (голова Комітету Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування) підкреслив важливість EUDR для України, як інструменту для захисту довкілля та наближення до євроінтеграції. Ігор Безкаравайний (заступник Міністра економіки України). Крістіан Бен Хелл (керівник операцій-

ного сектору сільського господарства, продовольчої безпеки та земельних ресурсів Представництва ЄС в Україні та представник Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України) Висловив підтримку ЄС у впровадженні EUDR в Україні. Поінформував про кроки, які Україна вже зробила для впровадження EUDR [3, 12].

Пер Вотьє (призначений відповідальний службовець / Голова офісу ФАО в Україні) підкреслив важливість співпраці з ФАО для впровадження EUDR.

Павло Кравець (національний представник FSC в Україні) проаналізував про роль FSC в Україні та про те, як FSC може допомогти впровадити EUDR [3, 12].

Костянтин Гура (директор з питань збереження WWF-Україна) наголосив на важливості збереження лісів України.

Габор Ловасі Габор ЛОВАСІ (спеціаліст з питань політики Європейської Комісії в Генеральному Директораті з навколишнього середовища, підрозділ «Планетарні спільні блага, універсальні цінності та екологічна безпека») детально розповів про вимоги EUDR та його вплив на політики країн за межами ЄС.

Ігор Будзінський (начальник Управління лісового господарства та відтворення лісів Державного агентства лісових ресурсів України) доповів про виклики для лісового господарства України в процесі узгодження національного законодавства до вимог ЄС (рис. 2).

Василь Масюк (національний фахівець лісівничої програми, ФАО Україна) доповів про удосконалення інституційного середовища задля сприяння імплементації лісової політики ЄС в Україні [3, 12].

**Сесія 2: Вплив EUDR на державну політику та стратегію крізь призму ризиків і загроз для України.**

Юлія Плиська (керівник напряму GR ДП «Ліси України») доповіла про Регламент ЄС щодо знеліснення та деградації лісів: імплементаційні ризики та потенційні перспективи [3, 12].

Оксана Донська (членкиня правління Української Асоціації Меблевиків, керівник проекту FUBE) та Юрій Дюг (координатор платформи Wood Industry UA) розповіли про ризики реалізації EUDR для деревообробного бізнесу України: від стратегії до напрямів практичних дій.

Ганна Лобченко (менеджер лісових проєктів WWF-Україна) доповів про природоохоронний аспект попередження знеліснення та деградації лісів в Україні.

Павло Кравець (національний представник FSC в Україні) доповів про інструментарій добровільних ініціатив для попередження знеліснення та деградації лісів в Україні.

**Головні висновки** дослідження вказують на важливість розробки та впровадження національної лісової політики з метою збереження та відновлення



Рис. 2. Начальник Управління лісового господарства та відтворення лісів Державного агентства лісових ресурсів України Ігор Будзінський [3]

лісових ресурсів. Ця політика повинна бути адаптована до європейських стандартів, щоб сприяти екологічній відповідальності та підвищенню конкурентоспроможності лісового господарства на внутрішніх та міжнародних ринках. Залучення громадськості до управління лісами та контроль за діяльністю лісгосподарських підприємств є ключовими аспектами на громадському рівні. Наукові дослідження мають продовжувати вивчення проблем і перспектив розвитку лісового господарства, сприяючи розробці нових інноваційних технологій та підготовці наукових кадрів. На міжнародному рівні співпраця з міжнародними організаціями є важливим для збереження та відновлення лісових ресурсів, обміну досвідом та надання технічної та фінансової підтримки.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження відкривають широкі перспективи на різних рівнях. Національний рівень зможе скористатися ними для розробки та впровадження національної лісової політики, а також для адаптації її до європейських стандартів,

що сприятиме збереженню та відновленню лісів та підвищенню екологічної відповідальності.

На галузевому рівні, лісгосподарські підприємства матимуть можливість покращити планування та ведення господарства, впроваджуючи інноваційні технології та підвищуючи економічну ефективність, що сприятиме їхній конкурентоспроможності.

На громадському рівні, громадські організації можуть використовувати ці результати для підвищення екологічної свідомості, залучення громадян до участі в управлінні лісами та контролю за діяльністю лісгосподарських підприємств.

Наукові установи матимуть змогу продовжити дослідження проблем та перспектив розвитку лісового господарства, розробляти нові інноваційні технології та підготовляти наукових кадрів.

На міжнародному рівні, міжнародні організації можуть співпрацювати з Україною у питаннях збереження та відновлення лісів, надавати технічну та фінансову допомогу, а також обмінюватися досвідом та кращими практиками.

### Література

1. Балюк Г.І. Правові засади державної екологічної політики України: сучасні проблеми. Екологічне право України. 2017. № 3–4. С. 8–15.
2. Бондар О., Галаган О., Головатюк Л. Міжнародна конференція «Вплив воєнних дій на довкілля в Україні та права людини – цивілізаційні». Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ. 2022. Вип. 4 (135). С. 11-16.
3. Вплив Регламенту ЄС щодо знеліснення та деградації лісів на Україну: перспективи та ризики. URL <https://forest.gov.ua/news/vplyv-rehlamentu-ies-shchodo-znelisnennia-ta-dehradatsii-lisiv-na-ukrainu-perspektyvyu-ta-ryzyku> (дата звернення 28.03.2024).
4. Гулак О.О. Реалізація екологічної політики на місцевому та регіональному рівнях. Вісник Луганського державного університету внутрішніх справ імені Е.О. Дідоренка. 2020. № 2(90). С. 182–195.
5. Зібцев С. В., Сошенський О. М., Голдаммер Й. Г. та ін. Лісоуправління на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами. WWF-Україна, 2022. 148 с.
6. Круглий стіл «Ліси України у міжнародному контексті: ризики, виклики, майбутнє». URL <https://forestcom.org.ua/news-post/kruglij-stil-lisy-ukrayiny-ryzyky-vyklyky-majbutne> (дата звернення 28.03.2024).
7. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку. Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції студентів, магістрів, аспірантів, молодих вчених і викладачів, м. Малин, 21 березня 2023 року. Малин: Вид-во МФК, 2023. 485 с.

8. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: Указ Президента України від 30 вересня 2019 р. № 722/2019/ Президент України. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825> (дата звернення: 29.03.2024).
9. Проблеми техногенно-екологічної безпеки в сфері цивільного захисту: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2022. 257 с.
10. Резніков В.В. Особливості формування та реалізації державної політики у сфері європейської інтеграції в різних країнах. Науковий вісник: Державне управління. 2020. № 1(1(3)). С. 153–162.
11. Сич, К., Романов, Є. Формування та реалізація державної екологічної політики в умовах євроінтеграції. Економіка та суспільство, (45). 2022. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-40>
12. FSC® Ukraine URL <https://ua.fsc.org/ua-uk> (дата звернення 28.03.2024).

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕНЕДЖМЕНТУ РЕКРЕАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ТЕРИТОРІЇ ПРИРОДООХОРОННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В УКРАЇНІ

Бондар О.І., Шевченко Р.Ю., Іваненко І.Б., Мовчан М.М.  
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ  
[azimut90@ukr.net](mailto:azimut90@ukr.net)

Означено руйнівний вплив російсько – української війни на рекреаційні природно-заповідні комплекси та інші об'єкти фізико-географічних зон України. В країні триває воєнний стан вже понад два роки. За цей час значна частина галузей національної економіки зазнала величезних втрат, зокрема й кластер туристсько-рекреаційного природокористування. Перш за все, це руйнування природно-заповідних комплексів внаслідок активних бойових дій та бомбардувань. Знищені природно-територіальні комплекси Приазов'я та Тавриди, Слобожанщини та Донщини. Окрім того, іншим патогенним чинником, що впливає на природні комплекси, – це антропогенне рекреаційне навантаження, яке спричиняють туристи-рекреанти. Так, за останні два туристичні сезони вони засвідчили в Україні максимальні неконтрольовані показники рекреаційного впливу, які довели туристсько-рекреаційну сміть природно-заповідних територій України до критичних значень виснаження. Генезис відповідного явища впливає із соціально-економічних, політико-географічних та геополітичних наслідків російсько-української війни, адже значна частина громадян України, зважаючи на обставини, має певні обмеження для виїзду на відпочинок за межі держави. Тобто, міжнародний туризм, його логістика, інфраструктурне забезпечення трансформувалися в національний сегмент економіки. З одного боку, воно стало значним фактором підтримки державного та місцевих бюджетів, з іншого – має величезний вплив на довкілля та масштабне охоплення на рівні надзвичайної ситуації природно-техногенного характеру. Такі проблеми можна розв'язувати завдяки моніторингу управління (менеджменту) в системі туристсько-рекреаційного природокористування, а також удосконалення розрахунків антропогенного навантаження на території природоохоронного призначення в Україні.

За підсумками аналізу математичних алгоритмів щодо визначення структурно-параметричних формул визначення рекреаційного навантаження на довкілля та його статистичну оцінку, здійсненого українськими та зарубіжними вченими екологами-туризмознавцями, був напрацьований удосконалений математичний модуль розрахунків рекреаційних навантажень, ємності та впливу, що складається із двадцяти п'яти формул, якими означено алгоритмічний кореляційний та параметричний аналіз рекреаційного антропогенного впливу на природно-заповідні території для всіх заповідних ареалів фізико-географічних та кліматичних зон. Новітнім в удосконаленому математичному моделюванні є запровадження параметрів сприятливості та несприятливості синоптичних показників на різні періоди року (туристичного сезону). Математичні розрахунки дозволятимуть визначати критичний гранично-допустимий рівень кількості туристів-рекреантів на природно-заповідних територіях із мінімальним тиском на екосистеми.

Практичне значення розробленої математичної програми розрахунків оцінки впливу на довкілля від туристсько-рекреаційної діяльності – це те, що алгоритм стає логічною основою для подальшого визначення кількісних показників туристсько-рекреаційного збору від підприємств туристичної сфери обслуговування на територіях (землях державної форми власності), що не відносяться до заповідних: міські парки (урбатрії), приозерні та річкові урочища (акваторії), заміські та внутрішньо міські лісопарки (екотрії). Що важливо, це дозволить збільшити надходження коштів до Державного бюджету України та працювати на повоєнну відбудову України. *Ключові слова:* рекреаційне навантаження, рекреаційний вплив, рекреаційна місткість території, турист-рекреант, туристсько-рекреаційне природокористування.

### **Improvement of calculations and management of recreation load in nature protection territories of Ukraine. Bondar O., Shevchenko R., Ivanenko I., Movchan M.**

Ukraine has been in a state of war for two years now. During this time, a significant part of the branches of the National Economy suffered huge losses, including the cluster of tourism and recreational nature use. But the risks of the corresponding sphere of the impression economy (service) are ecological. First of all, this is the destruction of nature-reserved tracts as a result of active hostilities and bombing. Entire natural and territorial complexes of the Azov Region and Tavrida, Slobozhan Region and Don Region were destroyed. No less devastating impact of the war on recreational nature reserve complexes is observed on other objects of physical and geographical zones of Ukraine. The second pathogenic influence on natural complexes is the anthropogenic recreational load caused by recreational tourists. They created in Ukraine for the last two tourist seasons the maximum uncontrolled indicators of recreational influence, which brought the tourist and recreational capacity of Nature-Reserved Territories of Ukraine to the critical values of depletion of the main recreational gene pools. The genesis of the relevant phenomenon stems from the socio-economic, political-geographical and geopolitical consequences of the russian-Ukrainian war, when the majority of Ukrainian Citizens are limited in their rights to travel abroad for recreation. That is, international tourism, its logistics, infrastructural support, transformed into a national segment of the economy. On the one hand, it has become a significant factor in supporting the state budget, on the other hand, it has a huge impact on the environment and large-scale coverage at the level of an emergency of a natural and man-made nature. The problem that has arisen can be solved by monitoring the optimization of state administration (management) in the system of tourist and recreational nature use by improving calculations of the anthropogenic load on nature conservation areas of Ukraine.

As a result of the analysis of the mathematical algorithms developed by Ukrainian and foreign ecologists-tourism scientists for determining the structural-parametric formulas for determining the recreational load on the environment and its statistical evaluation, an improved mathematical module for calculating the recreational load, recreational capacity, recreational impact was developed, which consists of twenty five formulas. They represent an algorithmic correlational and parametric analysis of the recreational anthropogenic impact on Nature-Reserved Territories for all protected areas of physical-geographical and climatic zones. The latest in the improved mathematical apparatus is the introduced parameter of favorable and unfavorable synoptic indicators for different periods of the year (tourist season). Mathematical calculations will make it possible to determine the critical maximum permissible level of the number of vacationers in Nature-Reserved Territories with minimal impact on ecosystems.

The practical significance of the developed mathematical program for calculating the impact on the environment from tourist and recreational activities is that the algorithm is a logical basis for further determining the quantitative indicators of the tourist and recreational tax from enterprises in the tourism sphere of service in territories (lands of state ownership) that do not belong to protected areas: these are city parks (urban areas), lakeside and river tracts (water areas), suburban and inner-city forest parks (eco areas). The corresponding fee will increase the inflow of funds to the State Budget of Ukraine and will become one of the items that will work for the post-war reconstruction of Ukraine. *Key words:* recreational load, recreational influence, recreational capacity of the territory, tourist-recreationist, tourist-recreational nature use.

**Постановка проблеми.** Військовий стан на території України не має бути перепорою для подальшої охорони, використання та відтворення рекреаційних ресурсів держави. На підконтрольній частині важливими територіями рекреаційної діяльності постають лісові, лучно-болотні, гірські рекреаційні екосистеми, а також природні комплекси узбережжя Чорного моря, солоних та прісних озер, водосховищ, печер тощо.

Такі негативні фактори як деіндустріалізація та руйнування внаслідок обстрілів міських та промислових агломерацій Придніпров'я, Східної Слобожанщини, Криворіжжя; виведення з ладу транспортної мережі, зниження купівельної спроможності громадян, заборона виїзду закордон значній частині населення України сприяють прогресуючому розвитку внутрішнього екологічного туризму та зеленої рекреації, насамперед, відпочинок на природно-заповідних територіях або лісопарковому замському рекреаційному комплексі, що є одним із небажаних явищ розповсюдження неконтрольованого рекреаційного природокористування, що спостерігається вже понад два роки поспіль.

Постає наукова проблема, що потребує додаткового вивчення в контексті удосконалення розрахунків та підвищення ефективності кризового менеджменту рекреаційного навантаження на природоохоронні території під час військового стану, а також у період післявоєнної відбудови України.

**Актуальність дослідження.** Будь-яке рекреаційне навантаження є патогенним на довкілля априорі. Викликаний ним вплив, наприклад, на лісові масиви та інші біогеоценози, в результаті якого спостерігається погіршення стану екологічної рівноваги (дигресія екосистем), є наслідком зниження продуктивності біоти та захисних властивостей природних оселищ, скорочення чисельності флори та фауни, зниження врожайності побічної продукції лісових господарств України, забруднення водоймищ, виснаження в них рибних ресурсів тощо.

Як наслідок антропогенного навантаження стійкого відпочинкового туризму та рекреації на

довкілля природоохоронних територій, – це погіршення релаксаційних умов якості рекреаційних ресурсів, що забезпечують ретритну реабілітацію та психологічний комфорт відпочинку.

Нині, в умовах воєнного стану, досить актуалізоване математичне обґрунтування ефективних запобіжних заходів, які знижують негативні наслідки рекреаційного впливу антропогенного генезу та забезпечення організації гармонійного рекреаційного природокористування та захист природоохоронних територій України із розрахованими критично допустимими рекреаційними навантаженнями (нормативами).

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Підходи та алгоритми визначення рекреаційного навантаження та використання розрахованих нормативів при реалізації проєктів туристсько-рекреаційного природокористування, а також при будівництві санаторно-рекреаційних об'єктів розроблялися із 1970-х рр. у Секторі географії Інституту геофізики НАН України (професори В. Преображенський та І. Казанська) [8].

В Інституті «Київпроект», зокрема, у відділі рекреаційного містобудівництва, проблемам розрахунку рекреаційного навантаження присвячені наукові проєкти під керівництвом професорів А. Родичкіна та Є. Хромова, 1981 р.) [6].

В Інституті лісового господарства під керівництвом академіка І. Тарана (1985 р.) був започаткований проєкт «Розробка системи лісогосподарських заходів для організації та оптимізації рекреаційного лісокористування на зонально-типологічній основі» із обґрунтуванням нового уніфікованого глосарію понять, методик та одиниць вимірювання з питань рекреаційного навантаження на довкілля [8].

Напрацьований вченими матеріал, що вміщував рекомендації та пропозиції Держлісгоспу, Інституту меліорації та водного господарства, а також Ради із туризму та екскурсій України, не був апробований з огляду на певні соціально-економічні негаразди та ліквідацію окремих науково-виробничих установ на початку 1990-х рр.



Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, беручи до уваги проєктні напрацювання вищезазначених наукових шкіл, долучилася до розробки осучаснених актуальних математичних підходів щодо новітніх управлінських методик визначення рекреаційного навантаження на лісостепові, степові та гірські природоохоронні території та акваторії України.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Проблемами визначення рекреаційного навантаження на природні комплекси під час організації екологічного туризму, зеленої рекреації, екскурсій, масового повсякденного відпочинку та нормування відповідних показників займалися вітчизняні вчені, зокрема: д.с.-г.н. О.Ф. Поляков, д.б.н. Л.П. Рисін. Їх алгоритмічні розрахунки покладені в основу прийнятих Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України «Положення про рекреаційну діяльність у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України» (Наказ Міндовкілля № 256 від 26.07.2022 р.) [5] та «Методичних рекомендацій щодо визначення максимального рекреаційного навантаження природних комплексів і об'єктів у межах природно-заповідного фонду України за зонально-регіональним розподілом» [4].

Наукові дослідження (в рамках виконання НДР окремими закладами вищої освіти України) здійснили та оприлюднили у фахових працях вчені: д.т.н. Триснюка Т.В. [6]; проф. Рідея Н.М. [7] та доц. Шлапак А.В. [9]. Закордонні публікації представлені монографіями професорів Amy Frazier та Ryan Clement [10].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячена означена стаття.** Як наслідок результатів аналізу виконаних науково-дослідних робіт вищезазначених науковців, автори цієї наукової праці роблять висновок, що проаналізовані наукові дослідження праці потребують подальшого розроблення, насамперед, методика визначення середньої одночасної густини рекреантів на ПЗФ-території, особливо необхідно більш детально вивчити компоненти, які впливають на природний комплекс протягом години. Це включає розробку математичного апарату із визначення середнього денного навантаження, значення на добу, середньодобового показника, а також річного та сумарного рекреаційного впливу на довкілля.

На сьогодні недослідженими залишаються окремі чинники рекреаційного навантаження, зокрема: топографічні, ландшафтні, фізико-географічні, природно-заповідні та антропогенні. Зважаючи на це, в процесі вишукувань необхідно уточнити вихідні розрахункові дані довжин туристичних маршрутів, особливості територій, час екскурсійної діяльності, а головне – визначити лімітні коефіцієнти особливостей факторів антропогенного впливу у загальних показниках рекреаційного навантаження.

Важливою складовою дослідження є обґрунтування рекреаційної місткості природно-заповідної території, а також виведення коефіцієнтів дигресії екосистем у відповідних формулах розрахунку рекреаційного деградування біомів.

**Новизна.** Як наслідок пошуково-математичних вишукувань, *уперше:*

- *встановлені* параметри визначення (вимірювання) рекреаційного навантаження та рекреаційної ємності природно-заповідної території;
- *виведені* формули допустимого рекреаційного навантаження на лісові заповідні урочища та природні комплекси антропогенно-промислового та рурального трансформованих ландшафтів;
- *запропонований* метод пробних рекреаційних площ, що дозволяє вираховувати критично допустимі рекреаційні навантаження на довкілля та здійснювати моніторинг стадії дигресії екосистем, шляхом визначення допустимих рекреаційних навантажень прийомами моделювання категорій ушкодження поверхні ґрунтового покриву (педосфери);
- *зазначені* математичні методи визначення допустимого рекреаційного навантаження шляхом моделювання порогових значень поверхневих стоків витоуптування ґрунтового покриву штучним дощуванням;
- *опрацьовані* нормативи допустимого рекреаційного навантаження на природні лісові комплекси при організації екологічного туризму, зеленої рекреації, екскурсій та повсякденного масового відпочинку.

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

Розроблений математичний комплекс розрахунку рекреаційного навантаження удосконалює систему державного управління у сфері кризового менеджменту природно-заповідними територіями та рекреаційної діяльності під час військового стану. На підставі розрахунків актуалізуються норми та правила рекреаційної діяльності, які встановлені Наказом № 256 Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України щодо створення еколого-орієнтованих умов для розрахунків антропогенного навантаження.

Удосконалені мнемонічні правила складання математичних алгоритмів в методології розрахунків рекреаційного навантаження на заповідні екосистеми. В основу математичних алгоритмів розрахунку покладені не топографічні, а природно-ландшафтні контури заповідних екосистем (ландшафтно-територіальні межі).

**Виклад основного матеріалу.** Рекреаційна діяльність, що поширюється на природоохоронних територіях, за своєю класифікацією різноманітна та об'єднується в такі основні кластери: масовий повсякденний відпочинок; екологічний туризм; зелена рекреація та релаксація; ретритні практики та екскурсійні природо-пізнавальні подорожі.

За однакових еколого-географічних умов та кількості рекреантів та туристів, сумарний вплив факторів антропогенно-рекреаційного навантаження на екосистему залежить, перш за все, від виду рекреаційної діяльності. За домінування визначеного виду регульованої рекреації в однакових природних умовах, ступінь виявлення рекреаційного впливу визначається концентрацією та часом перебування туристів на одиниці площі природо-заповідної території. Формулюючи математичні алгоритми, необхідно зважати на те, що в якості коефіцієнта сумарного впливу факторів рекреаційного навантаження на екосистему, ураховується *рекреаційний вплив* – інтегрований показник рекреаційного навантаження, що визначається кількістю туристів на одиниці площі, а також часом їхнього перебування на об'єкті рекреації та видом відпочинку на ньому.

Під час розрахунку рекреаційного навантаження до математичного апарату необхідно брати до уваги два показники:

1) середня облікова одночасна кількість рекреантів виду відпочинку на одиниці площі ( $P$ );

2) сумарний обліковий час виду відпочинку на одиниці площі ( $i$ ).

Відповідні компоненти корелюють між собою наступними співвідношеннями, які дозволяють переходити від кінцевого значення до початкових показників (пряма та обернена задача):

$$i = T * P, \quad (1)$$

$$P = i * (T - 1), \quad (2)$$

де,  $i$  – час/га виду відпочинку за обліковий експериментальний період;  $P$  – середня облікова одночасна кількість (туристів/га) на території ареалу спеціалізованого виду відпочинку;  $T$  – розрахунковий звітний тривалий період у годинах.

Формули (1) та (2) мають наступний ряд розрахункових складових, які визначені проф. В'юном В.Г. та Івановим А.М. Враховуючи їх напрацювання [2], удосконалимо відповідний математичний апарат наступним алгоритмом обчислення рекреаційного навантаження:

1) розрахунок середньої одночасної густини рекреантів ( $P_{\text{сеп.}}$ ):

$$P_{\text{сеп.}} = \frac{\sum t_i * T}{T_i}, \quad (3)$$

де,  $P_{\text{сеп.}}$  – середня одночасна густина туристів протягом однієї години, що обраховується в кількості туристів, які придбали вхідний квиток до об'єкту природо-заповідного фонду;  $t_i$  – одинична ( $i$ -та) одночасна густина туристів, що розраховується у людина/га;  $T_i$  – одиничний час експериментального спостереження, що обчислюється у хвиликах, але за стандартний час береться година ( $60^m$ );  $T$  – розрахунковий звітний тривалий період у годинах.

2) додатковий розрахунок одиничного часу експериментального спостереження рекреаційного навантаження середньої чисельності туристів/рекреантів, які впливають на екосистему протягом години ( $N^h$ ) – рекреаційне навантаження за годину, яке розраховується в показниках людино-годин/га:

$$N^h = P_{\text{сеп.}} * T; \quad (4)$$

3) розрахунок середнього денного рекреаційного навантаження ( $\bar{T}^h$ ) на екологічну стежку відбувається за наступними виразами:

$$\bar{T} = \sum \frac{N^h}{n}, \text{ або } \bar{T}^h = \frac{\sum N^h}{n}, \quad (5)$$

де,  $N^h$  – рекреаційне навантаження першої години експериментальних спостережень і визначається в людино-години/га;  $n$  – кількість експериментальних спостережень;

4) для визначення середнього денного показника ( $N_j$ ) рекреаційного навантаження розраховується значення на добу, а саме вісім годин робочого часу, коли об'єкт ПЗФ є офіційно відкритим для відвідувачів використовується формула:

$$N_j = N^h * 8(t_j), \quad (6)$$

де,  $t_j$  – кількість годин поза нормованого (несанкціонованого) відвідування природо-заповідної зони;

5) розрахунок середнього середньоденного показника ( $\Phi_{24^h}$ ) рекреаційного навантаження на екосистему (природоохоронну зону та території вільного відкритого доступу: лісопарки, паркові зони приміської агломерації, руральні ландшафти) відбувається за формулою:

$$\Phi_{24^h} = \frac{\sum N_j}{n}, \quad (7)$$

де,  $n$  – кількість днів масового відпочинку;

6) розрахунок перманентного рекреаційного навантаження протягом року ( $W_{365}$ ) здійснюється за формулою:

$$W_{365} = \Phi_{24^h} * n; \quad (8)$$

7) розрахунок рівня екологічної деградації ( $Q_w$  – рекреаційної дигресії) екосистеми представлений такою формулою:

$$Q_w = \sum \frac{W_{365}}{\xi}, \quad (9)$$

де,  $\xi$  – коефіцієнт рекреаційної дигресії, який складає 1/25 від сумарного річного рекреаційного навантаження на рік. Тоді формула (9) має наступний вигляд:

$$Q_w = \sum \frac{W_{365}}{\xi} = \sum S * \sum \Phi_{24^h} * n, \quad (10)$$

де,  $S$  – площа території ПЗФ,  $\Phi_{24^h}$  – значення середнього середньоденного показника рекреацій-

ного навантаження на екосистему;  $n$  – кількість днів масового відпочинку;

8) враховуючи топографічні, ландшафтні, фізико-географічні та природно-заповідні фактори природних зон України, виводимо удосконалену формулу розрахунку оптимальної кількості рекреантів на території ПЗФ України ( $N$ ):

$$N = \frac{(i * k_j) * K_q}{S * Q_m}, \quad (11)$$

де,  $i$  – час/га виду відпочинку за обліковий експериментальний період,  $k_j$  – коефіцієнт ондуляції топографічної місцевості (Полісся – 0,23; лісостепова зона – 0,59; Прикарпаття – 1,24; Приазов'я та Причорномор'я – 0,11; Крим – 1,1; Закарпаття – 1,08),  $K_q$  – відсоток заповідних площ в межах адміністративно-територіальної одиниці,  $S$  – площа території ПЗФ; розрахунковий середній рівень екологічної деградації ( $Q_w$  – рекреаційної дигресії) на території України.

Формулу (11) також можна представити у вигляді:

$$N_j = \frac{W_{365} * N * Q_w}{T}, \quad (12)$$

де,  $W_{365}$  – розраховане значення перманентного рекреаційного навантаження протягом року (формула 6);  $N$  – розрахована оптимальна кількість рекреантів на території ПЗФ України (формула 11);  $Q_w$  – обчислений рівень екологічної деградації (рекреаційної дигресії) екосистеми (формула 10);  $T$  – розрахунок середнього денного рекреаційного навантаження (формула 5).

Для розрахунку рекреаційного навантаження окремо визначеної екологічної стежки природо-заповідної території необхідні геопросторові дані щодо довжини маршрутів, особливостей території (топографічні, гідрографічні, геолого-геоморфологічні), розрахунковий час маршруту та розрахунки за формулами (1–5).

При апробації вищезазначеного математичного апарату треба брати до уваги, зокрема, такі обмеження: не можна розраховувати рекреаційне навантаження сумарною кількістю туристів-рекреантів на одиниці природоохоронної території за обліковий період (людино-гектар за годину, день, сезон, рік) оскільки відповідна обчислювальна одиниця враховує кількість відпочиваючих, які перебувають на одиниці експериментальної площі як протягом загального часу перебування, так і частини часу облікового періоду. В кінцевому розрахунку це істотно спотворює реальну картину інтенсивності використання природних ресурсів.

В моніторингу тривалості облікового експериментального періоду під час обрахунків рекреаційного навантаження необхідно приймати величину часу, яка дорівнює одному астрономічному року або 8760 годинам. Це необхідно запровадити з наступних положень. Астрономічний рік є основною оди-

ницею часу, яка прийнята в прогнозуванні, плануванні та моніторингу. З іншого боку, тривалість відпочинку за різних природних, еколого-економічних, фізико-географічних умов, істотно відрізняються у з огляду на тривалість часу та кількістю днів зі сприятливою комфортною погодою, структурою використання туристсько-екскурсійного часу тощо. Це призводить до появи в обчисленнях непорівнянних величин рекреаційного навантаження, наприклад, при врахуванні туристів-рекреантів у непорівнянні за часом строки (доба, сезон, рік тощо). Річні розрахунки мають повністю охоплювати сезонні та добові зміни відвідування природних об'єктів туристами-рекреантами. Це дозволить визначати коректні та порівняні величини рекреаційних навантажень. Протягом року здійснюються цикли порушень та відновлення основних компонентів природних комплексів. Тому річні облікові розрахунки кількості туристів-рекреантів дозволяють об'єктивно оцінювати сталість природних комплексів до рекреаційного впливу. Отже, за наявності річних розрахунків легко визначати рекреаційне навантаження для будь-якого облікового періоду будь-якої тривалості.

Базовими методиками розрахунку рекреаційного навантаження є вибірково-моментний та хронометражний прийоми професорів А. Репшаса та В. Ханбекова. Окрім них застосовують облікові методи, які розроблені для конкретних природних та географічних умов, на основі емпірично встановлених регресій рекреаційних навантажень з екологічними та соціально-економічними факторами в стадіях визначення рекреаційної дигресії. З базових методів практичнішим є вибірково-моментний прийом. Він за витратами часу на проведення експерименту в рази менш трудомісткий, ніж вибірково-хронометражний. Об'єктом моментних спостережень можуть ставати ландшафтоподібні ділянки природних комплексів із домінуванням окремого виду рекреаційної діяльності, що має забезпечувати змогу одночасного обліку туристів-рекреантів. Отже, за формулою Бенедюк-Нагаєвої [1] розраховується сумарна рекреаційна місткість природоохоронної території ( $V$ ):

$$V = \omega_{ПВ} * v_{Ц} * P_{сер} * Q_w, \quad (13)$$

де,  $\omega_{ПВ}$  – коефіцієнт заповідності та особливості природних умов,  $v_{Ц}$  – коефіцієнт цінності рекреаційних ресурсів,  $P_{сер}$  – середня одночасна густина туристів-рекреантів,  $Q_w$  – значення екологічної деградації (рекреаційної дигресії) екосистеми.

Відповідно до «Методичних рекомендацій щодо визначення максимального рекреаційного навантаження природних комплексів і об'єктів у межах природно-заповідного фонду України за зонально-регіональним розподілом» допустима кількість туристів-рекреантів визначається за формулою [4]:

$$P_{dn} = (T - L/V) * G * V = T * G * V - (L * G * V)/V = (T * G * V) - (L * G), \quad (14)$$

де,  $P_{dn}$  – допустима кількість осіб, які перебувають на екостежці,  $T$  – час перебування на маршруті,  $L$  – довжина траси,  $G$  – щільність, люд./км.,  $V$  – швидкість руху.

Формула (14) може бути видозмінена за методом Я. Грициної [3] – це удосконалена формула розрахунку рекреаційної місткості відпочинкових релаксаційних екостежок територій ПЗФ України ( $V_i$ ):

$$V_i = \frac{\sum N_i \times \sum S_i^2 \times \sum C}{\sum V}, \quad (15)$$

де,  $V_i$  – рекреаційна місткість території, осіб,  $N_i$  – норма рекреаційного навантаження на територію, осіб/км<sup>2</sup>,  $S_i^2$  – площа рекреаційної території,  $C$  – тривалість рекреаційного періоду, днів;  $V$  – сумарна рекреаційна місткість природоохоронної території, яка розраховується за формулою (13).

Зважаючи на те, що чисельність туристів-рекреантів на одних і тих самих ділянках варіативні в залежності від часу доби, сезону року, метеорологічних умов, робочих та не робочих днів, моментні урахування визначаються наступними розрахунками допустимого рекреаційного навантаження, наприклад, на пляжні річні/морські ресурси, сформульовані вченими Н. Корж та Д. Басюк [8]. Авторами праці удосконалені розрахункові значення при обліку максимальної одноразової місткості пляжів:

$$M_n = L_n / C_n, \quad (16)$$

де:  $M_n$  – максимальна одноразова місткість пляжу, осіб;  $L_n$  – довжина пляжу, м;  $C_n$  – санітарна норма довжини пляжу в розрахунку на одну людину.

В даних розрахунках важливим елементом постає рекреаційний показник ступеня використання пляжних ресурсів. Він має такий математичний вигляд:

$$B_n = (V_i / M_n) : 100 \%, \quad (17)$$

де:  $B_n$  – ступінь використання пляжних ресурсів, %;  $V_i$  – місткість рекреаційних закладів, осіб (за сумарними результатами розрахунків за формулою розрахунку рекреаційної місткості відпочинкових релаксаційних екостежок (15);  $M_n$  – максимальна одноразова місткість річкового або морського узбережжя, (осіб).

Наступний показник розрахунків – це значення максимально можливої (допустимої) річної місткості річкового/морського пляжу:

$$M_{mp} = M_n * T, \quad (18)$$

де:  $M_{mp}$  – максимально можлива (допустима) річна місткість пляжу, (осіб);  $M_n$  – максимальна одноразова (добова) місткість пляжу, (осіб);  $T$  – тривалість періоду з сприятливими кліматичними умовами, (днів).

Розрахунок щоденної пропускної спроможності (пропускного потенціалу) реалізується шляхом обчислення загального пропускного потенціалу рекреаційного об'єкту:

$$P = S/Щ, \quad (19)$$

де:  $P$  – пропускний потенціал об'єкту, (осіб);  $S$  – площа об'єкту, (м<sup>2</sup>);  $Щ$  – рекомендований стандарт щільності відвідувачів, який визначають як відношення оптимального туристичного потоку до площі об'єкту, (м<sup>2</sup>/особу);

Із вищезазначених розрахунків впливає формула обчислення коефіцієнту ротації рекреантів:

$$K_p = Ч/B, \quad (20)$$

де:  $K_p$  – коефіцієнт ротації;  $Ч$  – кількість годин за день, коли об'єкт відкритий для туристів, год;  $B$  – середня тривалість відвідування год.

Подальші розрахунки визначають максимально допустиму кількість щоденних відвідувачів (різниця між максимальним щоденним потоком туристів та потенціалом об'єкту):

$$M_e = P * K_p, \quad (21)$$

де:  $M_e$  – максимально допустима кількість щоденних відвідувачів (осіб);  $P$  – пропускний потенціал об'єкту, (осіб);  $K_p$  – коефіцієнт ротації рекреантів.

Варто зазначити, що на кожній експериментальній ділянці розрахунку рекреаційного навантаження визначається чисельність туристів-рекреантів в момент реальних спостережень (підрахунку).

Добові моментні розрахунки рекреаційного навантаження необхідно проводити вранці, в середині доби та у вечорі. Туристи-рекреанти, які залишаються на відпочинок з ночівлею, враховуються при вечірньому моніторингу, реєструючи їх шляхом соціологічного опитування або візуальним підрахунком людей, які встановлюють намети, кількість їхніх транспортних засобів, дотичних до рекреації та релаксації, засобів. При значній варіації відвідування на експериментальних ділянках кількість добових обліків проводять регулярно.

Річні моментні розрахунки рекреаційного навантаження здійснюються протягом декількох діб – весною, літом, восени та взимку. Зимом диференційовано в робочі та не робочі дні із комфортними та не сприятливими метеорологічними умовами. При визначенні сприятливості метеорологічних та синоптичних умов для туризму та рекреації керуються параметрами, які розробили антропокліматологи Д. Кандор та О. Данилов [11].

Із вищезазначених властивостей для розрахунку загального сумарного рекреаційного навантаження виводимо наступну формулу:

$$P_{(n)} = \frac{\sum_1^n f(n) * X(n)}{n} = f(n) * \frac{P_{(n)}}{x(n)} = 365 * \sum_1^n P_{(n)} * f(d) = \sum_1^n i(n) * f(g), \quad (22)$$

де,  $P_{(n)}$  – середнє рекреаційне навантаження для ряду спостережень,  $n$  – загальна кількість спостереження одночасно,  $X(n)$  – середнє обчислене значення тематичних спостережень, які перетворені в логарифмічну форму,  $f(n)$  – кількість спостережень за сезонами,  $P(n)$  – середні розрахункові значення за обліковий період короточасного рекреаційного навантаження в різні сезони року з комфортними та дискомфортними метеорологічними показниками (людина/гектар),  $f(d)$  – середня багаторічна кількість не робочих та робочих днів з комфортною та дискомфортною не сприятливою для туризму та рекреації погодою в різні сезони року (дів),  $i(n)$  – середній сумарний добовий час відпочинку за обліковий період в різні сезони року (година/га),  $f(g)$  – сумарний кілометраж проходження туристами-рекреантами за добу екскурсій/еколого-освітніх стежок.

Формула (22) дозволяє зменшити трудомісткість визначення рекреаційного навантаження на масштабні природоохоронні території України за рахунок використання коефіцієнтів співвідношення  $P(n)$  та  $f(d)$ . Відповідні коефіцієнти визначаються наступним прийомом. Аналізуючи дані окремого туристичного маршруту, визначають обмежену (критично допустиму) кількість туристів-рекреантів для різних сезонів року в не робочі та робочі дні з урахуванням комфортності синоптичної ситуації. Таким чином, визначаються норми допустимого рекреаційного навантаження на лісові природні комплекси. Іноді для підтвердження достовірності отриманих результатів розрахунків допустимих значень застосовують метод пробних площ.

Відповідний метод ґрунтується висновками, що в умовах одного типу лісу та однакового рекреаційного навантаження спостерігаються істотні відмінності в трансформації компонентів та комплексної продуктивності лісу при патогенному впливі масового повсякденного відпочинку, туризму, екскурсій, подорожей. Це обумовлено відмінностями в рекреаційній діяльності, що характерні для того або іншого виду туристичного обслуговування. Незважаючи на такі відмінності, спільним для перерахованих видів рекреації є те, що за будь-якого фактору, що викликає рекреаційне навантаження на довкілля, спостерігається погіршення якісного стану насаджень, зниження деревинної та побічної продуктивності, санітарно-гігієнічних, водоохоронних та інших захисних властивостей лісу. Загальним також є те, що в сучасних умовах рекреаційного навантаження на довкілля України, які склалися для різних видів туризму та рекреації, обумовлюються утилітарними та психоемоційними (перцепційними) вимогами туристів-рекреантів. Процеси руйнації лісових урочищ від туризму компенсуються відновлювальними лісопосадковими роботами, внаслідок чого не спостерігаються негативні наслідки у змінах функцій насаджень (про що наголошує природоохоронець-активіст В.Є. Борейко). Стан насаджень, що від-

повідують нормативному рівню рекреаційної дигресії, географічно визначають межу їх рекреаційної сталості або обумовлює стадію стабілізованої дигресії. Рекреаційне навантаження, що відповідає такому екологічному стану лісових урочищ внаслідок впливу туристсько-рекреаційної діяльності, є для них гранично допустимою і відповідною стандартам рекреаційного природокористування в Україні.

Для виявлення стадій рекреаційної дигресії ( $\mu$ ) застосовуються такі розрахункові формули трансекторного методу:

$$\mu = 3720 * W_{365}, \quad (23)$$

де, 3720 – загальна кількість годин для території України, сприятливих для туристсько-рекреаційного природокористування (тривалість відпочинкового сезону),  $W_{365}$  – показник середньорічного допустимого рекреаційного навантаження (людина/га), що розраховується за формулою (8).

Для розрахунку допустимого рекреаційного навантаження застосовується математичний прийом моделювання категорій ушкоджень поверхні ґрунтового покриву з визначення величини сумарного річного рекреаційного навантаження  $\Sigma I(j)$ , що визначається у (година/га на рік):

$$\Sigma I(j) = T(I) * S(I) + T(II) * S(II) + T(III) * S(III), \quad (24)$$

де,  $T(I) \dots T(III)$  – час, затрачений на дослідження категорій пошкодження ґрунтового покриву (година/м<sup>2</sup>),  $S(I) \dots S(III)$  – площа категорій пошкодження ґрунтового покриву в насадженнях стабілізованої стадії дигресії (м<sup>2</sup>/га).

Розрахунок допустимого рекреаційного навантаження відбувається за допомогою математичного апарату методу моделювання порогових значень поверхневого стоку витоптуванням ґрунтового покриву та штучним дощуванням у відповідності до формули:

$$\Theta = T(M) * \Pi * 365 \quad (25)$$

де,  $\Theta$  – сумарне річне навантаження на урбосистеми та екосистеми (год/га, в год.),  $T(M)$  – час, що витрачається на моделювання рекреаційного навантаження, що викликає появу порогових значень коефіцієнта поверхневого стоку (годин/м<sup>2</sup>),  $\Pi$  – площа насаджень для рекреаційного природокористування.

Необхідно підкреслити важливість складової розрахунків визначення нормування допустимого рекреаційного навантаження на лісові природні комплекси. Наприклад, для рекреаційних ресурсів на територіях міських агломерацій, розраховані значення (показники) нормативів та норми навантаження на довкілля при реалізації моніторингу туристсько-рекреаційних локацій, змінюють. Наприклад, оцінюючи впливу протяжності еколого-велосипедних маршрутів довжиною від 10–25 км, значення помножують на 1,5 одиниці параметра нормативу; від 25–30 км – в 2,1 одиниці, від 30–100 км

в 4 рази. Також норму рекреаційного навантаження на парки обчислюють як середньозважене поділом суми множенням норм навантаження для окремих таксаційних виділів, їх площ на загальну площу природоохоронної території.

Акумулявання фактологічної геопросторової бази даних для розробленого математичного апарату контролю рекреаційного навантаження проводять наземними геодезичними, картографічними, статистично-експедиційними, аеровізуальними та аерофотографічними засобами, способами та прийомами.

**Висновки.** Розроблений математичний комплекс розрахунків рекреаційного навантаження визначає рекреаційну ємність території, її кількісні показники, що мають провідне значення під час організації еколого-збалансованого туристсько-рекреаційного природокористування.

У сфері лісової охорони, рибного господарства, водної охорони, туризму та рекреації в системі управління постає необхідність використання відповідних формул для запровадження норм контролю рекреаційного навантаження та обов'язковий державний екологічний контроль за дотриманням норм гранично-допустимого туристсько-рекреаційного природокористування у відповідності із чинним природоохоронним законодавством України.

Державний менеджмент та контроль рекреаційного навантаження необхідний з метою оптимізації режиму рекреаційного використання природних ресурсів на об'єктах природно-заповідного фонду з метою опосередкованого регулювання періодичності та тривалості туристичних сезонів у фізико-географічних зонах України (тематичні екскурсії, спеціальні велоподорожжі, дослідницькі авторалі, спортивне орієнтування, геокешінг, геотегінг, фотополювання тощо).

Для апробації розрахункового математичного апарату визначаються нормативи рекреаційного навантаження. Вони повинні бути обов'язковими при організації туризму, рекреації, екскурсійних подорожей тощо. Наприклад, для потреб лісового господарства функціонує відповідний порядок організації відпочинку та норм допустимих граничних

рекреаційних впливів в лісопарках основної категорії захищеності.

**Перспективи використання результатів дослідження.** В сфері охорони, використання та відтворення територій та об'єктів природно-заповідного фонду важливим є планування та менеджмент туристсько-рекреаційної діяльності, що використовує удосконалені розрахунки рекреаційного навантаження в проєктах організації території національних природних парків, біосферних заповідників та регіональних ландшафтних парків. Керівника установ природно-заповідного фонду та відповідних відділів туристично-рекреаційного спрямування рекомендовано керуватися нормами допустимого рекреаційного навантаження, в основі яких покладений розроблений математичний комплекс. Це набудатиме важливого значення при менеджменті самодіяльного та екологічного туризму, рекреаційної діяльності та екскурсійних подорожей. Математичний апарат буде корисним під час визначення нормативної кількості груп туристів або рекреантів для відповідного унікального (ексклюзивного) об'єкту/маршруту екологічного туризму.

Удосконалений математичний алгоритм розрахунку та менеджменту рекреаційного навантаження на природоохоронні території України необхідно у подальшому використовувати для визначення розміру туристичного збору. В загальному підході такий розмір встановлюватиметься для спрямування коштів на поліпшення туристсько-рекреаційної інфраструктури умов відпочинку, підвищення сталості природно-територіальних комплексів України під час післявоєнної відбудови, регенерацію природних рекреаційних ресурсів, що якісно впливатиме на розширення рекреаційної місткості території України в майбутньому та підвищить строк амортизації основних рекреаційних фондів держави.

Подальші дослідження здійснюватимуться з метою апробації математичного апарату в умовах рекреаційних навантажень різної інтенсивності та в різних типах екосистем, зокрема, з врахуванням Директиви Ради ЄС № 92/94/ЄС від 21 травня 1992 р. про збереження природних оселищ та дикої фауни і флори.

### Література

1. Бенедюк О.Б., Нагаєва С.П. Визначення місткості рекреаційних центрів Закарпатської області. Розвиток економічних інструментів досягнення цілей сталого розвитку: матер. міжнар. наук.-практ. конф. Житомир, 2020. С. 18-22.
2. В'юн В.Г., Іванов А.М. Методика визначення рекреаційного навантаження на охоронні території. Економічні науки. Маркетинг та менеджмент. Вип. 6. 2022. С. 12-14.
3. Грицина М.Р. Методи розрахунку рекреаційної ємності. Природоохоронні, екоосвітні, рекреаційно-туристичні та історико-культурні аспекти сталого розвитку Розточчя: матер. міжнар. наук.-практ. конф. 2018. С. 26-32.
4. Методичні рекомендації щодо визначення максимального рекреаційного навантаження природних комплексів і об'єктів у межах природно-заповідного фонду України за зонально-регіональним розподілом / Комарчук С. С., Шлапак В. П., Клестов М. Л. та ін. Київ: Державна служба заповідної справи Мінікоресурсів України, 2003. 43 с.
5. Про затвердження «Положення про рекреаційну діяльність у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України». Наказ Міндовкілля № 256 від 26.07.2022 р. URL: <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkillya-256-vid-26-07-2022/>
6. Рідей Н.М. Методичне забезпечення еколого-рекреаційного моніторингу. Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics. V. 2. 2023. p. 75-84.

7. Триснюк Т.В. Експериментальні дослідження рекреаційного навантаження на природоохоронні території Тернопілля. Екологічна безпека та природокористування, № 2 (18). 2015. С. 31-36.
8. Управління туристичними дестинаціями: підручник / Н.В. Корж, Д.І. Басюк. Вінниця. 2017. С. 61-64.
9. Шлапак А.В. Критерії рекреаційного навантаження на ландшафтні комплекси природно-заповідних територій за регульованого відвідування. Науковий вісник НЛТУ України. № 41. 2014. С. 18-22.
10. Frazier Amy, Clement Ryan. Recreation and leisure: Monography. London. 2010. 214 p.
11. Temporary methodology for determining recreational loads on natural complexes when organizing tourism, excursions, mass everyday recreation and temporary norms of these loads. / B.D. Otstavnov. State Committee for Forestry. 22 p.

## ТРОПІЧНІ ТА СУБТРОПІЧНІ РОСЛИНИ РОДИНИ *EUPHORBACEAE* JUSS. В БОТАНІЧНИХ САДАХ УКРАЇНИ: ІСТОРІЯ, ТРАДИЦІЇ, ОСОБЛИВОСТІ, ПЕРСПЕКТИВИ

Левчик Н.Я.<sup>1</sup>, Заїменко Н.В.<sup>1</sup>, Горбенко Н.Є.<sup>2</sup>, Скрипка Г.І.<sup>1</sup>, Гриник О.М.<sup>3</sup>, Гриник Г.Г.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України  
вул. Садово-Ботанічна, 1, 01014, м. Київ

<sup>2</sup>Національний лісотехнічний університет України  
вул. Генерала Чупринки, 103, 79057, м. Львів

<sup>3</sup>Науково-дослідний інститут лісового господарства  
с. Секоцін Стари, Польща

<sup>4</sup>Філія Лодзинського Університету в Томашові Мазовецькому  
м. Томашів-Мазовецький, Польща

levchyk.n@ukr.net, zaimenkonv@ukr.net, nata.horbenko@gmail.com, anna.skrypka777@gmail.com,  
O. Hrynyk@ibles.waw.pl, heorhiy.hrynyk@filia.uni.lodz.pl

У статті проаналізовано та описано біолого-морфологічні особливості видів тропічних та субтропічних рослин родини *Euphorbiaceae* Juss., які є складовою колекцій ботанічних садів України. Висвітлено історію їх створення. Ботанічні сади України – це основні установи, які здійснюють збереження та реінтродукцію тропічних рослин, що є національним надбанням, досліджують біологічні особливості, систематику, напрямки еволюції та екології, структурні адаптації, розвиток та розмноження рослин *in vivo* та *in vitro*, здійснюють освітні та природоохоронні заходи на національному рівні. Рослини *Euphorbiaceae* є цінним генофондом промислових, енергетичних, харчових та лікарських видів, базою для дослідження біолого-фізіологічних та лікувальних особливостей з метою відновлення втрачених популяцій цих рослин у природних умовах та використання на користь людини. За літературними даними встановлено характерні ознаки рослин родини: наявність латексу, характерного суцвіття типу *циатій*, плоду – тригнізної коробочки (тригорішка), що розпадається на 3 однонасінні горішки. Морфологія колочок рослин має два типи: утворення епідермісу та безплідні генеративні пагони. Відомо про три центри видового різноманіття та походження сукулентних рослин: Американський, Африканський та Євразійський. Рослини *Euphorbiaceae* за життєвими формами дуже різноманітні: дерева, чагарники і трави, які відрізняються висотою, ступенем здерев'яніння осьових органів і тривалістю життя надземних пагонів. Встановлено морфологічне різноманіття рослин: *кактусоподібні ребристі*, *кактусоподібні без ребер*, *медузоподібні*, *коралоподібні та класичного вигляду*. Майже всі представники роду *Euphorbia* є *стебловими сукулентами*, відмінними рисами яких є наявність запасуючої тканини у зелених фотосинтезуючих стеблах та САМ-тип фотосинтезу. Використання рослинної сировини *Euphorbiaceae* різноманітне та багатогранне: харчове, медичне, побутове та промислове (виробництво каучуку, паперу, лінолеуму, клею для деревини, а також як джерело зеленої енергії). Завдяки своїм антимікробним властивостям, здатності очищувати повітря, насичувати його киснем, здійснювати звукопоглинання та позитивно впливати на психоемоційний стан людини рослини *Euphorbiaceae* є ефективними та перспективними при застосуванні у фітодизайні приміщень та у ландшафтному будівництві. Оскільки використання рослин у різних сферах діяльності та побуту людини має позитивний економічний, лікувально-профілактичний, емоційний, естетичний ефект, дослідження та розширення сфери використання рослин мають великі перспективи на майбутнє. *Ключові слова*: молочай, *Euphorbiaceae*, ботанічні сади, *циатій*, морфологічні особливості, застосування, фітодизайн.

**Tropical and subtropical plants of the *Euphorbiaceae* Juss. family in the botanic gardens of Ukraine: history, traditions, features, and perspectives. Levchyk N., Zaimenko N., Horbenko N., Skrypka H., Hrynyk O., Hrynyk H.**

The article provides a literature review of research studies and an analysis of the range of tropical and subtropical plants species of the *Euphorbiaceae* Juss. family constituting part of the valuable collections of botanic gardens of Ukraine. The article also considers brief archival facts on the creation of these collections. Botanic gardens of Ukraine are the major institutions that preserve and reintroduce tropical plants, which are part of national goods, study the biological features, taxonomy, directions of evolution and ecology, structural adaptations, development and reproduction of these plants *in vivo* and *in vitro*, and conduct educational and nature conservation activities at the national level. The *Euphorbiaceae* plants are a valuable gene pool of industrial, energy, food, and medicinal species and a basis for the study of biological, physiological, and medicinal properties of plants in order to restore the lost populations of these plants in natural conditions and use them for humans' benefit. Based on the studied sources, the typical features of these plants have been identified: the presence of latex, *Cyathium*-type inflorescence, and a three-nested capsule fruit. The morphology of the plant spines is of two types: epidermal formation and sterile peduncles. Three centers of species diversity and origin of succulent plants are known: American, African, and Eurasian. The *Euphorbiaceae* family is highly diverse in terms of life forms including trees, shrubs, herbaceous, creeping and upright, large and small, perennial and annual, and cactus-like plants. The morphological diversity of plants has been established: *cactus-like ribbed*, *cactus-like unribbed*, *jellyfish-like*, *coral-like*, and *classical ones*. The typical features of the *Euphorbia* genus include succulentness, the presence of storage tissue in green photosynthetic stems, and CAM-type photosynthesis. The use of *Euphorbiaceae* plant material is diverse and covers multiple areas: food, medicine, fishing, and domestic and industrial use (production of rubber, wood glue, green energy, paper, and linoleum). Thanks to their antimicrobial properties,



ability to purify air, saturate it with oxygen, absorb sound, and positively affect people's psycho-emotional state, *Euphorbiaceae* plants are effective and promising species when used in indoor phytodesign and landscape design. Since the use of these plants in various activities and daily human life has a positive economic, therapeutic and preventive, emotional, and aesthetic effect, in-depth research and expansion of the plants' use involve significant future prospects. *Key words*: spurge, *Euphorbiaceae*, botanic gardens, *Cyathium*, morphological features, use, phytodesign.

**Постановка проблеми.** Відомо, що три чверті всього рослинного різноманіття Планети належить тропічним та субтропічним рослинам. Проте внаслідок своєї агресивної та безвідповідальної господарської діяльності людство кожен день втрачає цінні види не тільки тварин, а й рослин. Нинішнє глобальне масове, так зване антропоценове вимирання, викликане діяльністю людини, призвело до кризи біорізноманіття та набуло незворотнього характеру [1].

Вирішальну роль у справі глобального збереження природного біорізноманіття Землі відіграють ботанічні сади, які зберігають тропічні рослини, проводять їх реінтродукцію, досліджують біологічні особливості, систематику, особливості еволюційних процесів, морфологію та структурні адаптації для існування в широкому діапазоні різноманітних середовищ; вивчають біохімію, фізіологію та екологію рослин, розвиток та розмноження рослин *in vivo* та *in vitro*, включаючи сучасні можливості кріоконсервації, здійснюють освітні та природоохоронні заходи на національному рівні [2-3]. Крім того, великого значення набуває встановлення та оцінка лікарських властивостей цих рослин з перспективою практичного використання їх у фармацевтиці, медицині та харчовій промисловості. Ботанічні колекції тропічних та субтропічних рослин є джерелом розширення рослинного різноманіття природних ресурсів України та задоволення зростаючих потреб людства у натуральній сировині [3].

Серед ботанічних садів України великими колекціями живих рослин зі статусом Національної спадщини України вирізняються ботанічний сад (БС) ім. акад. О.В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ботанічний сад (ЛБС) Львівського національного університету імені Івана Франка (м. Львів) та Національний ботанічний сад (НБС) імені М.М. Гришка НАН України (м. Київ). Чільне місце в цих колекційних фондах займають рослини родини *Euphorbiaceae*.

Завдяки польовим експедиціям науковців України у тропічні країни світу, такі, як В'єтнам, Мадагаскар, Коста-Ріка, Південна Африка, острів Реюньйон (Франція) було оцінено чисельність популяцій тропічних рослин, виявлено загрози їх знищення та зібрано відповідний насінний та посадковий матеріал для збереження цінних видів рослин у колекціях ботанічних садів.

**Актуальність дослідження.** В реаліях сьогодення, під час глобального потепління людство шукає нові рослини, які, на відміну від сільсько-господарських сортових культур, здатні зростати

та давати високі врожаї на маргінальних територіях з обмеженим вологозабезпеченням, бути стійкими до шкідників та захворювань. Такими є рослини родини *Euphorbiaceae*. Станом на сьогодні ботанічними установами України зібрано унікальні колекції рослин *Euphorbiaceae*, проведено біолого-морфологічні дослідження, набуто певний досвід їх використання у медицині, побуті, промисловості, фітодизайні. Для продовження досліджень в області біохімії, фізіології та фотосинтезу рослин актуально провести аналіз висвітлених в наукових джерелах досліджень, практичних доробків, набутих результатів та асортименту видів *Euphorbiaceae* у колекціях ботанічних садів України.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Статтю написано в рамках виконання докторської дисертації Левчик Н.Я. на тему «Індукція імунітету рослин в умовах ізольованої культури», яка виконується у відділі аллопатії Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України під керівництвом директора, д.б.н., професора, чл.-кор. НАНУ Заїменко Н.В.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на ряд досліджень рослин родини *Euphorbiaceae* та певної кількості наукових здобутків, малодослідженими залишилися біохімічні та фізіологічні особливості, фотосинтез та здатність рослин до використання декількох типів фотосинтезу. Також виникла потреба актуалізації, узагальнення існуючих досліджень та встановлення видового та сортового асортименту рослин у колекціях ботанічних садів України, що стануть матеріальною базою для досліджень.

**Мета** дослідження – встановити історію створення колекцій тропічних та субтропічних видів рослин роду *Euphorbia* L. у ботанічних садах України, показати їх асортимент, процес інтродукції, проаналізувати біолого-морфологічні особливості рослин та оцінити роль ботанічних садів у справі глобального збереження природного біорізноманіття Землі. Провести прогноз перспективних напрямків дослідження, культивування, використання у виробництві та побуті.

**Наукова новизна.** Вперше зібрано та проаналізовано інформацію із наукових літературних джерел про створення колекцій рослин *Euphorbiaceae* у ботанічних садах України, особливості вирощування, можливості та перспективи застосування рослин *Euphorbiaceae* в різних сферах життя людини.

**Матеріали і методи.** Матеріалом досліджень були рослини роду *Euphorbiaceae* Juss. з колекцій провідних ботанічних садів України. У роботі використано історичні та архівні джерела, здійснено огляд сучасних наукових публікацій із ботанічних, систематичних, морфолого-описових та екологічних досліджень. Опрацьовано гербарні зразки та сфотографовано живі колекції рослин ботанічних садів. Назви рослин наведено за останніми даними Королівських Ботанічних Садів К'ю, синоніми – за WFO Plant List.

**Виклад основного матеріалу.** Рослини родини *Euphorbiaceae* у колекціях закритого ґрунту ботанічних садів України. Колекції ботанічних садів України сфокусовані на придбанні, поповненні своїх фондів, успішному вирощуванні, акліматизації та розмноженні численних видів тропічних та субтропічних рослин. Процес створення колекцій рослин ботанічними садами або установами, які мали безпосереднє відношення до вирощування рослин та ландшафтного дизайну, розпочався у XIX столітті.

Задовго до цього, в середньовічній Україні, як і в Західній Європі, популярними були монастирські сади або городи. Своїми садами славились Києво-Печерська та Почаївська лаври, св. Юрський, Крехівський, Жовківський та Христинопільський монастирі [4]. У 1707 р. в м. Лубни на Полтавщині було відкрито Казенну аптеку, де розповсюджувались місцеві лікарські трави для медичних потреб армії та населення. Найстаріший аптекарський город України започатковано у м. Лубни в 1714 р. [5].

Наприкінці XVIII століття було закладено Аптекарський сад на схилах Андріївської гори (м. Київ). Асортимент рослин у цих осередках складався переважно із лікарських, харчових та пряно-ароматичних трав, городини, фруктових дерев, а також фарбувальних рослин, які задовольняли харчові, побутові та санітарно-знезаражуючі потреби людини.

Крім того, популярними були колекції феодалних замків, панських маєтків, приватних флористичних колекцій, наприклад С. Потоцького (м. Умань), І. Н. Каразіна (м. Харків), а також зібрання рослин при університетах та госпіталях. Але з часом ініціатива створення колекцій поступово переходила від середньовічних монастирських аптекарських городів до офіційних ботанічних садів, які поклали на себе не просто колекційну, а й науково-освітню функцію, оскільки організовувались зазвичай при університетах або інших навчальних установах [6].

Найстарішими ботанічними садами України є ботанічний сад Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна (1804), Кременецький ботанічний сад (1806), створений при Волинському ліцеї (м. Кременець) та Ботанічний сад ім. акад. О. В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка (1839) [6].

Неодмінними у списках перших колекційних рослин ботанічних садів, згідно з архівними документами, були рослини родини молочайні *Euphorbiaceae* Juss. Наприклад, у перших списках колекції тропічних та субтропічних рослин Дубровицького монастиря ордена піарів Волинської обл. у XIX ст. зазначена дворічна рослина молочай горошковий або чиновий *Euphorbia lathyris* L. (*Euphorbiaceae*), природній ареал якого розташований у Південній частині Європи та північно-західній Африці. Сьогодні цей вид широко інтродукований та натуралізований у багатьох тропічних регіонах світу та належить до переліку ергазіофітів (свідомо завезених, але згодом здичавілих та спонтанно поширених) та інвазивних рослин [7-8].

*Euphorbiaceae* – це численна та надзвичайно гетерогенна родина рослин, яка нараховує 290 родів, біля 7500 видів та серед покритонасінних рослин є однією з найбільших, розповсюджена практично всюди, головним чином у тропічних та субтропічних країнах, але трав'янисті представники зростають також у помірних і навіть холодних областях [9-10]. Постає питання, чому в минулі часи виникла зацікавленість саме цією родиною рослин?

Рослини родини *Euphorbiaceae* було описано та використано в медицині ще Педанієм Діоскоридом (*Pedanius Dioscorides*), давньогрецьким лікарем, фармакологом та натуралістом близько 40-х рр. н.е. В своїй праці «*De materia medica*» вчений дослідив, описав та зобразив ряд видів, серед яких варто згадати *Euphorbia resinifera*, *E. tithymaloides*, *E. spinosa*, *E. pithyusa*, *E. peplis*, *E. characias*, *E. myrsinites*, *E. cyparissias*, *E. helioscopia*, *E. paralias*, *E. dendroides*, *E. platyphyllos*, *E. pithyusa*, *E. lathyris*, *E. spongiosa*, *E. peplus*, *E. chamaesyce*, *E. massilensis* (рис. 1) [11].

Характерними особливостями рослин родини *Euphorbiaceae* є велика різноманітність їх життєвих форм та стратегій виживання у посушливих умовах. Це дерева, кущі та рідше трав'янисті рослини із вмістом у тканинах молочного соку. Зовні рослини надзвичайно різноманітні за формами та розміром, оригінальні та привабливі. Оскільки всі рослини родини є представниками аридних та напіваридних територій, вони володіють важливими морфолого-анатомічними характеристиками для існування в умовах високих температур, сонячної інсоляції та дефіциту вологи у повітрі та у ґрунті [12].

Численні представники є стебловими сукулентами, відмінними рисами яких є наявність запасаючої тканини у зелених фотосинтезуючих стеблах та САМ-тип фотосинтезу [9-10, 13-14].

Зазначимо, що сукулентами є рослини-ксерофіти, які запасують воду в тканинах паренхіми для використання в посушливий період року та обмежують її випаровування за рахунок зменшення відносної поверхні тіла (відношення площі до об'єму). Для стеблових сукулентів характерними є ряд ознак: вкрите лише епідермою протягом багатьох сезонів



Рис. 1. Зображення рослин роду *Euphorbia* у стародруках Педанія Diosкорида: А – *Euphorbia characias*, *Euphorbia myrsinites*; В – *Euphorbia paralias*, *Euphorbia helioscopia* С – *Euphorbia cyparissias*, *Euphorbia dendroides* [11]

зелене фотосинтезуюче стебло, ребра на стеблах, слабозвинена провідна система, повна чи часткова редукція листків або трансформація їх у колючки чи волоски [15].

Рід *Euphorbia* є величезним космополітичним родом, поширеним на аридних територіях тропічних та субтропічних регіонів усіх континентів Планети, містить понад 2000 видів рослин, що охоплює близько третини видів родини, близько половини яких є сукулентами з найрізноманітнішим асортиментом форм та розмірів від крихітних сланких до гігантських, включаючи однорічні трав'янисті рослини та багаторічні дерева, які виділено у 28 груп за зовнішніми морфологічними ознаками й ареалами [15-19].

Природний ареал розповсюдження рослин роду *Euphorbia* розташований на трьох континентах: Південній та Східній Африці, Америці (Мексика) та Євразії (Середземномор'я, Передня Індія), Канарські острови та на острові Мадагаскар. Крім того, рослини саме цього роду найбільше представлені у колекціях ботанічних садів та приватних колекціях [19].

Не дивлячись на суттєві морфологічні відмінності, які є результатом пристосування до подібних умов зростання, на широке розповсюдження та неодноразове незалежне виникнення сукулентності (мінімум п'ять разів) [18], всім видам *Euphorbia* характерні загальні риси:

- Майже всі представники запасують воду у первинній корі та серцевині стебел вегетативних пагонів, які залишаються зеленими впродовж багатьох років [15];

- Білий, липкий, подразнюючий та отруйний сік або латекс;

- Малі, незначні цимозні суцвіття – циатії із нектарниками та двома яскраво забарвленими приквітками – найхарактерніша ознака всіх видів роду;

- Плід – тригнізда коробочка з трьома капсулами, кожна із яких містить одну насінину. Внаслідок дозрівання плід миттєво розтріскується та далеко навколо розкидає насіння [20-21];

- При наявності колючок вони можуть бути двох типів. Перший – колючки, утворені з епідермісу рослини, їх видалення з рослини захоплює та відриває частину епідермісу, викликаючи виділення латексу (на прикладі *Euphorbia polyacantha* Boiss., рис. 2–А). Другий – стійкі до зовнішніх впливів видозмінені безплідні генеративні пагони, тонкі, прямі, постійного перерізу, на відміну від колючок епідермісу, іноді злегка приплюснутих та товстіших біля основи (на прикладі *Euphorbia heptagona* L. рис. 2–В).

За особливостями морфологічної будови надземної частини розрізняють ребристі кактусоподібні, кактусоподібні без ребер, коралоподібні та класичні рослини роду *Euphorbia*.

Ребристі кактусоподібні рослини мають стебла від кулястих до колоноподібних з чіткими кутами, бруньки розміщені вздовж вертикальних ребер, листки дуже редуковані або відсутні: *E. canariensis* L., *E. meloformis* Aiton, *E. mammillaris* L., *E. heptagona* L., *E. polyacantha* Boiss., *E. pseudocactus* A. Berger, *E. avasmontana* Dinter, *E. cactus* Ehrenh. ex Boiss. (рис. 3–А).

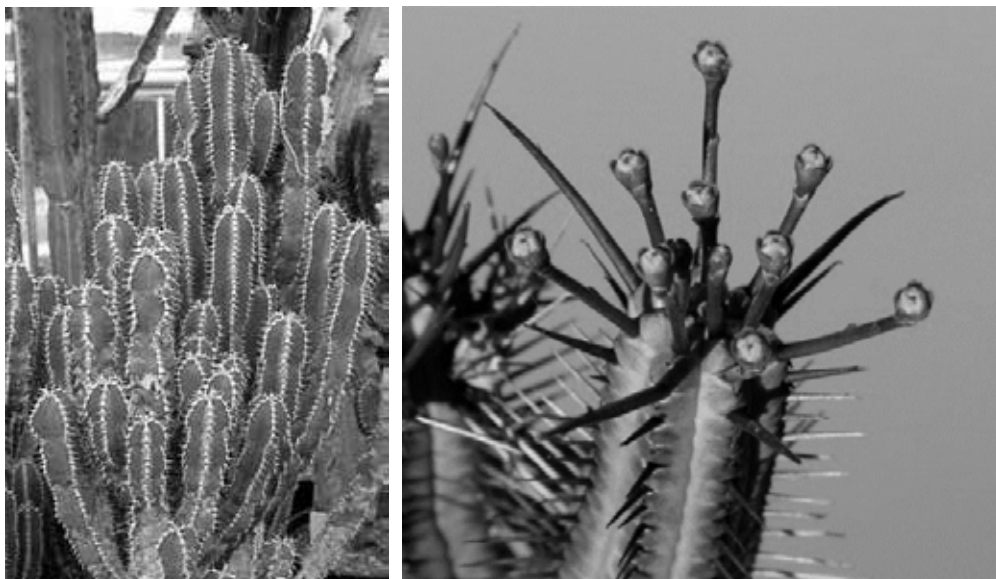
Кактусоподібні рослини без ребер мають кулясті стебла без шипів, забезпечені горбками або лусочками, розташованими в шаховому порядку: *E. bupleurifolia* Jacq., *E. gymnocalycioides* M.G. Gilbert & S. Carter, *E. piscidermis* M.G. Gilbert, *E. turbiniformis* Chiov., *E. caput-medusae* L., *E. procumbens* Mill. та *E. globosa* (Haw.) Sims (рис. 3–В).

Коралоподібні рослини мають тонкі стебла без шипів із дрібними листочками, що швидко опадають або без них: *E. aphylla* Brouss. ex Willd., *E. burmannii* E. Mey. ex Boiss., *E. tirucalli* L., *E. pteroneura* A. Berger, *E. xylophylloides* Brongn. ex Lem., *E. bosseri* Leandri (рис. 3–С).

Молочай класичного вигляду з нормально розвиненими листками може мати різні стебла:

- розгалужене гладке стебло, потовщене біля основи (*E. balsamifera* Aiton);

- короткі шорсткі циліндричні стебла, які утворюються із підземної бульби (*E. ambovomb*



А

В

Рис. 2. А – модифіковані листки у *E. polyacantha* [22]; В – стійкі безплідні генеративні пагони у *E. heptagona* (фото Valentino Vallicelli) [23]



А

В

С

Рис. 3. Групи морфологічної будови надземної частин рослин *Euphorbia*:  
А – ребристі *E. avasmontana* Dinter (фото Н. Левчик); В – без ребер *E. caput-medusae* [17];  
С – коралоподібні у *E. burmannii* *E. Mey. ex Boiss.* (фото Н. Левчик)

*ensis* Rauh & Razaf., *E. cap-saintemariensis* Rauh, *E. cylindrifolia* Marn.-Lap. & Rauh);

– нечітко кутасті стебла з колючками і листки середнього розміру, які опадають лише після певного віку або під час тривалої посухи (*E. milii* Des Moul, *E. beharensis* Leandri, *E. didiereoides* Denis ex Leandri);

– виразно кутасті стебла з колючками або торочкою і листки середнього розміру, які опадають лише після досягнення певного віку або при або під час

тривалої посухи (*E. leuconeura* Boiss., *E. lophogona* Lam., *E. Viguierii* Denis) [17].

Для рослин роду *Euphorbia* характерною морфологічною ознакою є почергове листкорозміщення, проте у певних видів воно може бути супротивним або мутовчастим. Листки прості або рідше складні, з перистим або пальчастим жилкуванням з прилисточками, які у сукулентних видів видозмінюються на волоски, залозки або колючки. [9, 13]. Рослини однодомні, – рідше дводомні. Квітки без оцвітини,

суцвіття цієї складється із численних тичинкових квіток, зібраних навколо однієї маточкової, що поникає на довгій ніжці. Ціатії згруповані в зонтикоподібні суцвіття з обгортками. Плід 3-гніздна коробочка (тригорішок), що розпадається на 3 однонасінні горішки. Стебла рослин містять молочний сік [9, 21, 24].

Видове різноманіття рослин роду *Euphorbia* є надбанням унікальної чисельної колекції тропічних рослин НБС, зібраної від моменту заснування його в 1935 р. та зарахованої до переліку Національного надбання України в 1999 р. НБС є провідною науково-дослідною, природоохоронною, еколого-просвітницькою установою України, головним центром інтродукції, акліматизації та селекції рослин, єдиною пам'яткою садово-паркового мистецтва ХХ ст. в Україні [25].

У відділі тропічних та субтропічних рослин саду вивчають проблеми, пов'язані із розмноженням тропічних рослин, а результатом цих досліджень стало створення лабораторії мікроклонального розмноження тропічних рослин в умовах *in vitro*, враховуючи застосування криогенних технологій. Науковцями саду розроблено основні функції, принципи та призначення фітодизайну інтер'єрів, а також підбрано та рекомендовано перелік рослин для створення цих композицій [2, 25-26].

Колекція тропічних рослин НБС становить близько 4200 таксонів, а це приблизно 900 родів та 164 родини. Найперспективнішими рослинами

родини *Euphorbiaceae*, зібраними у колекції живих тропічних рослин НБС є 150 видів із 9 родів [2, 26].

Для огляду експозиція НБС містить 50 видів кактусів та понад 70 видів сукулентних рослин 15 родин, які розміщуються за екологічним принципом згідно із природним розповсюдженням в угрупованнях аридних зон земної кулі (Центральна та Південна Америка, Південна та Південно-Західна Африка, Мадагаскар). Поряд із кактусами, алое, агавами, хавортіями особливе місце в експозиції займають представники *Euphorbiaceae* (рис. 4–А) [27].

Широко відома серед фахівців колекція сукулентних рослин Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка, заснованого 5 травня 1839 р. Ця колекція має велику цінність, оскільки, згідно з архівними документами, створена понад 100 років тому. Вже в документах інвентаризації 1884 р. згадувалося, що у колекції Ботанічного саду на той час представлено 90 видів сукулентів, серед яких перше місце займали види роду *Euphorbia*: *E. nivulia* Buch. – Nam. і *E. splendens* Vojer ex Hook., які зростали в композиціях поруч із рослинами роду цереус *Cereus* Mill., алое *Aloe* L., опунція *Opuntia* Mill. та представлені в колекції сукулентів і дотепер (рис. 4–В) [19, 31].

Колекції тропічних рослин цього ботанічного саду на сьогодні налічують понад 4200 таксонів, що представляють 830 родів і 180 родин, об'єднані у 15 груп [19]. Понад 60 % рослин колекції – це сукулентні рослини, що є прикладом конверген-



А



В



С

Рис. 4. Оранжерейний комплекс: А – НБС імені М.М. Гришка (фото Марина Григоренко) [28]; В – БС ім. акад. О.В. Фоміна [29]; С – ЛБС університету імені Івана Франка [30]

ції в еволюційному процесі рослинного світу, коли у неспоріднених організмах внаслідок пристосування до однакових умов існування виникають подібні ознаки [2].

Ще однією із ряду історичних рослин Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна є ендемік скелястих місцевостей Мадагаскару *E. alcicornis* Baker (1932), який збережений та зростає до сьогодення часу. Але головне масштабне поповнення колекції почалося близько 50 років тому [2, 31].

Колекція сукулентних рослин родини *Euphorbiaceae* Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна містить 59 видів, 7 різновидів та 5 форм і сортів, що належать до 5 родів [19]. На сьогодні рослини розміщено за систематичним та географічним принципами в шести оранжереях саду. Створено чотири експозиції: дві експозиції присвячені сукулентам Американського континенту, одна – сукулентам Африканського континенту та одна присвячена кактусам тропічного лісу [31].

Цінною є експозиція «Сукулентні рослини Африканського континенту», яка закладена в 1977-1978 рр., оскільки чільне місце в ній посідають сукуленти роду *Euphorbia*, які за зовнішнім виглядом нагадують кактуси. Особливою прикрасою колекції є деревоподібні молочаї: молочай великорогий *E. grandicornis* Blanc, молочай великозубий *E. grandidens* Haw., молочай канделяброподібний *E. candelabrum* Welw. та молочай оленерогий *E. hamata* (Haw.) Sweet [32].

Рослини в експозиції розміщені та зростають у шести ярусах згідно із їх екологічними потребами в освітленні та вологозабезпеченні. Верхній (перший) ярус – це дерева, крони яких зростаються досить щільно та утворюють значну тінь (*E. abyssinica* J.F. Gmel., *E. alcicornis* Baker, *E. neriifolia* L.), а на відкритих ділянках експозиції зростають *E. tirucalli* L., *E. grandidens* Haw. та високі кущі *E. grandicornis* Blanc, *E. pseudocactus* A. Berger.

Другий ярус – це поодинокі дерева, серед яких куртини *E. stenoclada* Baill. Третій ярус – це поодинокі притінені верхніми ярусами дерева *E. balsamifera* Aiton та підріст *E. tirucalli*, а на відкритих добре освітлених ділянках можна спостерігати підріст дерев *E. canariensis* L. Четвертий ярус складається із частково притінених кущів *E. mauritanica* L. П'ятий ярус – це переважно сильно притінені кущі та кущики *E. milii* Des Moul., *E. splendens* Bojer ex Hook. та поодинокі карликові дерева і кущі *E. bubalina* Boiss., поодинокі кущі *E. grandicornis* Boiss. Шостий ярус – це куртини ґрунтопокривних сукулентів, де серед інших ростуть подушкоподібні кущики *E. resinifera* O. Berg. [13].

Експозиція захоплює своєю декоративністю та гармонійністю поєднання рослин, а також науковістю та інформативністю. Крім того, під час вирощування сукулентів роду *Euphorbia* в захищеному ґрунті ботанічних установ особливо важливо

знати та враховувати основні екологічні параметри місць їх природного зростання та розповсюдження. Колективом ботанічного саду було розроблено наукові методологічні основи вирощування окремих груп рослин роду згідно з їх еколоморфологічними вимогами [13, 33].

Було досліджено флористичні царства та виділено три центри видового різноманіття сукулентних рослин: Американський (Південноамериканський, Мексиканський, Північноамериканський), Африканський (Мадагаскарський та Південноафриканський), Євразійський (Китайський, Центральноєвропейський та Канарський) [33].

Колекцію ботанічного саду в різні роки поповнювали рослинами, які було поділено на групи за ареалами походження: з Мадагаскару – *E. decaryi* Guillaumin, *E. milii* Des Moul., *E. splendens* Bojer ex Hook., *E. hislopianii* N.E.Br., *E. alcicornis* Baker, *E. leuconeura* Boiss., *E. stenoclada* Baill.; із Тропічної Африки – *E. tirucalli* L., із Канарських островів – *E. canariensis* L., *E. balsamifera* Aiton, *E. terracina* L., *E. aphylla* Brouss. ex Willd., *E. globosa* (Haw.) Sims; із Середземномор'я – *E. dendroides* L.; зі Східної Індії – *E. neriifolia* L.; із Північнокапської провінції – *E. grandidens* Haw.; зі Східнокапської провінції – *E. caput-medusae* L., *E. meloformis* Aiton, *E. pseudoglobosa* subsp. *pseudoglobosa*; зі Східнокапської та Західнокапської провінції – *E. cereiformis* L.; зі Східнокапської, Західнокапської й Північнокапської провінцій – *E. submamillaris* (A. Berger) A. Berger, *E. bubalina* Boiss. [13, 18-19].

У колекції тропічних рослин купольної оранжереї Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна представлено також важливі харчові рослини родини *Euphorbiaceae*: солодка маніока (*Manihot palmata* Müll. Arg.) та маніок їстівний (*Manihot esculenta* Crantz.), які є цінним джерелом вуглеводів (целюлози, крохмалю, інуліну, пектинів), *Croton tiglium* L. – джерелом жирів та жирних кислот та є незамінним давнім джерелом харчування для населення Південної Америки, Африки, Індії, Бірми, Філіппін. [3, 34].

Розглянемо деякі види рослин роду *Euphorbia*, які є яскравими представниками ареалу та їх походження.

*E. tirucalli* L. – коралоподібний молочай із Тропічної Африки та Індії, який широко натуралізований по всій тропічній зоні та культивований як декоративна рослина у деяких зонах Середземномор'я та в теплицях Центрального та Північного Китаю, інтродукований в Україну у 1965 р. [19]. Це дводомні дерева або кущі 2-6 м заввишки із зеленими соковитими стеблами, на яких розміщені чергові недовговічні листки з малесенькими прилистками. Листкова пластинка видовжено-лінійна (рис. 5–А). Ціатій одностатевий, згрупований на верхівках гілок. Чоловічі квітки суттєво виступають за межі обгортки. Жіноча квітка має дволопатеву приймочку, плід – трилопатева коробочка. Насіння яйцевид-

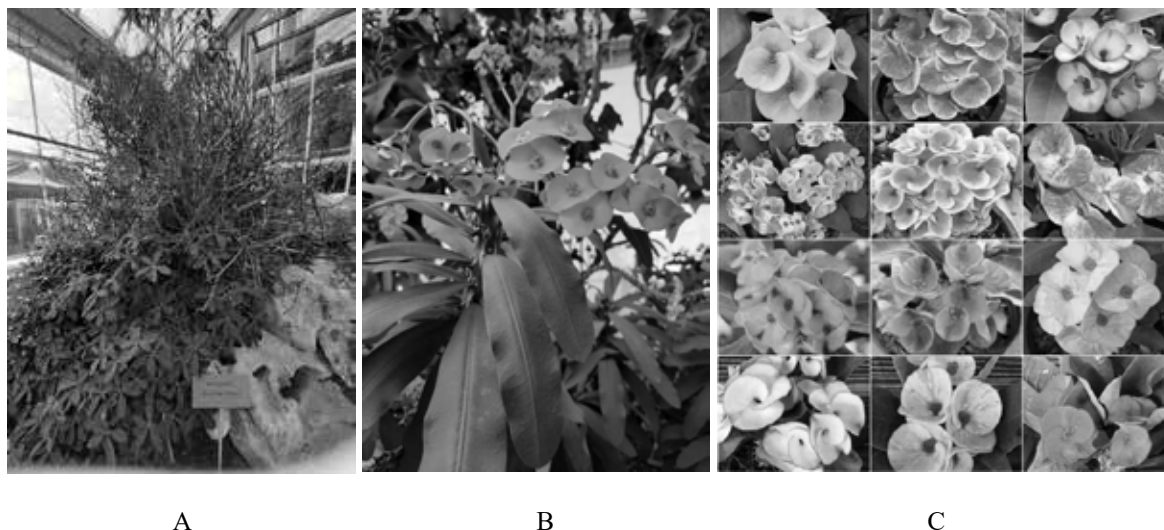


Рис. 5. *Euphorbiaceae* у композиції Національного ботанічного саду Бельгії м.Мейзе: А – *E. tirucalli*; В – *E. mili* Des Moul. (фото Н. Левчик); С – різноманіття забарвлення приквіток *E. milii* [40]

но-кулясте, 4x4 мм, гладеньке з маленьким карункулом [14, 35].

Назва «*tirucalli*» походить з малайламської індійської народної назви цього виду, «*tiru*» – добре та «*kalli*» – назва будь-якого молочаю, що разом означає «добрий молочай», що стосується його використання в медицині [35-36].

Відомо широкий спектр застосування латексу рослин *E. tirucalli* в медицині, включаючи протипухлинну активність, проте ефективність та безпечність застосування сирого латексу викликає сумніви внаслідок відсутності наукових результатів доказової медицини.

Крім того, латекс зі зрізаних гілок рослини отруєє рибу під час риболовлі місцевим населенням. Широке використання отримали рослини *E. tirucalli* як живоплоти або живі стовпи для кріплення колючого дроту. В Африці побуває думка про здатність молочаю відлякувати комарів та мурах [17].

Під час Другої світової війни на виробництво каучуку із латексу *E. tirucalli* поклалися великі надії. Проте латекс виявився нестійкою сполукою. Тим не менше тривають дослідження та заплановані промислові масштаби вирощування рослин *E. tirucalli*, як альтернативного зеленого джерела енергії, оскільки внаслідок досліджень було виявлено велику урожайність рослин *E. tirucalli* та *E. lathyris* L., що становить 10 барелів олії на рік без генетичних чи агрономічних покращень [37].

Вагомим аргументом є невибагливість рослин *E. tirucalli*, що надає можливість отримувати біогаз без зайвих інвестицій у дорогі технології. Отримано перші перспективні результати в лабораторних та польових умовах Сенегалу. Латекс *E. tirucalli* містить низку тритерпенів із високим вмістом енергії та може бути використаний у виробництві палива [38].

На сьогодні із латексу *E. tirucalli* виробляють клей для деревини. Крім того, рослинна сировина *E. tirucalli* може бути використана для виготовлення паперу та лінолеуму [17]. Окрім того, *E. tirucalli* набуває популярності як декоративна рослина для службових приміщень та для житлових помешкань внаслідок своєї стійкості, декоративності та простоти в обслуговуванні [35].

А насіння вищезгаданого молочаю *E. lathyris* відоме у Південній Європі як замітник каперсів, але, за словами фахівців, воно надзвичайно гостре та вимагає знання тонкощів його приготування. Цікавим є також побутове використання соку молочаю бальзамічного *E. balsamifera* Aiton, який після загущення до стану желе вживається у їжу місцевими жителями Канарських островів [34].

*E. milii* Des Moul. – ксерофітний мадагаскарський молочай, інтродукований у 1941 р. [19], є мало або зовсім не сукулентним, культивується з давніх часів та називався в давнину «Колючка Христа» через красиві червоні приквітки навколо квітки та дуже колючі гілки, що нагадують терновий вінець Христа. Назву ця рослина отримала на честь барона П'єра-Бернара де Міліуса (1773-1829), губернатора острова Реюньон з 1818 по 1821 рр. Більшість культурних рослин *E. milii* є гібридами із різноманітним забарвленням приквіток (рис. 5–В, С) [39].

Мофологічно *E. milii* – це нерівномірно сильно-розгалужений кущ заввишки 1,5 м із сірувато-коричневими кутастими стеблами до 2 см у діаметрі, включаючи епідерміс. Вся поверхня стебла вкрита багаточисельними простими колючками завдовжки до 5 см. Листки овальні, до 1-2 см завширшки та до 7-8 см завдовжки, зелені, іноді з червоними краями, переважно розміщеними на верхівці гілок, оскільки листки зазвичай опадають із ростом стебел [14]. Квітки розміщуються на верхівках стебел групами

від 2 до 8, оточені двома червоними, іноді жовтими приквітками (циатії), діаметром 2 см, зберігаються дуже довго (рис. 5–В, С). Плід – тригнізда коробочка з трьома горішками [21].

Рослина походить з Мадагаскару, але натуралізована і розповсюджена в усіх тропічних країнах, де має медичне застосування, а також використовується для декорування інтер'єрів та зовнішнього озеленення територій і навіть як низький, захисний, але непрхідний колючий живопліт [14, 41].

Квітуванням рослин *E. milii* з неймовірно ефективними приквітками, що вирізняються високою декоративністю серед інших рослин, можна насолодитись також у колекції ботанічного саду Національного університету біоресурсів і природокористування (м. Київ). Цвісти молочай у тепличних умовах може цілий рік, якщо надати рослинам достатньо світла (рис. 5–В) [42].

*E. canariensis* L. – широко відомий кактусоподібний молочай, інтродукований в Україну у 1973 р. [19]. За формою він розгалужений біля основи, у культурі заввишки 2-3 м, проте у природних умовах (Канарські острови Іспанії) може сягати висоти понад 6 м, з вертикально прямостоячими гілками, що мають 4-6 чітко виражених прямих ребер (4 шт. у молодому віці рослин) (рис. 6), на яких щільно розміщені бруньки, кожна з яких має дуже маленький листочок, який швидко опадає та пару колючок завдовжки 4-5 мм кожна, які розташовані по обидва боки від місця прикріплення листка. Червоно-коричневий колір епідермісу молодого рослини з часом стає зеленим. Суцвіття зеленкувато-червоне з короткою квітконіжкою, плоди містять три камери із насінням, яке при дозріванні розкидається [17, 43].

У культурі населення острова Тенеріфе для втамування спраги знімають кору молочаю канарського (*E. canariensis*) та смочуть внутрішню частину стебла [34].

*E. caput-medusae* L. – надзвичайно декоративний молочай, інтродукований в Україну у 2002 р. [19], у якого легко ідентифікується центральна так звана голова з численними змієподібними гілками, подібними на Медузу в грецькій міфології (рис. 3–В).

*E. caput-medusae* – це унікальна сукулентна рослина, яка формує розетку численних сіро-зелених довгих змієподібних гілок на короткому товстому обернено-конічному стеблі. Це найбільш змієподібний з усіх видів.

Центральне потовщене стебло – це каудекс, характерний для всіх медузоїдних молочаїв та може бути резервуаром для поживних речовин та вологи під час посухи. Проте під час тривалої посухи медузоїдні молочаї скидають свої гілки та відрощують нові, коли сезон дощів повертається [16].

Всі медузоїдні еуфорбії походять із Капської провінції у Південній Африці, тому вони посухостійкі і добре переносять тривалі періоди обмеженої кількості вологи або її відсутність [16, 43].

Ареал походження виду *E. caput-medusae* – піщані рівнини та кам'янисті схили південно-західної частини Намібії до півострова Кейп та затоки Моссел у Західно-Капській провінції Південної Африки [16].

Рослини виростають до 75 см у висоту та 1 м у діаметрі. Каудекс досягає 30 см у діаметрі. Гілки висхідні, булавоподібні, горбисті до 3 см у діаметрі із м'ясистими, лінійними до 4 см завдовжки і 0,2 см завширшки листками, які швидко опадають. Навесні та влітку на верхівці гілок у пазухах горбиків з'являються численні циатії, завдовжки 1,5 см [16].

Прикладами медузоїдних еуфорбій можуть бути *E. esculenta* Marloth, *E. flanaganii* N.E.Br., *E. decepta* subsp. *gamkensis* (Marx).

*E. bubalina* Boiss. – сукулентний молочай із Південної Африки та Східного Кейпа, інтродукований у 1939 р. (рис. 6–А) [Гайдаржи, 2007]. Рослини сягають у висоту до 130 см і мають прості прямостоячі мозаїчні або розгалужені стебла з горбиками довжиною до 15 мм і шириною до 9 мм, розташованими по спіралі. Листки ланцетні, до 10 см завдовжки і 2,5 см завширшки, зверху темно-зеленого кольору, знизу – світлі, сидячі, які розміщуються на верхівці стебла.

Циміодні суцвіття з 1-2 розгалуженнями, зібрані на верхівці в 2-3 променеві зонтики на генеративних пагонах до 12 см завдовжки. Зеленкувато-жовті приквіттки мають довжину до 2,5 см та ширину до 1,5 см. Циатій до 5 мм у діаметрі, із довгастими зеленими нектарниками. Плід кулястий, 6x8 мм, сидячий. Насіння яйцеподібне, гладеньке [44].

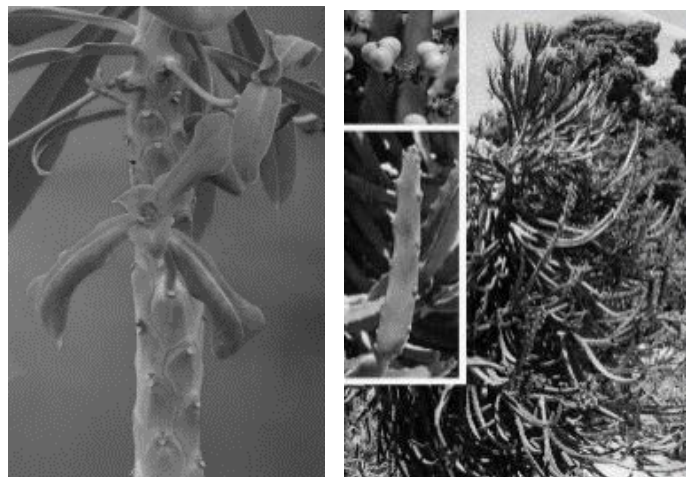
Походження назви цього виду: *bubalina* походить від латинського *bubalus*, що означає буйвол, антилопа, оскільки стійкі генеративні пагони нагадують роги цих тварин [17, 45].

Ще однією із найстаріших в Україні є колекція тропічних та субтропічних рослин ботанічного саду Львівського національного університету імені Івана Франка (ЛБС), заснованого у 1852 р. Колекція в оранжереях нараховує 1700 таксонів тропічних рослин 475 родів, що належать 136 родинам з різних частин світу. У 2002 р. колекція цього ботанічного саду була визнана Національною Спадщиною України (рис. 4–С) [2, 46].

У колекції ЛБС є види, занесені до Червоної книги Міжнародного союзу охорони природи, серед яких молочай великозубий *E. grandidens* Haw. (рис. 6–В) [46]. Рослини цього виду впадають скелясті відслонення або круті схили у густих долинних кущах та походять із Південної Африки, Ботсвани, Лесото, Намібії та Свaziленду. Інтродукований в Україну в 1937 р. [19].

Не менш цікаві *E. grandidens* – це колюче сукулентне дерево з одним або кількома циліндричними стовбурами та висхідними гілками, які закінчуються розгалуженнями 2-4-кутних листопадних гілок. Висота молочаю може сягати до 16 м. Гілки мають





(Euphorbia grandidens Haw.),

А

В

Рис. 6. *Euphorbia bubalina*, колекція Національного ботанічного саду Бельгії м. Мейзе [22]; В – *E. grandidens* [17]

ширину до 2 см, вкриті великими зубцями та короткими, але дуже гострими шипами, вздовж кутів, що за формою нагадують коров'ячі роги (рис. 6–В).

У рослини є крихітні лускоподібні листочки, які швидко опадають і тому фотосинтез відбувається за рахунок зелених гілок. Блідо-жовті цягії помітні навесні вздовж кутів гілок, переважно на сонці. Цвіте та плодоносить рослина на батьківщині у Південній півкулі пізно навесні [23]. Зазвичай квітки групуються по три: центральна чоловіча сидяча, а дві інші на квітконосі – двостатеві. Квітки надзвичайно запахні, тому приваблюють метеликів, інших комах та комахоїдних птахів для запилення. Насіння поїдають птахи [47].

Плоди 3-х лопатеві коробочки 1,5 см діаметром, від червоно-коричневого до фіолетового кольору.

Специфічна назва рослини – *grandidens* – з латинської означає «великозубчастий»: «*grandis*» – великий, та «*dens*» – зуб, і стосується зубців уздовж кутів гілок.

Цей вид молочаю містить білий токсичний молочний сік, який може викликати подразнення шкіри та очей, спричинити сліпоту. Проте ефективно використовується в народній медицині [16, 47].

Рослини роду *Euphorbia* прикрашають колекції живих рослин інших ботанічних садів України та усього світу. Наприклад, колекція тропічних та субтропічних рослин Ботанічного саду Чернівецького національного університету має рослини декількох яскравих родів родини *Euphorbiaceae*: *Acalypha* L. – 2 види, *Codiaeum* Runph. ex A. Juss. – 5 видів, *Euphorbia* L. – 16 видів, *Manihot* Mill. – 2 види [48].

До колекції рослин оранжереї Ботанічного саду «Поділля» Вінницького національного аграрного університету, заснованого в травні 1963 р., входить найпопулярніший представник тропіків та субтропі-

ків *E. milii* Des Moul., здатний накопичувати у своїх листках велику кількість вологи та життєво необхідних речовин [49].

#### **Досвід використання тропічних рослин *Euphorbiaceae* у оздоровленні промислових приміщень та фітодизайні.**

Суворий клімат України, стійкі морози в зимовий період не дозволяють вирощувати рослини родини *Euphorbiaceae* зони тропіків та субтропіків у відкритому ґрунті та використовувати у ландшафтному будівництві. Проте їх використання в оздобленні інтер'єрів вже триває та має великі перспективи.

Проблема оздоровлення внутрішнього простору закритих приміщень, де перебуває, відпочиває чи працює людина, за останні роки набуває все більшої актуальності, оскільки під час скупчення та тривалого перебування в них людей збільшується насиченість повітря мікроорганізмами та токсичними виділеннями будівельних матеріалів [50-51]. Вирішення цієї проблеми особливо важливе під час сезонних епідемій вірусних та бактеріальних інфекцій, серед яких поширення коронавірусної хвороби COVID-19.

Зелені рослини виявились найефективнішими природними біофільтрами повітря завдяки своїй фітонцидній дії, фотосинтезуючій активності, синтезу ефірних олій. А габітус рослин, структура епідермісу, особливості забарвлення та форми стебел, листків, квіток та оригінальні гармонійні композиції рослин суттєво впливають на психоемоційний стан людини [52].

Роль рослин у фітодизайні полягає у знезараженні повітря в промислових та побутових приміщеннях від патогенної мікрофлори, очищення його від пилу та газу, звукопоглинання. Важливою є іонізація та зволоження повітря та, що надзвичайно важливо, – насичення повітря киснем [53].

У НБС імені М.М. Гришка вже понад 40 років тривають науково-дослідні роботи, започатковані ще її директором Гродзінським А.М. (1926-1988), продовжені колективом науковців у напрямку фітодизайну та оздоровлення приміщень із практичним їх втіленням у численних проектах [54]. Академік Гродзінський А.М. вперше запропонував виділити фітодизайн зі складу промислової ботаніки [55].

Встановлено, що ефективність рослин при використанні у фітодизайні цілком залежить від їх типу фотосинтезу. Крім того, рослини мають різні потреби в освітленні (фотолабільні, тіньовитривалі або світлолюбні) та мінеральних речовинах, а також їм притаманний індивідуальний рівень продуктивності та ефективність використання води. Тому, необхідно удосконалювати умови вирощування контейнерних рослин, враховуючи їх потреби та САМ, С<sub>3</sub>, С<sub>4</sub>-тип фотосинтезу [56].

В процесі досліджень виявлено діагностичні критерії для відбору видів, які здатні поглинати токсичні органічні сполуки на прикладі бензолу, активність поліфенолоксидази, вміст у листках каротиноїдів, міді, дицукрів. Крім того, виявлено, що в умовах інтер'єрів у тканинах рослин змінюється склад вільних амінокислот: зменшується вміст глутамінової кислоти в листках та збільшується вміст проліну та аргініну. Залежно від типу інтер'єру відбуваються суттєві зміни у мінеральному вмісті в тканинах рослин калію, кальцію, фосфору, азоту, магнію, цинку та заліза. Крім того, вперше було встановлено пряму залежність між особливостями анатомо-морфологічної будови листків, показниками фотосинтетичного апарату (стабільність пігментів, особливості розподілу нуклеїнових кислот в органах рослин та кількісні показники вільного гістидину в листках) та фітонцидною активністю рослин [53].

Науковці НБС розробляють різні аспекти фітодизайну з використанням історичних та сучасних під-

ходів, створюють варіанти композицій та підбирають найефективніші рослини. Для створення «фітомодуль» було відібрано рослини 15 родин, серед яких родина *Euphorbiaceae* [57]. Найперспективнішими видами є *E. milli* Des Moul. та *E. tirucalli* L. [52]. Напрацьовано досвід та рекомендовано використання виду *E. alcornis* Baker на кам'янистих гірках, у зимових садах, для використання у композиціях «бонсай» (рис. 7) [58].

Крім того, проведені дослідження дали змогу розробити структурно-функціональну модель штучного біогеоценозу системи ґрунт-рослина-ґрунт для підвищення продуктивності рослин, стабілізації хімічного балансу кореневого середовища, активізації фізіолого-біохімічних процесів [59].

Ботанічні сади України зберігають та пишуться цінними колекціями тропічних рослин різних груп, вік яких понад 150 років [2]. Тому, в умовах саме захищеного ґрунту інтродукція та дослідження тропічних та субтропічних рослин мають велике теоретичне та прикладне значення, надають можливість збереження біорізноманіття світової флори для відновлення природних популяцій та застосування в озелененні промислових та побутових інтер'єрів [52]. Крім того, родина *Euphorbiaceae* Juss. є лідером у декоруванні всіх типів інтер'єрів.

Отже, тропічні та субтропічні рослини роду *Euphorbiaceae* є цінним генофондом ботанічних садів України для відновлення втрачених популяцій в природних умовах, а їх гербарні колекції використовують з науковими та освітніми цілями. Рослинна сировина має давню історію та широкий спектр використання у різних сферах людської діяльності: харчуванні, медицині, промисловості та побуті. Крім того, рослини мають великі перспективи використання у фітодизайні внутрішніх приміщень та у ландшафтному дизайні.



А



В



С

Рис. 7. Приклади використання рослин *Euphorbiaceae* в інтер'єрі: А – побутових приміщень; В – громадський приміщення [60]; С – в ландшафтному будівництві (фото Н. Левчик)

**Висновки.**

1. Тропічні та субтропічні рослини родини *Euphorbiaceae* з колекцій ботанічних садів України є цінним генофондом промислових, енергетичних, харчових і лікарських рослин для дослідження біолого-фізіологічних та лікувальних особливостей рослин, а також відновлення втрачених популяцій в природній флорі.

2. Дослідження та використання рослин родини *Euphorbiaceae* сягає глибокої давнини та має багатовікову історію від Педанія Діоскорида, перших колекцій найстаріших ботанічних садів до чисельних цінних колекцій ботанічних установ, які визнано національним надбанням України.

3. Встановлено спільні характерні ознаки для представників родини *Euphorbiaceae*: наявність білого липкого соку або латексу, характерне цимозне суцвіття типу циатій, плід – тригнізда коробочка, що розпадається на три однонасінні горішки, колічки, що морфологічно є утвореннями епідермісу або безплідними генеративними пагонами.

4. Встановлено, що Американський, Африканський та Євразійський центри є осередком походження та видового різноманіття сукулентних рослин родини *Euphorbiaceae*.

5. Встановлено, що морфологічні особливості, сукулентність, різноманітність життєвих форм, стратегії виживання та тип фотосинтезу надають рослинам можливості зростати на маргінальних територіях з обмеженим водопостачанням, що надає їм переваги в умовах глобального потепління.

6. Використання рослинної сировини *Euphorbiaceae* різноманітне та багатогранне: харчове, медичне, побутове та промислове (виробництво каучуку, паперу, лінолеуму, клею для деревини та як джерело зеленої енергії) має великі перспективи на майбутнє.

7. Рослини *Euphorbiaceae* здійснюють ефективну очистку повітря та оптимізацію екологічного середовища, позитивно впливають на психоемоційний стан людини, тому їх широко використовують у фітодизайні промислових та побутових приміщень.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Матеріали статті є теоретичною базою для визначення перспективних видів рослин родини *Euphorbiaceae* колекцій ботанічних садів України, для продовження практичних досліджень рослин в області біохімії, фізіології, фотосинтезу, біотехнології та стануть складовою докторської дисертації.

**Література**

- Andrew C. Revkin Confronting the «Anthropocene» *The New York Times*. May. 2011. URL: <https://archive.nytimes.com/dotearth.blogs.nytimes.com/2011/05/11/confronting-the-anthropocene/>.
- Buyun L., Gaidarzhly M., Prokopiv A. Living collections of tropical plants as national heritage collections of Ukraine. *Botanic Gardens, People and Plants for a Sustainable World: 8th European Garden Congress* (Lisbon, May 7-11, 2018). Lisbon, 2018. P. 105-113.
- Сидоренко О.В. Освоєння інтродукційних ресурсів лікарських тропічних рослин. *Таврійський науковий вісник*. 2012. № 80. Ч. 2. С. 37-41.
- Тарас В.Я. Монастирський сад (термінологічний та змістовий аспекти). *Вісник державного університету «Львівська політехніка»*. Сер. Архітектура. Львів. 2000. № 410. С. 44-46.
- Довгопола Л. І. (2013) Історія дослідження лікарських рослин Лівобережноріпівського геоботанічного округу. *Біологічні системи*. Т.5. Вип. 3. 2013. С. 403-408.
- Вергунов В. А. Система впровадження наукових розробок аграрної науки на українських землях від аптекарських городів до колгоспних дослідних станцій (XVIII ст. – 50-ті роки XX ст.) *Історія науки і техніки*. 2017. Вип. 10. С. 109-131.
- Мельник В.І., Буян Л.І. Колекція тропічних та субтропічних рослин Дубровицького монастиря піарів XIX ст. *Інтродукція рослин*. 2013. № 3. С. 85-103.
- Protopopova V.V., Shevera M.V. Ergasiophytes of the Ukrainian flora. *Biodiv. Res. Conserv.* 2014. 35. P. 31-46. DOI 10.2478/biorc-2014-0018.
- Калашник С.О., Гайдаржи М.М. Систематика, морфологія та біохімічні особливості рослин роду *Euphorbia* L. (*Euphorbiaceae*). *Інтродукція рослин*. 2008. № 4. С. 66-71.
- Webster G. L. "Euphorbiaceae". Edited by K. Kubitzki. *The Families and Genera of Vascular Plants. Volume XI. Flowering Plants, Eudicots. Malpighiales*. Heidelberg: Springer, 2014. pp. 51–216
- Pedacio Dioscorides De la Materia Medicinal. Antwerp: Jean Laet. 1555. URL: [https://www.loc.gov/resource/gdcwdl.wdl\\_10632/?sp=8&st=image&r=-0.479,0.132,1.942,0.718,0](https://www.loc.gov/resource/gdcwdl.wdl_10632/?sp=8&st=image&r=-0.479,0.132,1.942,0.718,0) (дата звернення: 16.04.2024).
- Гайдаржи М.М., Нікітіна В.В., Баглай К.М. Сукулентні рослини (Анатомо-морфологічні особливості, поширення й використання). Київ: ВПЦ «Київський університет», 2011. 175 с.
- Калашник С.О. Ярусність і мозаїчність у штучних рослинних угрупованнях на прикладі експозиції «Сукулентні рослини Африканського континенту» в оранжереї Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна. *Інтродукція, збереження та моніторинг рослинного різноманіття: матеріали Міжнародної наукової конференції до 175-річчя Ботанічного саду імені акад. О.В. Фоміна Київського національного університету імені Тараса Шевченка* (Київ, 20 – 24 травня 2014 р.). Київ: ПАЛІВОДА А. В., 2014. 266. С. 135-136.
- Ma Jinshuang, Michael G. Gilbert *Euphorbia* Linnaeus, Sp. Pl. 1: 450. 1753. *Fl. China*. 2008. Vol. 11. P. 288–313.
- Калашник С.О., Гайдаржи М.М. Анатомічна характеристика стебел однорічних пагонів сукулентних рослин роду *Euphorbia* L. (*Euphorbiaceae*). *Укр. ботан. журн.* 2013. Т. 70. № 1. С. 45-53.
- World of Succulents. URL: <https://worldofsucculents.com/> (дата звернення: 16.04.2024).

17. Au Cactus Francophone. URL: <https://www.cactuspro.com/> (дата звернення: 16.04.2024).
18. Калашник С.О. Хлоренхіма стебла сукулентних рослин роду *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). *Modern Phytomorphology* 7. 2015. P. 113-119.
19. Гайдаржи М.М., Нікітіна В.В., Калашник С.О. Колекція сукулентних рослин родини *Euphorbiaceae* A.L. Jussieu в Ботанічному саду ім акад.О.В. Фоміна. *Вісник Київ.ун-ту імені Тараса Шевченка. Інтродукція та збереження рослинного різноманіття*. 2007. Вип.11. С. 11-13.
20. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник / відп. ред. А.М. Гродзінський. Київ «Українська Енциклопедія» ім. М.П. Бажана, 1992. 544 с.
21. Нечитайло В.А., Кучерява Л.Ф. Ботаніка. Вищі рослини. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. 432 с.
22. Офіційний сайт Національного ботанічного саду Бельгії, м.Мейзе. URL: [https://www.botanicalcollections.be/ accession/19534856](https://www.botanicalcollections.be/accession/19534856) (дата звернення: 16.04.2024).
23. *The Encyclopedia of Succulents*. URL: <http://www.llifl.com/Encyclopedia/SUCCULENTS/> (дата звернення: 16.04.2024).
24. Визначник рослин України Барбарич А.І., Брадис Є.М., Вісюліна О.Д. та ін.; за ред. К.Д. Зерова. Київ: Урожай, 1965. – 877с.
25. Заіменко Н.В., Рахметов Д.Б., Гапоненко М.Б., Шумик М.І. (2021) Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України – провідний науковий центр з інтродукції рослин та охорони біорізноманіття. *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін: матеріали міжнародної наукової конференції присвяченої 30-річчю Незалежності України*. Київ: Видавництво Ліра-К, 2021. 234 с.
26. Буюн Л. І., Іванніков Р. В., Ковальська Л. А. Значення колекцій тропічних рослин за умов глобальних змін клімату. *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін: матеріали міжнародної наукової конференції присвяченої 30-річчю Незалежності України*. Київ: Видавництво Ліра-К, 2021. С. 25-27.
27. Офіційний сайт Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАНУ. URL:[http://www.nbg.kiev.ua/collections\\_expositions/index.php?SECTION\\_ID=274](http://www.nbg.kiev.ua/collections_expositions/index.php?SECTION_ID=274) (дата звернення: 16.04.2024).
28. Інформаційне агентство УНІАН. URL: <https://www.unian.ua/tourism/newsphoto/oranzhereya-v-botsadu-grishko-v-kiyevi-kudiriti-na-vihidnih-v-kiyevi-foto-novini-kiyeva-11327750.html> (дата звернення: 16.04.2024).
29. Заграница туризм. URL: <https://kiev.zagranitsa.com/place/18837/botanichestkii-sad-im-av-fomina> (дата звернення: 16.04.2024).
30. Офіційний сайт VIRTUAL ua. Відпочинок та дозвілля. URL: <https://botanicgarden-lnu.virtual.ua/ua/photo/> (дата звернення: 16.04.2024).
31. Капустян В.В., Нікітіна В.В., Гайдаржи М.М. Колекція тропічних та субтропічних рослин Ботанічного саду імені акад. О.В. Фоміна КНУ імені Тараса Шевченка. *Інтродукція рослин*. 2004. № 1. С. 27-35.
32. Офіційний сайт Навчально-наукового центру «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка. URL: <https://biomed.knu.ua/institute-activity/scientific/conferences/shevchenko-spring/sektsiia-zahalna-biologii-dlia-shkoliariv/326-about-the-institute/botanicnyi-sad-im-akad-o-v-fomina/diialnist/kolektsiia-tropichnykh-ta-subtropichnykh-roslyn.html> (дата звернення: 16.04.2024).
33. Гайдаржи М.М. Центри видового різноманіття сукулентних рослин. *Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах і дендропарках: матеріали міжнар. наук. конф. (Київ, 15-17 вересня 2010 р.)*. Київ: Фітосоціоцентр, 2010. С. 31-34.
34. Sturtevant's edible plants of the world / edited by U. P. Hedrick / The Southwest School of Botanical Medicine (1919) <http://www.swsbm.com>. – 775р. (дата звернення: 16.04.2024)
35. Mwine Tedson Julius Evaluation of Pesticidal Properties of *Euphorbia tirucalli* L. (Euphorbiaceae) against Selected Pests: PhD thesis; Faculty of Bioscience Engineering; Ghent University. Belgium, 2011. 145pp.
36. Leach L.C. *Euphorbia tirucalli* L.: its typification, synonymy and relationships, with notes on 'Almeidina' and 'Cassoneira'. *Kirkia*. 1973. Vol. 9. № 1. P. 69–86.
37. Melvin Calvin Hydrocarbons from plants: Analytical methods and observations. *Naturwissenschaften* 1980. Volume 67. P. 525-533. doi:10.1007/BF00450661.
38. Patrick Van Damme The possibilities to use *Euphorbia tirucalli* as an energy and rubber crop. *Afrika Focus*. 1990. Vol. 6. № 1. P. 19-44.
39. Jean-Philippe Castillon & Jean-Bernard Castillon (2020) On *Euphorbia milii* (Euphorbiaceae) and its varieties. *Euphorbia World*. 2020. 16(3). P. 5-10.
40. Ewater Plants URL: <https://www.ewaterplant.com/assorted-colors-thai-euphorbia-milii> (дата звернення: 16.04.2024).
41. Thomas Haevermans, Wilbert L. A. Hettterscheid Novelties in Malagasy *Euphorbia* (Euphorbiaceae) monograph. *Phytotaxa*. 2021, March. Vol. 488. No. 1: 2. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.488.1.1>
42. Офіційний сайт Національного університету біоресурсів та природокористування України. URL:<https://nubip.edu.ua/node/120228> (дата звернення: 16.04.2024).
43. Bruyns P.V. Nomenclature and typification of southern African species of *Euphorbia*. *Bothalia – African Biodiversity and Conservation*. 2012. 42 (2): P. 217–245. DOI:10.4102/abc.v42i2.23.
44. Ifrim Camelia *Euphorbia* genus in Botanical Garden IASSY – features of living plant collection. *Acta Horti Bot. Bucurest*. 2018. 45. P. 47-55.
45. JSTOR. Global Plants. URL: <https://plants.jstor.org/compilation/euphorbia.bubalina> (дата звернення: 16.04.2024).
46. Прокопів А. Ботанічний сад Львівського національного університету імені Івана Франка – історія та сучасність *Вісник Львівського університету*. Серія біологічна. 2004. Вип.36. С. 3-9.
47. SANBI. Biodiversity for life. South African National Biodiversity Institute URL: <https://pza.sanbi.org/euphorbia-grandidens> (дата звернення: 16.04.2024).
48. Галицька Л.Г., Гаврилук В.О., Андрійчук П.В., Савінова Г.І. Колекція тропічних і субтропічних рослин ботанічного саду Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича. *Інтродукція рослин*. 2004. № 1. С. 56-60.

49. Монарх В. В. Аналіз асортименту рослин оранжереї ботанічного саду "Поділля" Вінницького Національного аграрного університету. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30. № 1. С. 19-24. DOI: 10.36930/40300103
50. Гродзинський А. М., Сніжко В. В. Фітодизайн. Наукове використання вищих рослин у середовищі перебування людини. Київ: Наукова думка, 1987. 37 с.
51. Кузнецов С.І., Червченко Т.М. А.М. Гродзинський щодо проблем зеленого будівництва та паркознавства в Україні. *Інтродукція рослин*. 2001. № 1-2. С. 24-28.
52. Гродзинський А.М. Серед природи і в лабораторії. Київ: Наукова думка, 1983. 60 с.
53. Сніжко В.В., Харитонова І.П. Розвиток ідей А.М. Гродзинського про фітодизайн. *Інтродукція рослин*. 2006, № 4. С. 35-39.
54. Заїменко Н. В. Наукові принципи структурно-функціонального конструювання штучних біогеоценозів (в системі: ґрунт – рослина – ґрунт): автореф. дис. ... докт. біол. наук: 03.00.16. Київ. 2001. 36. 16 с.
55. Кучерявий О.В. Становлення та розвиток аллопатії в Україні: сільськогосподарський аспект (друга половина ХХ-початок ХХІ ст.): дис...канд. іст. наук: 07.00.07. Переяслав, 2020. 246 с.
56. Харитонова І.П. Функціональні особливості кореневої системи дослідних видів рослин за різних умов зовнішнього середовища. *Інтродукція рослин*. 2014. № 1. С. 101-109.
57. Буюн Л.І., Іванніков Р.В., Якимець В.М., Степаньков Р.С., Харитонова І.П., Кожокару А.А. Фітомодульний кластер як структурний елемент інтер'єру внутрішніх приміщень різного функціонального призначення. *Nauka innov*. 2020. Т. 16. № 4. С. 87–101.
58. Дяченко Я.М. Використання у фітодизайні інтер'єрів заповідних дендрозооекзотів in vivo Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20.1. С. 25-30.
59. Заїменко Н.В. Наукові принципи структурно-функціонального конструювання штучних біогеоценозів у системі ґрунт – рослина – ґрунт. Київ. 2008. 304 с.
60. Офіційний сайт Plant Studio. URL: <https://www.plantstudio.ac/> (дата звернення: 17.04.2024).

---

---

# ЗМІНА КЛІМАТУ

---

---

УДК 551.524-022.2.551.577.578(477.42)  
DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.32>

## КОЕФІЦІЄНТИ СУТТЄВОСТІ ВІДХИЛЕНЬ СЕРЕДНЬОМІСЯЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ТА КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ В МІСТІ ЖИТОМИР

Пацева І.Г., Кагукіна А.М.

Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир  
[ke\\_kham@ztu.edu.ua](mailto:ke_kham@ztu.edu.ua)

В статті визначено коефіцієнти суттєвості відхилень середньомісячних температур повітря та кількості опадів від середніх багаторічних показників за 2014-2024 рр. (за 2024 р. враховані лише показники січня, лютого та березня).

Досліджено, що коефіцієнти суттєвості відхилень від середніх багаторічних показників середньої температури повітря складають 28,6% місяців ( $K_c=0+1$ ), 32,8% місяців ( $K_c=1+2$ ), 38,6% місяців ( $K_c>2$ ). Коефіцієнти суттєвості відхилень від середніх багаторічних показників кількості опадів складають 65,3% місяців ( $K_c=0+1$ ), 23,7% місяців ( $K_c=1+2$ ), 11% місяців ( $K_c>2$ ). Отримані показники вказують зміну клімату в бік потепління. Максимальні значення коефіцієнту суттєвості відхилень температури повітря від багаторічних значень відмічено у серпні місяці протягом досліджуваного періоду та відповідали показникам ( $K_c=2,04-5,5$ ), найбільше відхилення спостерігається в 2023 році відповідає показнику  $K_c=5,5$ . Визначені коефіцієнти вказують на зміни в кліматі.

Виникнення екстремальних показників загрожує довкіллю. Є потреба розглядати можливі шляхи боротьби зі зміною клімату та впроваджувати нові технології, які допоможуть адаптуватися до нових погодних умов.

Військові дії мають потенціал погіршити вже існуючу ситуацію зі зміною клімату та призвести до серйозних наслідків для довкілля. Необхідно уникати конфліктів та здійснювати заходи для збереження та охорони природних ресурсів навіть у періоди напруженості.

Зміна клімату вже має відчутні наслідки для України та матиме ще більш серйозні у майбутньому. Необхідно вживати заходів із скорочення викидів парникових газів, розвивати відновлювані джерела енергії, проводити модернізацію сільського господарства та критичної інфраструктури для пом'якшення та адаптації до кліматичних змін.

Потрібно розуміти, що зміна клімату – це проблема, яка стосується кожного з нас, і лише спільними зусиллями ми зможемо зупинити її негативні наслідки для нашої планети та майбутніх поколінь. В таких умовах, важливими є посилення екологічної свідомості населення. *Ключові слова:* зміна клімату, коефіцієнт суттєвості відхилень, опади, температура повітря, адаптація до кліматичних змін, екологічна свідомість населення, потепління.

### **Coefficients of significance of average monthly indicators' deviations in air temperature and precipitation in the city of Zhytomyr. Patseva I., Kahukina A.**

The article addresses the coefficients of significance of average monthly deviations in air temperatures and precipitation from average long-term indicators over the period of 2014-2024 (for 2024, only January, February and March indicators are taken into account).

It was found that the coefficients of significance of the average long-term indicators' deviations in the average air temperature are 28.6% of the months ( $C_s=0+1$ ), 32.8% of the months ( $C_s=1+2$ ), 38.6% of the months ( $C_s>2$ ). The coefficients of significance of the average long-term indicators' deviations in the precipitation amount are 67.1% of the months ( $C_s=0+1$ ), 23% of the months ( $C_s=1+2$ ), 9.9% of the months ( $C_s>2$ ). The obtained indicators suggest a shift in the climate towards increased warming. The maximum values of the coefficient of significance in air temperature deviations from long-term values were observed in August during the studied period and corresponded to the indicators ( $C_s=2.04-5.5$ ), the most significant deviation observed in 2023 corresponds to the indicator  $C_s=5.5$ . The established coefficients indicate changes in the climate.

The occurrence of extreme indicators threatens the environment. Hence, a pressing necessity exists to consider possible ways to combat climate change and introduce new technologies that will help adapt to new weather conditions.

Military intervention carries the capacity to exacerbate the current climate crisis and give rise to severe environmental consequences. Conflicts ought to be avoided, and efforts should be made to conserve and safeguard natural resources even amidst the times of discord.

Climate change is already having tangible impacts on Ukraine and is poised to have even more severe consequences in the future. Thus, it is necessary to implement strategies aimed at decreasing greenhouse gas emissions, promoting the use of renewable energy sources, updating agricultural practices, and enhancing critical infrastructure in order to address and respond to the challenges posed by the climate change.

It is expedient to perceive the climate change as a problem that affects each of us. However, only by joint efforts will we be able to stop its negative consequences for our planet and future generations. Given the above, it is imperative to enhance the population's environmental awareness. *Key words:* climate change, coefficient of significance of deviations, precipitation, air temperature, adaptation to climate change, population's ecological consciousness, warming.

**Постановка проблеми.** Зміна клімату – одна з найбільших проблем в сучасному світі. Адаптація до зміни клімату може включати в себе різноманітні заходи, такі як побудова міцних інфраструктур, які можуть витримувати екстремальні погодні умови, впровадження нових технологій для зменшення впливу на зміну клімату, а також розвиток планів екстрених ситуацій та підвищення свідомості громадськості про кліматичні зміни [1]. Також, важливо враховувати потенційні наслідки зміни клімату на стан здоров'я людей, екосистеми та економіку. Зміна клімату може погіршити якість повітря та води, що може призвести до збільшення випадків захворювань дихальних шляхів та інших захворювань [2]. Тому важливо приділяти увагу адаптації до зміни клімату з метою збереження здоров'я населення.

**Актуальність дослідження.** Зміна клімату може мати серйозні наслідки для довкілля [3]. Збільшення температури може спричинити підняття рівня океану, що призведе до затоплення узбережжя та втрати біорізноманіття у водоймах [4]. Крім того, зміни клімату можуть призвести до посух, повеней, засух та інших екстремальних погодних умов, що загрожують рослинному і тваринному світу. Навіть мікроклімати можуть бути порушені, що має негативні наслідки для вегетації та екосистем загалом [5]. Зміна клімату може вплинути на якість повітря та води, що може призвести до забруднення навколишнього середовища та загрози здоров'ю людей [6].

Зміна клімату є однією з найбільших загроз для нашої планети, а військові дії поглиблюють цю проблему. Національні конфлікти можуть спричинити значні збитки довкіллю через викиди шкідливих

газів, забруднення водних ресурсів, руйнування лісів та екосистем. Наприклад, підпал лісів або знищення екологічних об'єктів можуть призвести до збільшення викидів CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин в атмосферу, що може призвести до збільшення ефекту парникового газу та загострення зміни клімату. Крім того, військові конфлікти можуть призвести до негативних наслідків для природних ресурсів. Розчистка лісів або забруднення водних джерел та ґрунтів внаслідок обстрілів чи виливів небезпечних речовин призводить до порушення балансу природних екосистем та загрожує біорізноманіттю [7].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Науковці підтверджують [8-11], що зростання температури на Землі відбувається через людську діяльність, зокрема викиди парникових газів [12]. Це призводить до різноманітних наслідків, таких як підвищення рівня моря, зміни в рослинному покриві та збільшення кількості екстремальних погодних явищ. Зміна клімату може мати серйозний вплив на здоров'я людей. Наприклад, збільшення температур може призвести до збільшення випадків загострень хронічних хвороб, включаючи хвороби серцево-судинної системи, які займають перше місце серед основних причин смертності серед всіх хвороб.

**Викладення основного матеріалу.** Згідно даних Рис. 1 максимальні значення коефіцієнту суттєвості відхилення температури повітря від багаторічних значень відмічено у серпні місяці протягом досліджуваного періоду та відповідали показникам ( $K_c=2,04-5,5$ ), найбільше відхилення спостерігається в 2023 році відповідає показнику  $K_c=5,5$ .

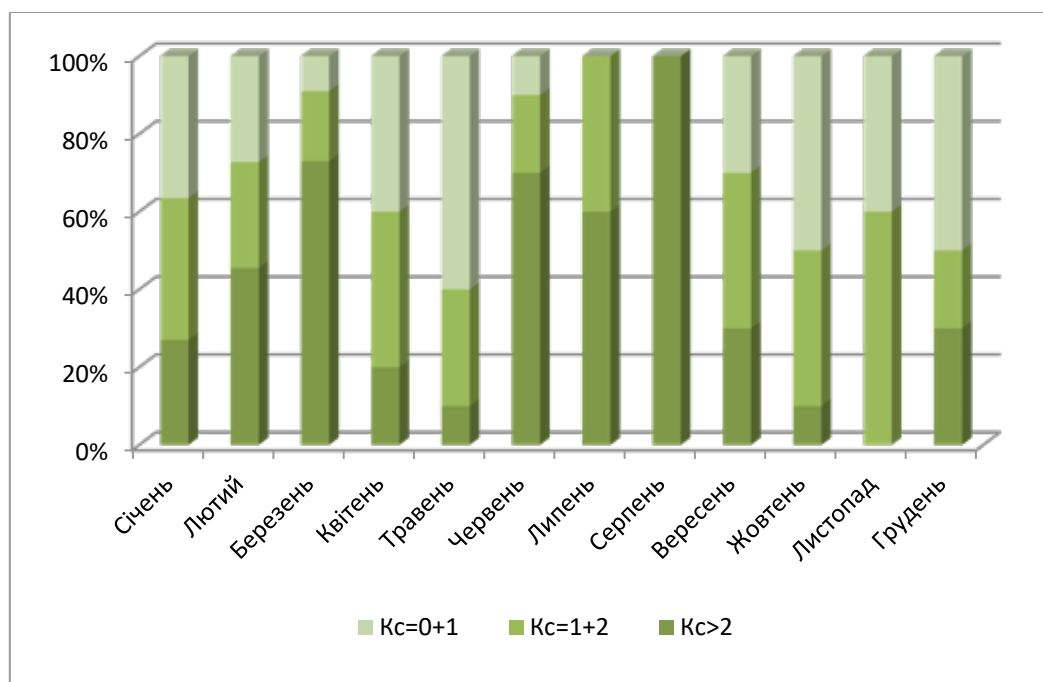


Рис. 1. Коефіцієнти суттєвості відхилення середньої температури повітря 2014-2024 рр. від середніх багаторічних показників

При визначенні значення коефіцієнтів суттєвості відхилень температури повітря, за досліджуванний період 2014-2024 рр. (за 2024 р. враховані лише показники січня, лютого та березня) [13]. Було встановлено, що 28,6% місяців, мають умови близькі до звичайних ( $K_c=0+1$ ), а саме в січні<sub>2019</sub> ( $K_c=0,7$ ), січні<sub>2017</sub> ( $K_c=0,4$ ), січні<sub>2016</sub> ( $K_c=0,4$ ), січні<sub>2014</sub> ( $K_c=0,5$ ), лютому<sub>2021</sub> ( $K_c=0,7$ ), лютому<sub>2018</sub> ( $K_c=0,2$ ), лютому<sub>2017</sub> ( $K_c=0,6$ ), березні<sub>2018</sub> ( $K_c=-0,7$ ), квітні<sub>2023</sub> ( $K_c=0,7$ ), квітні<sub>2022</sub> ( $K_c=-0,1$ ), квітні<sub>2021</sub> ( $K_c=-0,1$ ), квітні<sub>2015</sub> ( $K_c=0,8$ ), травні<sub>2023</sub> ( $K_c=0,8$ ), травні<sub>2022</sub> ( $K_c=0,3$ ), травні<sub>2021</sub> ( $K_c=-0,1$ ), травні<sub>2017</sub> ( $K_c=0,2$ ), травні<sub>2016</sub> ( $K_c=0,6$ ), травні<sub>2015</sub> ( $K_c=0,9$ ), червні<sub>2014</sub> ( $K_c=0,2$ ), вересні<sub>2022</sub> ( $K_c=-0,37$ ), вересні<sub>2014</sub> ( $K_c=0,5$ ), жовтні<sub>2021</sub> ( $K_c=0,2$ ), жовтні<sub>2017</sub> ( $K_c=0,4$ ), жовтні<sub>2016</sub> ( $K_c=-0,5$ ), жовтні<sub>2015</sub> ( $K_c=-0,3$ ), жовтні<sub>2014</sub> ( $K_c=0,1$ ), листопаді<sub>2018</sub> ( $K_c=0,4$ ), листопаді<sub>2017</sub> ( $K_c=0,9$ ), листопаді<sub>2016</sub> ( $K_c=0,4$ ), листопаді<sub>2014</sub> ( $K_c=0,1$ ), грудні<sub>2018</sub> ( $K_c=0,7$ ), грудні<sub>2017</sub> ( $K_c=0,7$ ), грудні<sub>2016</sub> ( $K_c=0,7$ ), грудні<sub>2014</sub> ( $K_c=0,5$ ).

32,8% місяців характеризувалися умовами, що істотно відрізнялись від середніх багаторічних ( $K_c=1+2$ ), а саме січні<sub>2024</sub> ( $K_c=1,6$ ), січні<sub>2022</sub> ( $K_c=1,9$ ), січні<sub>2021</sub> ( $K_c=1,4$ ), січні<sub>2018</sub> ( $K_c=1,4$ ), лютому<sub>2023</sub> ( $K_c=1,6$ ), лютому<sub>2015</sub> ( $K_c=1,5$ ), лютому<sub>2014</sub> ( $K_c=1,5$ ), березні<sub>2021</sub> ( $K_c=1,1$ ), березні<sub>2016</sub> ( $K_c=1,9$ ), квітні<sub>2020</sub> ( $K_c=1,1$ ), квітні<sub>2019</sub> ( $K_c=1,5$ ), квітні<sub>2017</sub> ( $K_c=1,4$ ), квітні<sub>2014</sub> ( $K_c=1,4$ ), травні<sub>2020</sub> ( $K_c=-1,3$ ), травні<sub>2019</sub> ( $K_c=1,3$ ), травні<sub>2014</sub> ( $K_c=1,4$ ), червні<sub>2023</sub> ( $K_c=1,5$ ), червні<sub>2017</sub> ( $K_c=1,8$ ), липні<sub>2022</sub> ( $K_c=1,8$ ), липні<sub>2019</sub> ( $K_c=1,1$ ), липні<sub>2018</sub> ( $K_c=1,9$ ), липні<sub>2017</sub> ( $K_c=1,5$ ), вересні<sub>2021</sub> ( $K_c=-1,2$ ), вересні<sub>2019</sub> ( $K_c=1,2$ ), вересні<sub>2018</sub> ( $K_c=1,5$ ), вересні<sub>2017</sub> ( $K_c=1,6$ ), вересні<sub>2016</sub> ( $K_c=1,3$ ), жовтні<sub>2023</sub> ( $K_c=1,9$ ), жовтні<sub>2022</sub> ( $K_c=1,6$ ), жовтні<sub>2019</sub>

( $K_c=1,6$ ), жовтні<sub>2018</sub> ( $K_c=1,2$ ), листопаді<sub>2023</sub> ( $K_c=1$ ), листопаді<sub>2022</sub> ( $K_c=1,1$ ), листопаді<sub>2021</sub> ( $K_c=1,6$ ), листопаді<sub>2020</sub> ( $K_c=1,2$ ), листопаді<sub>2019</sub> ( $K_c=1,8$ ), листопаді<sub>2015</sub> ( $K_c=1,3$ ), грудні<sub>2022</sub> ( $K_c=1,2$ ), грудні<sub>2020</sub> ( $K_c=1,6$ ).

38,6% місяців відрізнялися умовами наближеними до рідкісних ( $K_c > 2$ ), а саме січні<sub>2023</sub> ( $K_c=2,5$ ), січні<sub>2020</sub> ( $K_c=2,6$ ), січні<sub>2015</sub> ( $K_c=2,2$ ), лютому<sub>2020</sub> ( $K_c=2,6$ ), лютому<sub>2019</sub> ( $K_c=2,2$ ), лютому<sub>2016</sub> ( $K_c=2,7$ ), березні<sub>2024</sub> ( $K_c=2,4$ ), березні<sub>2023</sub> ( $K_c=2,2$ ), березні<sub>2022</sub> ( $K_c=2$ ), березні<sub>2020</sub> ( $K_c=2,5$ ), березні<sub>2019</sub> ( $K_c=2,4$ ), березні<sub>2015</sub> ( $K_c=2,3$ ), березні<sub>2014</sub> ( $K_c=2,9$ ), квітні<sub>2018</sub> ( $K_c=3,9$ ), квітні<sub>2016</sub> ( $K_c=2,9$ ), травні<sub>2018</sub> ( $K_c=2,9$ ), червні<sub>2022</sub> ( $K_c=2,5$ ), червні<sub>2021</sub> ( $K_c=2,6$ ), червні<sub>2020</sub> ( $K_c=2,8$ ), червні<sub>2019</sub> ( $K_c=4,1$ ), червні<sub>2018</sub> ( $K_c=2,3$ ), червні<sub>2016</sub> ( $K_c=2,6$ ), червні<sub>2015</sub> ( $K_c=2,1$ ), липні<sub>2023</sub> ( $K_c=2,3$ ), липні<sub>2021</sub> ( $K_c=4,6$ ), липні<sub>2020</sub> ( $K_c=2,1$ ), липні<sub>2016</sub> ( $K_c=2,8$ ), липні<sub>2015</sub> ( $K_c=2,6$ ), липні<sub>2014</sub> ( $K_c=2,2$ ), серпні<sub>2023</sub> ( $K_c=5,5$ ), серпні<sub>2022</sub> ( $K_c=3,7$ ), серпні<sub>2021</sub> ( $K_c=2,1$ ), серпні<sub>2020</sub> ( $K_c=2,9$ ), серпні<sub>2019</sub> ( $K_c=2,8$ ), серпні<sub>2018</sub> ( $K_c=4,1$ ), серпні<sub>2017</sub> ( $K_c=3,7$ ), серпні<sub>2016</sub> ( $K_c=2,9$ ), серпні<sub>2015</sub> ( $K_c=4,1$ ), серпні<sub>2014</sub> ( $K_c=2,6$ ), вересні<sub>2023</sub> ( $K_c=2,7$ ), вересні<sub>2020</sub> ( $K_c=2,1$ ), вересні<sub>2015</sub> ( $K_c=2,2$ ), жовтні<sub>2020</sub> ( $K_c=2,4$ ), грудні<sub>2023</sub> ( $K_c=2,2$ ), грудні<sub>2019</sub> ( $K_c=3,1$ ), грудні<sub>2015</sub> ( $K_c=2,7$ ).

За розрахованим коефіцієнтом суттєвості відхилень кількості опадів у розрізі досліджуваних років (Рис. 2) було визначено, що умови відрізняються від багаторічних показників [13,14]. Зокрема, 11% місяців відрізняються умовами наближеними до рідкісних ( $K_c > 2$ ), серед них грудень<sub>2017</sub> ( $K_c=2,3$ ), червень<sub>2021</sub> ( $K_c=2,9$ ), березень<sub>2024</sub> ( $K_c=2,4$ ), березень<sub>2023</sub> ( $K_c=3,4$ ), березень<sub>2021</sub> ( $K_c=5,5$ ), березень<sub>2018</sub> ( $K_c=5,9$ ), березень<sub>2017</sub> ( $K_c=4,5$ ), серпень<sub>2023</sub> ( $K_c=-2,1$ ), серпень<sub>2019</sub> ( $K_c=-2,5$ ), серпень<sub>2016</sub> ( $K_c=-2,42$ ), сер-

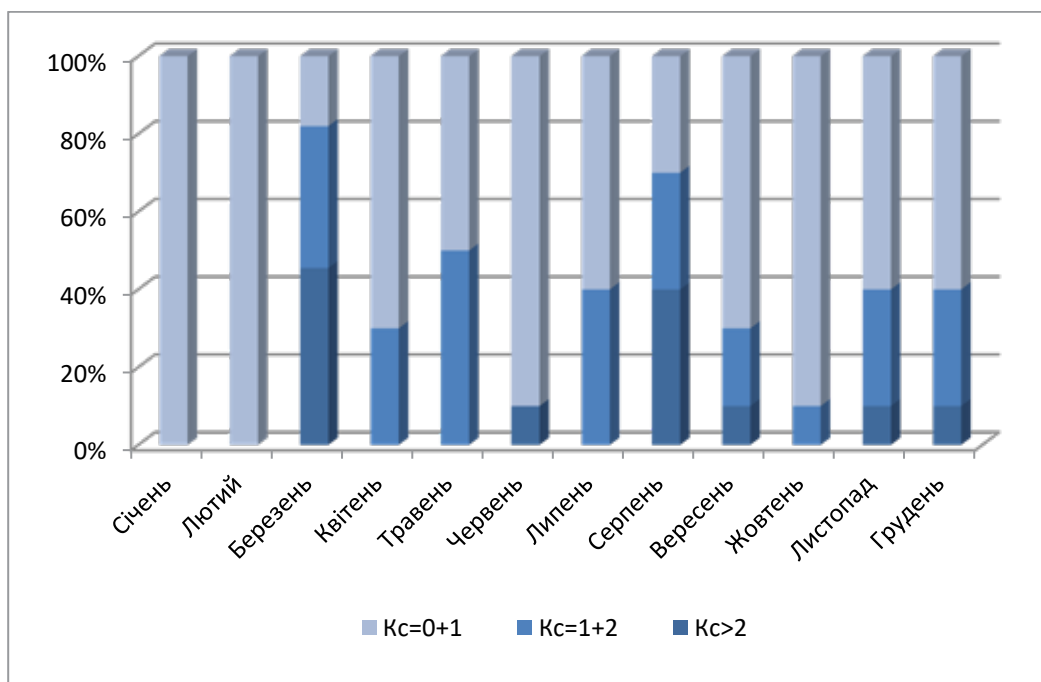


Рис. 2. Коефіцієнти суттєвості відхилень кількості опадів за 2014-2024 рр. від середніх багаторічних показників



пень<sub>2015</sub> (Kc=-2,7), вересень<sub>2022</sub> (Kc=2,3), листопад<sub>2023</sub> (Kc=2).

Відсоток місяців які мають умови, що істотно відрізняються від середніх багаторічних (Kc=1+2), складає 23,7%, а саме жовтень<sub>2020</sub> (Kc=1,2), листопад<sub>2022</sub> (Kc=-1,2), листопад<sub>2016</sub> (Kc=1,04), листопад<sub>2015</sub> (Kc=1,05), грудень<sub>2022</sub> (Kc=-1,3), грудень<sub>2021</sub> (Kc=1), грудень<sub>2018</sub> (Kc=1,2), травень<sub>2023</sub> (Kc=-1), травень<sub>2020</sub> (Kc=1,47), травень<sub>2019</sub> (Kc=1,6), травень<sub>2016</sub> (Kc=1,1), травень<sub>2014</sub> (Kc=1,2), квітень<sub>2023</sub> (Kc=1,8), квітень<sub>2018</sub> (Kc=-1,3), квітень<sub>2016</sub> (Kc=-1,5), березень<sub>2022</sub> (Kc=-1,9), березень<sub>2020</sub> (Kc=-1,8), березень<sub>2019</sub> (Kc=-1,6), березень<sub>2014</sub> (Kc=-1,9), вересень<sub>2016</sub> (Kc=-1,3), вересень<sub>2014</sub> (Kc=-1,2), серпень<sub>2018</sub> (Kc=-1,4), серпень<sub>2017</sub> (Kc=-1,2), серпень<sub>2014</sub> (Kc=-1,4), липень<sub>2022</sub> (Kc=-1,4), липень<sub>2021</sub> (Kc=-1,5), липень<sub>2018</sub> (Kc=1,5), липень<sub>2015</sub> (Kc=-1,5).

Решта досліджуваних місяців, а саме 65,3% мають умови близькі до звичайних (Kc=0+1), серед них січень<sub>2024</sub> (Kc=0,01), січень<sub>2023</sub> (Kc=-0,1), січень<sub>2022</sub> (Kc=0,5), січень<sub>2021</sub> (Kc=0,7), січень<sub>2020</sub> (Kc=-0,2), січень<sub>2019</sub> (Kc=0,4), січень<sub>2018</sub> (Kc=0,004), січень<sub>2017</sub> (Kc=0,3), січень<sub>2016-2014</sub> (Kc=0,5), лютий<sub>2024</sub> (Kc=0,5), лютий<sub>2023</sub> (Kc=0,1), лютий<sub>2022</sub> (Kc=-0,1), лютий<sub>2021</sub> (Kc=0,5), лютий<sub>2020</sub> (Kc=0,02), лютий<sub>2019</sub> (Kc=-0,2), лютий<sub>2018</sub> (Kc=0,3), лютий<sub>2017</sub> (Kc=0,3), лютий<sub>2016</sub> (Kc=0,4), лютий<sub>2015</sub> (Kc=-0,1), лютий<sub>2014</sub> (Kc=-0,3), березень<sub>2016</sub> (Kc=-0,9), березень<sub>2015</sub> (Kc=0,2), квітень<sub>2022</sub> (Kc=0,9), квітень<sub>2021</sub> (Kc=-0,9), квітень<sub>2020</sub> (Kc=-0,9), квітень<sub>2019</sub> (Kc=0,2), квітень<sub>2017</sub> (Kc=-0,5), квітень<sub>2015</sub> (Kc=-0,6), квітень<sub>2014</sub> (Kc=0,1), травень<sub>2022</sub> (Kc=0,1), травень<sub>2021</sub> (Kc=-0,6), травень<sub>2018</sub> (Kc=-0,7), травень<sub>2017</sub> (Kc=-0,5), травень<sub>2015</sub> (Kc=0,04), червень<sub>2023</sub> (Kc=-0,3), червень<sub>2022</sub> (Kc=-0,6), червень<sub>2020</sub> (Kc=0,4), червень<sub>2019</sub> (Kc=-0,6), червень<sub>2018</sub> (Kc=0,3), червень<sub>2017-2016</sub> (Kc=-0,9), червень<sub>2015</sub> (Kc=-0,3), червень<sub>2014</sub> (Kc=-0,6), липень<sub>2023</sub> (Kc=-0,7), липень<sub>2020-2019</sub> (Kc=-0,8), липень<sub>2017-2016</sub> (Kc=-0,6), липень<sub>2014</sub> (Kc=0,8), серпень<sub>2022</sub> (Kc=-0,6), серпень<sub>2021</sub> (Kc=0,4), сер-

пень<sub>2020</sub> (Kc=-0,7), вересень<sub>2023</sub> (Kc=-0,6), вересень<sub>2021</sub> (Kc=-0,2), вересень<sub>2020</sub> (Kc=0,01), вересень<sub>2019</sub> (Kc=-0,7), вересень<sub>2018</sub> (Kc=0,03), вересень<sub>2017</sub> (Kc=0), вересень<sub>2015</sub> (Kc=-0,5), жовтень<sub>2023</sub> (Kc=0,4), жовтень<sub>2022</sub> (Kc=0,3), жовтень<sub>2021</sub> (Kc=-0,9), жовтень<sub>2019</sub> (Kc=-0,4), жовтень<sub>2018</sub> (Kc=-0,01), жовтень<sub>2017</sub> (Kc=0,6), жовтень<sub>2016</sub> (Kc=0,4), жовтень<sub>2015</sub> (Kc=0,3), жовтень<sub>2014</sub> (Kc=-0,7), листопад<sub>2021</sub> (Kc=-0,7), листопад<sub>2020</sub> (Kc=-0,5), листопад<sub>2019</sub> (Kc=-0,7), листопад<sub>2018</sub> (Kc=-0,5), листопад<sub>2017</sub> (Kc=0,06), листопад<sub>2014</sub> (Kc=-0,2), грудень<sub>2023</sub> (Kc=0,3), грудень<sub>2020</sub> (Kc=0,03), грудень<sub>2019</sub> (Kc=-0,2), грудень<sub>2016</sub> (Kc=0,4), грудень<sub>2015</sub> (Kc=-0,3), грудень<sub>2014</sub> (Kc=0,07).

**Головні висновки.** Градація коефіцієнтів суттєвості відхилень від середніх багаторічних показників середньої температури повітря складає 28,6% місяців (Kc=0+1), 32,8% місяців (Kc=1+2), 38,6% місяців (Kc>2) та відповідно кількості опадів складає 65,3% місяців (Kc=0+1), 23,7% місяців (Kc=1+2), 11% місяців (Kc>2). Визначені показники вказують зміну клімату в бік потепління.

Для боротьби з цією проблемою необхідно вжити невідкладних заходів. Серед них – зменшення викидів CO<sub>2</sub>, перехід на відновлювані джерела енергії, підтримка екологічних ініціатив та збереження лісів. Кожен з нас може внести свій внесок, зменшуючи власний вуглецевий слід та підтримуючи екологічно чисті технології.

Військові дії мають потенціал погіршити вже існуючу ситуацію зі зміною клімату та призвести до серйозних наслідків для довкілля. Необхідно уникати конфліктів та здійснювати заходи для збереження та охорони природних ресурсів навіть у періоди напруженості.

Зміна клімату – це проблема, яка стосується кожного з нас, і лише спільними зусиллями ми зможемо зупинити її негативні наслідки для нашої планети та майбутніх поколінь.

### Література

1. Шевченко О., Сніжко С. Зміна клімату та українські міста: прояви та проєкції до кінця XXI століття на основі RCP-сценаріїв. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2019. № 2(75). С. 11–18.
2. Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луцьова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156–159.
3. Краковська С.В. Проєкції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в XXI столітті. *Наук. пр. Укр. н.-д. гідрометеорол. ін-ту*. 2016. Вип. 268. С. 33–44.
4. Herasymchuk L.O., Valerko R.A. Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year period. Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science: Collective monograph. Riga: Baltija Publishing, 2020. P. 1. pp. 85–101.
5. Пацева І.В., Кагукіна А.М. Адаптація до зміни клімату міста Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 3. С. 66–72.
6. Луцьова О.В., Кагукіна А.М. Аналіз антропогенного забруднення Житомирського регіону. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 3(48). С. 48–52.
7. Kireitseva H., Demchuk L., Paliy O., Kahukina A. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80. pp. 267–276.
8. Herasymchuk L.O., Valerko R.A., Patseva I.G. Air temperature change manifestation at the Zhytomyr territory. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*. 2023. Vol. 29. P. 6–16.
9. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Мартенюк Г.М. Тенденції зміни клімату на території м. Новоград-Волинський Житомирської області. *Наукові горизонти*. 2018. № 2 (65). С. 42–50.

10. Марущак М. І., Криницька І. Я., Руденко О. В., Габор Г. Г. Особливості зміни клімату у місті Тернопіль: чи відображають регіональні зміни глобальні процеси? *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2017. № 2(72). С. 62–68.
11. Шевченко О.Г. Прояв зміни клімату на території м. Києва та основні підходи до його адаптації. *Часопис картографії*. 2017. Вип. 17. С. 95–109.
12. Дідух Я. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії. *Вісник НАН України*. 2009. № 2. С. 34–44.
13. Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями. *Метеопост* URL: [https://meteopost.com/weather/climate/#google\\_vignette](https://meteopost.com/weather/climate/#google_vignette) (дата звернення: 1.04.2024).
14. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. URL: <http://surl.li/hfgsf> (дата звернення: 11.04.2024).

---

# ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

---

УДК 35.975(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.33>

## СТРАТЕГІЧНЕ БАЧЕННЯ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ДЕРЖАВОТВОРЕННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА ЗГУРТОВАНOSTІ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В УКРАЇНІ

Воротін В.Є.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
[vevorotin@gmail.com](mailto:vevorotin@gmail.com)

Науково обґрунтовані висновки, що еколого-ефективний розвиток суспільства неможливий без здійснення реальної децентралізації, зміцнення самоврядування в Україні та залучення територіальних громад до формування, впровадження політики (стратегічного бачення) регіонального розвитку, зокрема, в сфері екології. На сьогодні в Україні тривають процеси формування нової державної регіональної політики, зокрема на засадах використання саме екологічних механізмів публічного управління та законодавчого забезпечення в умовах воєнного стану та впровадження європейських норм (регламентів) у цій сфері суспільних відносин. Метою такого формування є створення належних умов для поліпшення якості життя людини, екологізації та додержання гарантованих державою соціальних стандартів для кожного громадянина незалежно від його місця проживання, завдяки забезпеченню територіально цілісного та збалансованого розвитку України, інтеграції регіонів в єдиний економічний, політичний, правовий, інформаційний та культурний простір, максимально повного використання їхнього потенціалу з урахуванням природних, політичних, історичних, культурних, соціальних та інших особливостей, підвищення конкурентоспроможності регіонів і реалізації дієвого самоуправління.

Державна стратегія регіонального розвитку на 2021-2027 роки, що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 5 серпня 2020 р. № 695 є основним планувальним документом для реалізації секторальних стратегій розвитку, координації державної політики в різних сферах, досягнення ефективності використання державних ресурсів у територіальних громадах і регіонах в інтересах людини, єдності держави, сталого розвитку історичних населених місць та збереження традиційного характеру історичного середовища, збереження навколишнього природного середовища та сталого використання природних ресурсів для нинішніх та майбутніх поколінь українців [1].

Зазначається, що найвагоміші виклики, на які держава має реагувати шляхом вироблення та реалізації державної регіональної політики, – це неспроможність більшості територіальних громад самостійно вирішувати питання, віднесені до їх повноважень. Підкреслено, що в цілому, передавати повноваження та відповідальність за екологічність регіонального розвитку на органи місцевого самоврядування не можна допоки не буде створена дієва та ефективна система місцевого самоврядування і, перш за все, дійсно спроможна та економіко-екологічна стійка територіальна громада. *Ключові слова:* екологічне публічне управління та адміністрування, екологічна політика, стратегічне планування, органи влади, регіональний розвиток.

### **Strategic vision of European state-building and environmental component of public administration cohesion in Ukraine.** Vorotin V.

Currently, the process of forming a new state regional policy is taking place in Ukraine, in particular on the basis of the use of ecological mechanisms of public administration and legislative support in the conditions of martial law and the implementation of European norms (regulations) in this sphere of public relations. The purpose of such formation is to create conditions for improving the quality of human life, environmentalization and compliance with state-guaranteed social standards for every citizen regardless of his place of residence, through ensuring territorially integral and balanced development of Ukraine, integration of regions into a single economic, political, legal, informational and cultural space, maximum full use of their potential, taking into account natural, political, historical, cultural, social and other features, increasing the competitiveness of regions and implementing effective self-government.

The article substantiates that ecologically effective development cannot be realized without real decentralization, strengthening of self-government in Ukraine and the involvement of territorial communities in the formation and implementation of the policy (strategic vision) of regional development, in particular in the field of ecology.

The State Strategy for Regional Development for 2021-2027, which was approved by Resolution No. 695 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 5, 2020, is the main planning document for the implementation of sectoral development strategies, coordination of state policy in various areas, achieving the efficiency of the use of state resources in territorial communities and regions in the interests of people, the unity of the state, the sustainable development of historical settlements and the preservation of the traditional nature of the historical environment, the preservation of the natural environment and the sustainable use of natural resources for the current and future generations of Ukrainians [1].

It has been proven that the most significant challenges to which the state must respond through the development and implementation of state regional policy are the inability of most territorial communities to independently resolve issues within their jurisdiction. In

general, it is impossible to transfer authority and responsibility for environmental sustainability of regional development to local self-government bodies until an effective and efficient system of local self-government and, first of all, a truly capable and economically and ecologically sustainable territorial community is created. *Key words:* environmental public management and administration, environmental policy, strategic planning, authorities, regional development.

### **Постановка проблеми, актуальність.**

Формування нових еколого-економічних та управлінських систем, інститутів у нових геостратегічних реаліях лишається необхідним в складних умовах воєнного стану в Україні. Стратегічне бачення європейського майбутнього держави, дієве та згуртоване екологічне публічне управління (державне управління та місцеве самоврядування) є не просто гаслом, а реальною та визначальною вимогою нашої Перемоги над російським агресором. Цим підтверджується безальтернативність управлінського поступу на шляху формування нації самоврядних громад та муніципалізму як найліпшого способу демократичного та вільного управління в повоєнній європейській державі, зокрема, в контексті використання екологічної складової публічного управління та формування нової системи управління в сфері екології.

Наша регіональна та місцева політики спрямовані на розширення можливостей громад, особливо в умовах воєнного стану. Це додаватиме громадам більше самостійності та еколого-ресурсної потужності. Економічний розвиток та ефективна й розумна регіональна політика сприятимуть досягненню цілей формування всієї системи екологічного публічного управління в державі на основі екологічної складової розвитку та дієвого управління в сфері охорони навколишнього середовища.

Лише децентралізацією неможливо змінити нинішню складну ситуацію, але щоб зробити наші громади сильнішими та успішнішими, потрібні інструменти європейської регіональної політики та циркулярна модель, що використовує умови для екологічного розвитку. Також потрібні нові ресурси та механізми управління для зміцнення потенціалу місцевих управлінських інститутів.

Європейське стратегічне бачення є основою всіх життєдіяльних і екологічних процесів розвитку держави та її територій, важливим етапом процесу **екологічного публічного управління**, що визначає цілі, ефективні методи та засоби, необхідні для досягнення цілей, систему показників, визначаючих хід робіт з досягнення поставлених завдань.

**Аналіз існуючого стану.** Сучасні не зовсім ринкові перетворення, які останнім часом відбуваються в національній економіці, супроводжуються значними інституційними змінами в системі (механізмах і інструментах) публічного управління та адміністрування, зокрема в сфері стратегічного бачення розвитку державотворення на екологічних і безпекових засадах в Україні. Воєнний стан формує особливу та унікальну модель управління в державі та регіонах. Цей досвід стане важливим елементом щодо використання саме української управлінської моделі

в умовах воєнного стану та питань існування самостійності держави. Подальше формування розвинених ринкових відносин у національній господарській практиці з потужними регіонами та субрегіонами – є стратегічним курсом децентралізованої системи публічного управління та адміністрування. В цій системі особлива роль стратегічного бачення еколого-ефективного регіонального розвитку за сучасних умов подальшого реформування всієї управлінської та безпекової системи в Україні не тільки не зменшується, а навпаки, зростає, набуваючи нової якості та дієвості в умовах реальних загроз існування держави.

Отже, для успіху стратегічного планування необхідна згода усіх зацікавлених сторін щодо довготермінової мети (цілі) та чітких термінів виконання завдань і пріоритетів щодо узгоджених завдань розвитку та відновлення. Також кожна стратегія має бути інтегрована до бюджетного процесу, що забезпечить відповідність запланованих заходів, які спрямовані на досягнення результату в рамках наявних і обмежених фінансових ресурсів.

За змістом стратегічне планування – це вибір цілей та орієнтирів, визначення стратегії (напрямку) розвитку, що забезпечать ефективність публічного управління, сталого розвитку країни. Специфіка стратегічного планування як процесу полягає в тому, що однією з його важливих завдань є зменшення невизначеності майбутнього, але не перетворюючись на « нездійсненні бажання чи обіцянки ». На сучасному складному етапі державотворення це потрібно закріплювати законодавчо.

У методологічному значенні, закон розглядаємо як об'єктивний, істотний, необхідний, сталий зв'язок або відношення між явищами. Найістотішою ознакою закону є те, що він відображає об'єктивний стан речей, об'єктивні зв'язки між речами, предметами, явищами. Іншою важливою ознакою закону є необхідність такого зв'язку, що неминуче виявляється в процесі розвитку того чи іншого явища. Закон – це зв'язок між сутностями, який є об'єктивним і необхідним; загальним і внутрішнім; суттєвим і повторювальним.

Будь-яка наука характеризується властивими тільки їй законами та закономірностями. У науці управління також є свої закони та закономірності. Об'єктивні закони управління, на відміну від державних (правових) законів, що регулюють суспільні відносини, це описувані науковою теорією істотні, необхідні та повторювані загальні форми взаємозв'язків між керуючим суб'єктом і керованим об'єктом, між системою управління і соціальним середовищем.

Закони управління виражають необхідність і загальність тих сторін, моментів управлінської діяльності та відносин, які історично складаються, закріплюються і відтворюються в структурі та функціях управління.

Закономірні (законом обумовлені) структурні та функціональні взаємозв'язки не діють з неминучістю, а реалізуються в вигляді тенденцій, що пробиваються через безліч конкретних явищ і обставин, індивідуальних актів поведінки та дій, що підкоряються імовірнісними «правилами гри». Реалізація законів залежить від багатьох умов (змінних), але, перш за все від керуючого суб'єкта, його знань, здібностей, але також і від керованого об'єкта [2].

Роль законів управління визначальна в тому, що вони: утворюють теоретичний фундамент науки; сприяють переходу емпіричного підходу до професійного; дозволяють правильно оцінити виникаючу ситуацію та аналізувати зарубіжний досвід; відображають якісні властивості та зв'язки процесів і явищ, що характеризують відносини управління, а також напрямки їх розвитку. Закони управління виявляють свої вимоги в реалізації принципів управління, функціональному розподілі праці, структурі системи управління, у механізмі та методах управління; в процесі управління.

У наукових дослідженнях управління склалася парадоксальна ситуація: починаючи з 90-х років минулого століття, проблеми законів і закономірностей управління не розглядаються. Це зумовлювалося складнощами перехідного періоду, а нині – умовами воєнного стану.

Науковці публічного управління вважають, що закони та закономірності управління відображають найбільш важливі, необхідні, сталі та повторювані зв'язки явищ і процесів, які допомагають розкрити їх природу, сутність та внутрішній зміст. Закони та закономірності публічного управління розглядаються нерідко як одне поняття, зважаючи на те, що між ними є багато спільного: по-перше, вони носять об'єктивний характер; по-друге, формулюються на підставі розкриття відносин як між суб'єктом і об'єктом управління, так і внутрішніх, притаманних кожному з них, а також зв'язків із зовнішнім середовищем. На думку вчених, ці явища істотно різняться, оскільки закони діють постійно на відміну від закономірностей, які тільки певний час актуальні, зокрема, в умовах воєнного стану чи екологічних ризиків і загроз.

У сфері публічного управління виділяють, зокрема, такі основні закони: єдності системи управління; пропорційності суб'єкта та об'єкта управління; поєднання централізації та децентралізації; співвідносності керуючої та керованої систем [3].

Слід розрізняти поняття закону та закономірностей. Закономірність – це термін, що відображає стан речей, об'єктивно існуючих в реальному світі (закономірності природокористування, екологізації

відносин, взаємодії небесних тіл, хімічних речовин, соціальних спільнот, управлінських структур). Їх пізнання та узагальнення є підставою для формулювання законів як обов'язкової складової будь-якої наукової теорії. Закони управління відображають найбільш суттєві, необхідні, сталі та повторювані зв'язки між елементами системи та учасниками процесів її функціонування та розвитку, що допомагають розкрити їхню природу та внутрішній зміст. Системи управління є відкритими, значний вплив на їх стан справляють фактори зовнішнього оточення, зокрема в сфері екології.

Знаменно, що Європейська рада вирішила розпочати переговори про вступ України до ЄС. Для України відкрились нові можливості, успіх від яких тепер залежить від нас. Відповідно вже сформовані важливі напрями формування дієздатних територіальних громад і реального місцевого самоврядування:

- євроінтеграційні інструменти регіонального та місцевого розвитку;
- посилення спроможностей місцевих інституцій;
- вплив євроінтеграційних процесів на українське бізнес-середовище;
- політика екологічної безпеки на рівні громад.

Безперечно, що дорога до ЄС не буде легкою та попереду чимало труднощів. Тому рух до ЄС – це має бути величезна праця на кожному рівні – національному, регіональному та місцевому. Не буде вмикання тумблера – раз і ми в ЄС. Всі східноєвропейські країни працювали напружено, щоб стати повноправним членом ЄС. Це складний процес, який охоплює комплекс політичних, юридичних, еколого-економічних, культурних і інших управлінських завдань і пріоритетів.

В сучасних умовах воєнного стану, наша мета – перемогти ворога та стати сильними, європейськими, вільними і еколого-економічно конкурентоспроможними.

Відзначимо, що в рекомендаціях Єврокомісії є 9 головних блоків, серед яких на першому місці – реформа публічного управління. А чому не корупція, економіка, судова реформа, про які йдеться в наступних пунктах? Бо без ефективних публічних політик і практик професіоналізації, без інституційної спроможності системи органів місцевого самоврядування та виконавчої влади, ми не зможемо досягти Перемоги та еколого-господарських результатів.

Очевидно, що в таких складних умовах, тематика євроінтеграції стане однією з пріоритетних для всіх суб'єктів державного управління, органів місцевого самоврядування, інститутів громадянського суспільства та представників бізнесу.

Нині багато розмов про **політику згуртованості та її еколого-економічної складової**. Що це? В Україні така згуртованість набирає вже конкретного смислу в умовах війни та реалізації під час повоєнного еколого-економічного відновлення.

Важливо, що Рада ЄС прийняла резолюції, які визначають її позицію щодо ключових механізмів формування механізму координації еколого-економічного розвитку. Висновки ляжуть в основу роботи Європейської Комісії щодо законодавчої підтримки переговорів і політики координації в наступні роки. Підкреслюється, що політика згуртованості має бути ключовим стовпом ЄС і, з цією метою, підтримувати зміцнення економічної, екологічної, соціальної та територіальної інтеграції ЄС і зменшення регіональних диспропорцій.

Хоча політика згуртованості є підходом для всіх регіонів ЄС, менш розвиненим регіонам слід надавати більш цілеспрямовану та адаптовану підтримку. Особливу увагу слід приділяти потребам сільських районів, субрегіонів, які постраждали від індустріалізації, і найменш заселених районів на півночі, а також районів, які страждають від серйозних і постійних природних або демографічних проблем, таких як островні, прикордонні та гірські райони.

Важливо, щоб Європейська Комісія систематично розглядала ресурсно-екологічні потреби віддалених громад і регіонів та вплив своїх законодавчих пропозицій на ці території. Рада також наголошує на необхідності вимірювання та оцінки конкретних екологічних потреб різних типів землі, а також вирішення проблем окремих і проблемних територій.

Нагадуючи про ключову роль політики згуртованості в подоланні останніх криз, Рада ЄС вважає, що вона може адаптуватися до нових і непередбачуваних подій, зберігаючи при цьому свій довгостроковий перехідний характер і структурні цілі еколого-економічного розвитку.

Європейську комісію просять розробити варіанти, які краще допоможуть регіонам протистояти низці нових викликів, включаючи військовий стан, екологічні ризики та загрози, демографічні тенденції, міграцію, зелені та цифрові переходи, а також подальше спрямування інвестицій у реформи, що сприяють зростанню важливості логічного управління.

Рада нагадує про важливість **спільного екологічного управління** та принципу партнерства для скоординованого підходу, а також забезпечення територіального підходу у його розвитку та програмуванні. Це також заохочуватиме зусилля щодо подальшого спрощення екологічного адміністрування механізму координації, одночасно забезпечуючи високі стандарти запобігання та боротьби з шахрайством і корупцією.

Слід зазначити, що Європейська Комісія також намагалася забезпечити взаємодоповнюваність між політикою координації та іншими відповідними європейськими політиками та екологічними ініціативами на етапі їх розробки та полегшити оперативну координацію між програмами, що підтримують співпрацю між місцевими громадами та регіонами.

На нашу думку, сьогодні можна порівняти практичний досвід екологічного управління України та

ЄС у сфері підвищення соціальної згуртованості, провести комплексний аналіз нормативного контролю європейської політики згуртованості та прогалин у регіональній та місцевій еколого-економічній політиці української держави, а також у розробці та апробації концепції координації, а потім і стратегії у сфері управлінських зв'язків з екологічною громадськістю.

Цикл планування на 2021-2027 роки включає п'ять ключових положень ЄС щодо Політики згуртованості (Cohesion Policy). Усі вони спрямовані на інституційну підтримку країн ЄС, зокрема:

1. Регламент (ЄС) 2021/1060 Європейського Парламенту та Ради від 24 червня 2021 року про встановлення загальних положень щодо Європейського фонду регіонального розвитку, Європейського соціального фонду плюс, Фонду згуртованості, Фонду справедливого переходу та Європейського фонду морського судноплавства, рибальства та аквакультури та фінансові правила для них і для Фонду притулку, міграції та інтеграції, Фонду внутрішньої безпеки та Інструменту фінансової підтримки управління кордонами та візової політики.

2. Регламент (ЄС) 2021/1059 Європейського парламенту та Ради від 24 червня 2021 року про спеціальні положення щодо цілей європейського територіального співробітництва (Interreg), які підтримуються Європейським фондом регіонального розвитку та зовнішніми фінансовими інструментами.

3. Регламент (ЄС) 2021/1058 Європейського Парламенту та Ради від 24 червня 2020 року про Європейський фонд регіонального розвитку та Фонд згуртування.

4. Регламент (ЄС) 2021/1057 Європейського Парламенту та Ради від 24 червня 2021 року про заснування Європейського соціального фонду плюс (ESF+) та скасування Регламенту (ЄС) № 1296/2013.

5. Регламент (ЄС) 2021/1056 Європейського Парламенту та Ради від 24 червня 2021 року про створення Фонду справедливого переходу.

А.Ф. Ткачук та його колеги з Інституту громадянського суспільства ретельно та оперативно відпрацювали. Зокрема, оприлюднили текст неофіційного перекладу Регламенту (ЄС) 2021/1056. Європейський Союз створив новий Фонд справедливого переходу (FTF) для підтримки населення, економіки та навколишнього середовища територій, які відчувають серйозні екологічні, економічні та соціальні проблеми, пов'язані з процесом переходу до енергетичних і кліматичних цілей Європейського Союзу до 2030 року [3].

Зокрема, ФСП надає фінансову підтримку проектам реалізації територіального плану справедливого переходу. Його розроблено та затверджено відповідними територіями держав-членів Європейського Союзу. Важливо, щоб ресурси FSP були спрямовані на такі види діяльності:

(а) Ефективне інвестування в МСП, включаючи малі підприємства та стартапи, що веде до диверсифікації економіки, модернізації і реформам.

(б) Інвестиції у створення нових компаній. Це включає бізнес-інкубатори та наставницькі послуги, які сприяють створенню робочих місць.

(в) Інвестиції в науково-дослідну та інноваційну діяльність в тому числі університетами та громадськими дослідницькими організаціями, а також сприяння передачі передових технологій.

(г) Інвестиції в розгортання доступних, чистих енергетичних технологій, систем і інфраструктури, включаючи технологію зберігання енергії та в скороченні викидів парникових газів.

(д) Інвестиції у відновлювані джерела енергії відповідно до Директиви (ЄС) 2018/2001 Європейського Парламенту та Ради, включаючи критерії стійкості, викладені в ньому і з точки зору енергоефективності. У тому числі з метою зменшення енергетичної бідності.

(е) Розумні та стійкі інвестиції в місцевий транспорт. Це передбачає зменшення вуглецевого сліду місцевого транспортного сектору та інфраструктури.

(ж) Реконструкція та модернізація мереж централізованого теплопостачання; підвищити енергоефективність систем централізованого теплопостачання та інвестиції у виробництво тепла. За умови, що обладнання для виробництва тепла постачатиметься виключно з відновлюваних джерел енергії.

(з) Інвестиції в цифровий простір, цифрові інновації та цифрове підключення.

(и) Інвестиції у відновлення та очищення забудованих територій, рекультивуацію земель та зелену інфраструктуру та перепрофільовані проекти в міру необхідності. Врахування принципу платності забруднювачів.

(к) Інвестиції в розвиток циркулярної економіки та особливо через запобігання утворенню відходів, їх зменшення, ефективне використання ресурсів, повторне використання, ремонт і переробку.

(л) Професійний розвиток і перепідготовка працівників і шукачів роботи.

(м) Допомога шукачам роботи в пошуку роботи.

(н) Активна участь шукачів роботи.

(о) Технічна допомога.

(о) Інша діяльність у сфері освіти та соціальної інтеграції. Це включає інвестиції в інфраструктуру для цілей навчальних центрів, догляду за дітьми та людьми похилого віку.

Використання можливостей FSP допоможе Україні прискорити екологічний перехід. Гарантує створення нових робочих місць і сприяє майбутньому технологічному розвитку після Перемоги. Це також сприятиме інтеграції України в економіку ЄС, а також підтримуватиме зусилля щодо досягнення стандартів і цілей ЄС у сферах клімату та енергетики [4].

Варто зазначити, що необхідність формування ефективно екологічного публічного управління в сучасних умовах воєнного стану обумовлює потребу перерозподілу завдань, повноважень і ресурсів на всіх рівнях державного екологічного управління – центральному, регіональному та місцевому у напрямі передавання більш широкого спектру екологічних повноважень відповідно до стандартів і цілей ЄС у екологічній сфері[5].

**Висновки та рекомендації.** В грудні 2023 року був презентований проєкт оновленої Державної стратегії регіонального розвитку, який представляли профільні спеціалісти Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури. На сьогодні в Україні обговорюються цілі та пріоритети регіонального та місцевого розвитку до 2027 року, а також механізми та інструменти підтримки діяльності в сфері відновлення, екології та стратегічного розвитку на різних рівнях публічного управління. До ключових завдань соціально-економічного розвитку регіонів розробники відносять розвиток людського капіталу та регіональної економіки, ліквідацію та відновлення пошкодженої інфраструктури, вивчення впливу на регіональний розвиток зміни навколишнього природного середовища та клімату (зокрема й внаслідок війни).

На думку вчених, нині потребує істотного оновлення вся регіональна система управління, оскільки вона не готова до реальної інтеграції в ЄС. Отже, необхідні практично-вагомні екологічні пропозиції науковців, що сприятимуть успішності в цій частині реформи публічного управління та його складової місцевого самоврядування, яку пропонує ЄС, зокрема, в напрямі формування системи європейського екологічного публічного управління.

### Література

1. Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки / <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#Text>.
2. V. Vorotin. Public Management of Risks and Threats in the Conditions of the Martial Law of the European State. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.1004455> IntechOpen. P. 1-17.
3. РЕГЛАМЕНТ (ЄС) 2021/1059 ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ від 24 червня 2021 року про особливі положення щодо мети «Європейське територіальне співробітництво» (Interreg), що підтримується Європейським фондом регіонального розвитку та інструментами зовнішнього фінансування URL: [https://www.csi.org.ua/wp-content/uploads/2023/12/g-031-a-1-2021\\_1059-interreg\\_ua\\_14122023.pdf](https://www.csi.org.ua/wp-content/uploads/2023/12/g-031-a-1-2021_1059-interreg_ua_14122023.pdf)
4. Регламент Європейського парламенту та Ради від 24 червня 2021 року 2021/1059. Інститут Громадянського Суспільства URL: <https://www.csi.org.ua/news/reglament-yevropejskogo-parlamentu-ta-rady-vid-24-cheravnua-2021-roku-2021-1059/>
5. Державне управління регіональним розвитком України: монографія/ за заг. ред. В.Є. Воротіна, Я.А. Жаліла. – К.: НІСД, 2010. – 288 с.

## ЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ СТІЙКОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

Кірейцева Г.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир  
gef\_kgv@ztu.edu.ua

У статті розглядається актуальна проблема забезпечення доступу до якісної екологічної інформації в контексті досягнення цілей стійкого розвитку України. Об'єктом дослідження є екологічна інформація та її значення для стійкого розвитку України. Проблема, яку необхідно вирішити, полягає в обмеженому доступі до якісної, достовірної та зрозумілої екологічної інформації, що перешкоджає ефективному досягненню цілей стійкого розвитку та формуванню екологічної свідомості громадян. Це питання набуває особливої значущості в умовах загострення екологічних проблем та необхідності переходу до сталих моделей виробництва і споживання.

Результати дослідження показують, що екологічна інформація відіграє ключову роль у досягненні кожної з 17 цілей стійкого розвитку, а також у формуванні екологічної свідомості та стимулюванні переходу до сталих моделей виробництва і споживання. Вона є основою для прийняття обґрунтованих рішень на всіх рівнях – від державної політики до індивідуальної поведінки громадян. Однак в Україні існують проблеми з доступністю, достовірністю та сприйняттям екологічної інформації.

Ці результати пояснюються недосконалістю механізмів збору, обробки та поширення екологічної інформації, браком ефективної комунікації між різними стейкхолдерами, недостатньою увагою до екологічної тематики в освіті та ЗМІ. Також відіграють роль такі фактори, як застарілість та неповнота даних екологічного моніторингу, суперечливість інформації з різних джерел, складність науково-технічної інформації для пересічних громадян тощо.

Для використання цих результатів на практиці необхідно впровадити комплексний підхід, який включає заходи із забезпечення відкритості та зручності екологічних даних, наукової верифікації та фактчекінгу екоінформації, розвитку медіаграмотності та критичного мислення громадян, просування екологічного порядку денного в усіх сферах життя, популяризації екологічних знань з адаптацією контенту для різних аудиторій. Такий підхід дозволить забезпечити доступ до якісної екологічної інформації для всіх зацікавлених сторін та сприятиме досягненню цілей стійкого розвитку України. *Ключові слова:* стійкий розвиток, екологічна безпека, екологічна інформація, екологічна політика, екологічний моніторинг, екологізація.

### **The significance of environmental information for the sustainable development of Ukraine. Kireitseva H.**

The article addresses the pressing issue of providing access to quality environmental information in the context of achieving sustainable development goals in Ukraine. The focus of the research is on environmental information and its significance for Ukraine's sustainable development. The problem that needs to be resolved is the limited access to quality, reliable, and comprehensible environmental information, which hinders the effective achievement of sustainable development goals and the formation of environmental awareness among citizens. This issue becomes particularly significant in the context of escalating environmental problems and the need to transition to sustainable production and consumption models.

The research results show that environmental information plays a key role in achieving each of the 17 sustainable development goals, as well as in forming environmental consciousness and stimulating the transition to sustainable production and consumption models. It forms the basis for making informed decisions at all levels – from state policy to individual behavior of citizens. However, in Ukraine, there are problems with the accessibility, reliability, and perception of environmental information.

These results are explained by the imperfections in the mechanisms for collecting, processing, and disseminating environmental information, a lack of effective communication among various stakeholders, insufficient attention to environmental topics in education and media. Other contributing factors include the obsolescence and incompleteness of environmental monitoring data, conflicting information from different sources, and the complexity of scientific and technical information for the average citizen.

To apply these results in practice, a comprehensive approach is necessary, which includes measures to ensure the openness and convenience of environmental data, scientific verification and fact-checking of environmental information, development of media literacy and critical thinking among citizens, promotion of the environmental agenda in all spheres of life, and popularization of environmental knowledge with content adapted for different audiences. Such an approach will ensure access to quality environmental information for all interested parties and will contribute to achieving sustainable development goals in Ukraine. *Key words:* sustainable development, environmental security, environmental information, environmental policy, environmental monitoring, greening.

**Постановка проблеми.** В умовах зростаючого антропогенного навантаження на навколишнє середовище та загострення екологічних проблем в Україні, досягнення стійкого розвитку країни стає одним із ключових завдань. Стійкий розвиток передбачає збалансоване економічне зростання, соціальний прогрес та захист довкілля. Доступ до достовірної, своєчасної та повної екологічної інформації

є важливою передумовою для прийняття ефективних рішень у сфері охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки. Саме доступ до екологічної інформації має вирішальне значення для забезпечення стійкого розвитку та покращення практичної діяльності громадянського суспільства в Україні [1].



Однак, незважаючи на законодавчо закріплене право громадян на доступ до екологічної інформації, в Україні все ще існують проблеми з її отриманням, розумінням та використанням. Це перешкоджає повноцінній участі громадськості у процесах прийняття екологічно значущих рішень та ускладнює реалізацію принципів стійкого розвитку на практиці. Як зазначає В. Гарашук, інформаційна складова екологічної політики України має вирішальне значення для стійкого розвитку, але існуюча система є неефективною та потребує вдосконалення [2].

Таким чином, дослідження значення екологічної інформації для стійкого розвитку України, аналіз проблем, пов'язаних з її доступністю та використанням, а також пошук шляхів їх вирішення є актуальними завданнями, які потребують ґрунтовного наукового розгляду.

**Актуальність дослідження.** Проблема доступу до екологічної інформації та її значення для стійкого розвитку набуває особливої актуальності в контексті євроінтеграційних процесів в Україні. Угода про асоціацію між Україною та ЄС передбачає гармонізацію українського законодавства з європейськими стандартами, зокрема в сфері охорони навколишнього середовища [3]. Директива 2003/4/ЄС про доступ громадськості до екологічної інформації [4] та Орхуська конвенція [5] встановлюють вимоги щодо забезпечення доступу до екологічної інформації та участі громадськості у прийнятті рішень з питань, що стосуються довкілля.

Дослідження значення екологічної інформації для стійкого розвитку України є актуальним з огляду на необхідність виконання Україною міжнародних зобов'язань та досягнення Цілей стійкого розвитку, затверджених ООН [6]. Як зазначають науковці [7; 8], доступ до екологічної інформації є ключовим фактором для забезпечення ефективного управління в сфері охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та досягнення стійкого розвитку.

Актуальність дослідження підтверджується також і тим, що в Україні все ще існують проблеми з доступом до екологічної інформації, незважаючи на закріплення відповідних прав громадян у Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища» [9] та Законі України «Про доступ до публічної інформації» [10]. Як зазначається у Національній доповіді «Цілі стійкого розвитку: Україна» [11], однією з перешкод на шляху до стійкого розвитку є недостатня обізнаність громадськості з екологічними питаннями та обмежений доступ до екологічної інформації.

Таким чином, дослідження значення екологічної інформації для стійкого розвитку України є актуальним і своєчасним, оскільки воно спрямоване на пошук шляхів подолання існуючих проблем та сприяння реалізації принципів стійкого розвитку в Україні.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання доступу до екологічної інформації та її значення для стійкого розвитку України привертають увагу багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Зокрема, теоретичні та практичні аспекти реалізації права на доступ до екологічної інформації досліджували такі вчені, як Г.В. Анісімова [12], С.М. Кравченко [13], М.В. Краснова [14], Т.О. Коваленко [15] та інші. У роботах зазначених авторів підкреслюється важливість екологічної інформації для забезпечення участі громадськості в прийнятті екологічно значущих рішень та здійсненні контролю за діяльністю держави і суб'єктів господарювання у сфері охорони довкілля. Науковці наголошують на необхідності вдосконалення законодавства України у сфері доступу до екологічної інформації відповідно до європейських стандартів.

Окремі аспекти значення екологічної інформації для стійкого розвитку досліджували В.І. Андрейцев [16], Н.Р. Малишев [17], І.В. Замула [18], Г.В. Кірейцева [19] та інші. У працях цих учених обґрунтовується роль екологічної інформації як інструменту досягнення цілей стійкого розвитку, забезпечення раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки [16, 17, 18, 19, 20, 21].

Питання доступу до екологічної інформації в контексті міжнародних зобов'язань України розглядалися в роботах В.В. Носіка [22], Н.Р. Кобецької [23], М.О. Медведєвої [24] та інших. Науковці звертають увагу на необхідність імплементації в національне законодавство України положень Орхуської конвенції та Директиви 2003/4/ЄС про доступ громадськості до екологічної інформації.

Незважаючи на наявність значної кількості наукових праць, присвячених проблемам доступу до екологічної інформації та її значенню для стійкого розвитку, в Україні все ще бракує комплексних досліджень, які б розглядали ці питання з урахуванням сучасних викликів та перспектив євроінтеграції. Тому подальше дослідження цієї проблематики є актуальним і необхідним.

**Виклад основного матеріалу.** Стійкий розвиток суспільства в сучасних умовах значною мірою залежить від доступу до актуальної та достовірної інформації. У рамках глобального екологічного партнерства, яке передбачає ефективну взаємодію між різними секторами суспільства (державними і місцевими органами управління, промисловістю, бізнесом, громадськістю, науковими та освітніми установами) для розробки і реалізації стратегічних рішень на всіх рівнях, одним із ключових принципів є скорочення інформаційного розриву та забезпечення широкого доступу до інформації в процесі прийняття та реалізації рішень.

Як зазначає І.В. Замула [18], сучасна глобальна екологічна криза вимагає уваги та вжиття заходів для її подолання. Проте брак інформації часто перешкоджає повному усвідомленню причин та наслідків дегра-

дації навколишнього середовища, а соціальна інертність заважає вирішенню цих проблем. Інформування про стан довкілля та його зміни має велике значення для різних суб'єктів: держави (з огляду на необхідність регулювання стану навколишнього середовища за допомогою економічних інструментів), суб'єктів господарювання (для визначення їхнього впливу на довкілля та підвищення конкурентоспроможності продукції шляхом інформування споживачів про її екологічність), громадських організацій, що здійснюють контроль за станом навколишнього середовища та поширюють відповідну інформацію, а також для екологічно свідомих громадян. У зв'язку з цим можна стверджувати про особливу роль екологічної інформації в сучасному суспільстві.

Під інформацією про стан навколишнього природного середовища (екологічна інформація) розуміють будь-яку інформацію в письмовій, аудіовізуальній, електронній чи іншій матеріальній формі про: стан навколишнього природного середовища чи його об'єктів – землі, вод, надр, атмосферного повітря, рослинного і тваринного світу та рівні їх забруднення; біологічне різноманіття і його компоненти, включаючи генетично видозмінені організми та їх взаємодію із об'єктами навколишнього природного середовища; джерела, фактори, матеріали, речовини, продукцію, енергію, фізичні фактори (шум, вібрацію, електромагнітне випромінювання, радіацію), які впливають або можуть вплинути на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей; загрозу виникнення і причини надзвичайних екологічних ситуацій, результати ліквідації цих явищ, рекомендації щодо заходів, спрямованих на зменшення їх негативного впливу на природні об'єкти та здоров'я людей; екологічні прогнози, плани і програми, заходи, в тому числі адміністративні, державну екологічну політику, законодавство про охорону навколишнього природного середовища; витрати, пов'язані із здійсненням природоохоронних заходів за рахунок фондів охорони навколишнього природного середовища, інших джерел фінансування, економічний аналіз, проведений у процесі прийняття рішень з питань, що стосуються довкілля [9].

Екологічна інформація представляє собою сукупність даних про динаміку кількісних та якісних змін стану природних об'єктів довкілля, їх взаємозв'язок і закономірності розвитку. Ця сукупність даних є базою для проведення оцінки екологічного стану навколишнього природного середовища та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Екологічна інформація також відіграє ключову роль у формуванні екологічної свідомості громадян. Вона підвищує обізнаність про стан довкілля та екологічні проблеми, розвиває екологічне мислення, мотивує до дій на захист довкілля, сприяє набуттю практичних навичок стійкого способу життя. Екологічно свідомі громадяни, у свою чергу, створюють запит на сталу продукцію та послуги,

на відповідальну екологічну політику, стимулюючи «зелену» трансформацію економіки та суспільства. Екологічна інформація може надходити до суспільства різними шляхами та впливати на нього на різних рівнях – від формування державної політики до зміни індивідуальної поведінки громадян. Вона охоплює як офіційні (сайти органів влади, кадастри), так і неофіційні (соціальні мережі, блоги) джерела; як наукові (статті, монографії), так і популярні (теле- та радіопрограми, інфографіка) формати.

Екологічна інформація включає в себе широкий спектр відомостей про стан навколишнього природного середовища, його компоненти, джерела забруднення, заходи щодо охорони довкілля тощо. Для кожної з 17 цілей стійкого розвитку екологічна інформація має своє специфічне значення (табл. 1).

Отже, екологічна інформація є наскрізним фактором, який впливає на досягнення всіх цілей стійкого розвитку. Обізнаність про стан довкілля, екологічні загрози та можливі рішення є необхідною умовою для стійкого розвитку в усіх сферах людської діяльності.

З метою сприяння захисту права кожної людини жити в сприятливому для здоров'я та добробуту навколишньому природному середовищі, доступу до екологічної інформації, участі громадськості в процесі прийняття рішень та правосуддю з питань, що стосуються навколишнього природного середовища була прийнята Орхуська конвенція [5], яку Україна підписала 25 червня 1998 року, а вже 6 липня 1999 року ВРУ ратифікувала її. В інших законодавчих документах, таких як Конституція України [25], Закони України «Про інформацію» [26], «Про охорону навколишнього природного середовища» [9] також зазначаються гарантії доступу до екологічної інформації (табл. 2).

Отже, на законодавчому рівні права громадськості на одержання екологічної інформації добре захищені. Однак на практиці для одержання такої інформації доводиться стикатись з доволі суттєвими труднощами.

На основі проведених досліджень, було виділено проблеми доступності, достовірності та прийняття екологічної інформації, як ключові фактори, які впливають на ефективність використання екологічної інформації для досягнення цілей стійкого розвитку та формування екологічної свідомості суспільства (табл. 3).

Доступність є важливою, оскільки без наявності та можливості отримати екологічну інформацію, вона не зможе виконувати свої функції – інформувати, просвітити, мотивувати до дій. Бар'єри доступності, такі як відсутність даних на офіційних ресурсах чи платний доступ до наукових публікацій, обмежують коло потенційних споживачів екологічної інформації. Достовірність є критичною, адже недостовірна, неповна чи суперечлива інформація може призвести до хибних висновків, неефективних

## Значення екологічної інформації для стійкого розвитку

Ціль стійкого розвитку	Значення екологічної інформації
ЦСР 1. Подолання бідності	Інформування про зв'язок між деградацією довкілля та бідністю, про екологічні права та можливості для найбільш вразливих верств населення.
ЦСР 2. Подолання голоду	Поширення знань про сталі методи ведення сільського господарства, збереження агробіорізноманіття, адаптацію до змін клімату.
ЦСР 3. Міцне здоров'я і благополуччя	Висвітлення впливу стану довкілля на здоров'я людей, профілактика екологічно обумовлених захворювань.
ЦСР 4. Якісна освіта	Включення екологічної складової в освітні програми всіх рівнів, розвиток освіти для стійкого розвитку.
ЦСР 5. Гендерна рівність	Роз'яснення особливої ролі жінок в управлінні природними ресурсами, наслідків екологічних проблем для жінок.
ЦСР 6. Чиста вода та належні санітарні умови	Інформування про загрози для водних ресурсів, способи очищення води та екологізації водокористування.
ЦСР 7. Доступна та чиста енергія	Популяризація енергозбереження та відновлюваних джерел енергії, роз'яснення наслідків використання викопного палива.
ЦСР 8. Гідна праця та економічне зростання	Висвітлення принципів зеленої та циркулярної економіки, екологічної модернізації виробництва.
ЦСР 9. Промисловість, інновації та інфраструктура	Інформування про екологічні інновації, зелені технології, сталий транспорт та інфраструктуру.
ЦСР 10. Скорочення нерівності	Роз'яснення екологічних прав та обов'язків, залучення вразливих груп до ухвалення екологічних рішень.
ЦСР 11. Сталий розвиток міст і громад	Поширення знань про зелене містобудування, інтегроване управління відходами, якість атмосферного повітря у містах.
ЦСР 12. Відповідальне споживання та виробництво	Формування культури стійкого споживання, популяризація екомаркування, роз'яснення концепції життєвого циклу продукції.
ЦСР 13. Пом'якшення наслідків зміни клімату	Інформування про причини, наслідки та заходи з адаптації до змін клімату на всіх рівнях.
ЦСР 14. Збереження морських ресурсів	Висвітлення загроз для океанів та морів, сталих практик рибальства, проблеми морського сміття.
ЦСР 15. Захист та відновлення екосистем суші	Поширення знань про цінність біорізноманіття та екосистемних послуг, загрози для наземних екосистем.
ЦСР 16. Мир, справедливість та сильні інститути	Роз'яснення екологічних прав, інформування про участь громадськості в екологічному врядуванні.
ЦСР 17. Партнерство заради стійкого розвитку	Висвітлення кращих практик екологічного партнерства на локальному, національному та глобальному рівнях.

Джерело: розроблено автором

рішень та дій. Маніпуляції та дезінформація підривають довіру до екологічної інформації загалом. Без достовірних даних неможливо адекватно оцінити екологічні загрози та розробити ефективні заходи з їх подолання. Сприйняття визначає, чи буде екологічна інформація засвоєна та використана цільовими аудиторіями. Якщо інформація подана у надто складній формі, якщо вона викликає психологічний опір чи інформаційну втому, її вплив буде мінімальним. Тому важливо адаптувати екологічну інформацію до потреб та особливостей різних груп населення.

Таким чином, виявлення цих проблем демонструє складність викликів, що стоять на шляху ефективного розповсюдження та використання екологічної інформації в Україні. Це доводить, що труднощі існують на багатьох рівнях – від збору та

оброблення даних до їх аналізу та сприйняття кінцевими користувачами. Для подолання цих бар'єрів потрібно спільні зусилля різних зацікавлених сторін, включаючи державні органи, наукові кола, ЗМІ та громадськість.

**Висновки.** Забезпечення доступу до якісної, достовірної та зрозумілої екологічної інформації є необхідною умовою досягнення цілей стійкого розвитку України та формування екологічної свідомості суспільства. Однак на шляху до цього існує низка проблем, пов'язаних з доступністю, достовірністю та сприйняттям екологічної інформації.

Для подолання цих проблем необхідно впровадити комплексний підхід, який включатиме дієві заходи. Основними є: забезпечення відкритості та зручності екологічних даних, а саме надання віль-

Таблиця 2

## Аналіз основних положень законів України щодо гарантій доступу до екологічної інформації

№ з/п	Закон України	Основні положення
1	Конституція України (стаття 50(2))	кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення. Така інформація ніким не може бути засекречена
2	«Про охорону навколишнього природного середовища» (стаття 9, частина 1, пункт е)	кожен громадянин має право на одержання у встановленому порядку повної та достовірної інформації про стан навколишнього природного середовища та його вплив на здоров'я населення
3	«Про інформацію»	гарантує право на доступ до інформації і створює правове підґрунтя для реалізації цього права. Закон має низку позитивних рис, включаючи гарантію права на отримання інформації (стаття 5 і 9), та зобов'язання державних органів надавати інформацію за запитом (стаття 10 і 32), положення про систему оскарження (стаття 35 і 48) та право вимагати від уряду інформацію про себе (стаття 23), обов'язок державних органів влади активно розповсюджувати інформацію (стаття 29) і санкції щодо тих, хто порушує даний закон (стаття 35 і 47)

Джерело: сформовано автором

Таблиця 3

## Проблеми доступності, достовірності та сприйняття екологічної інформації

Проблема	Виклики та бар'єри
Доступність	– відсутність або обмеженість екологічної інформації на офіційних ресурсах; – складність пошуку та навігації на сайтах органів влади; – paywall у наукових виданнях; – недостатня представленість екотематики у ЗМІ; – цифрова нерівність та відсутність доступу до інтернету у частини населення, тощо
Достовірність	– застарілість та неповнота даних екологічного моніторингу; – суперечливість інформації з різних джерел; – ненавмисні помилки та неточності у публікаціях; – навмисні маніпуляції та поширення неправдивої інформації (фейки, дезінформація); – недостатня компетентність журналістів в екологічній тематиці, тощо
Сприйняття	– складність сприйняття науково-технічної інформації пересічними громадянами; – психологічне витіснення «незручних» екологічних фактів; – інформаційна втома та апатія внаслідок негативних еконовин; – стереотипне сприйняття екоактивістів як «екотерористів»; – конкуренція екотематики з іншими інфоприводами за увагу аудиторії, тощо

Джерело: сформовано автором

ного доступу до екологічної інформації у форматі, зручному для використання різними стейкхолдерами – державними органами, науковцями, громадськістю, бізнесом тощо; наукова верифікація та фактчекінг екологічної інформації, а саме перевірка екологічної інформації на достовірність та точність, верифікація фактів, цифр, цитат, які використовуються у матеріалах на екологічну тематику; розвиток медіаграмотності та критичного мислення громадян, а саме включення відповідних курсів у навчальні програми; проведення тренінгів, воркшопів; створення онлайн-ресурсів, посібників; інформаційні кампанії у ЗМІ, соцмережах; публічне спростування фейків і маніпуляцій; просування екологіч-

ного порядку денного, інтеграція екологічної тематики у різні сфери життя: від державної політики до індивідуальної поведінки громадян; популяризація екологічних знань, адаптація контенту для різних аудиторій (через екоподкасти, інфографіку, ігри, челенджі тощо).

Реалізація цих заходів потребує скоординованих зусиль органів влади, науково-освітньої спільноти, ЗМІ, громадянського суспільства, бізнесу. Лише за умови такого комплексного, міжсекторального підходу можливо забезпечити доступність, достовірність та ефективність сприйняття екологічної інформації, а отже – її дієвість як інструменту досягнення стійкого розвитку України.

## Література

1. Ladychenko, V., Melnychuk, O., & Julia Kanaryk, O. Y. International Mechanism of the Environmental Information Access and Cooperation Framework for Climate Change Protection. *European Journal of Sustainable Development*. 2019. № 8(4). P. 131. URL: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2019.v8n4p131>
2. Haraschuk, V., Zelinska, Y., Spasenko, V., & Shulga, I. Information Component of the Environmental Policy of Ukraine: Current Status and Development Potential. *European Journal of Sustainable Development*. 2020. № 9(2). P. 69. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n2p69>
3. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text)
4. Directive 2003/4/EC of the European Parliament and of the Council of 28 January 2003 on public access to environmental information and repealing Council Directive 90/313/EEC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32003L0004>
5. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська конвенція). URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_015#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_015#Text)
6. Цілі стійкого розвитку: Україна. Національна доповідь 2017. URL: [http://un.org.ua/images/SDGs\\_NationalReportUA\\_Web\\_1.pdf](http://un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA_Web_1.pdf)
7. Гавриш Н. С. Доступ до екологічної інформації як передумова стійкого розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право. 2015. Вип. 32(2). С. 11-15.
8. Козмуляк К. А. Екологічна інформація в механізмі забезпечення права на сприятливе навколишнє середовище. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2020. № 2. С. 165-168.
9. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
10. Про доступ до публічної інформації: Закон України від 13.01.2011 № 2939-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2939-17#Text>
11. Національна доповідь "Цілі стійкого розвитку: Україна". URL: <https://sdgs.un.org/partnerships>
12. Анісімова Г. В. Теоретичні засади розвитку екологічного законодавства в контексті природно-правової доктрини: монографія. Харків: Право, 2019. 672 с.
13. Кравченко С. М., Андрусевич А. О., Бонайн Дж. Актуальні проблеми міжнародного права навколишнього середовища: підручник. Львів: Видавничий центр ЛНУ, 2002. 336 с.
14. Краснова М. В. Правове регулювання екологічної інформації в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Юридичні науки*. 2002. Вип. 45. С. 35-42.
15. Коваленко Т. О. Правове регулювання інформаційних відносин у галузі охорони довкілля. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Право»*. 2015. № 1151. Вип. 19. С. 169-173.
16. Андрейцев В. І. Екологічне право і законодавство суверенної України: проблеми реалізації державної екологічної політики: монографія. Дніпро: Національний гірничий університет, 2011. 373 с.
17. Малишева Н. Р. Екологічне право України: стан та перспективи розвитку. *Проблеми права екологічної безпеки: навч. посіб. / М. В. Краснова, Г. І. Балюк, А. Г. Бобкова [та ін.]; за заг. ред. М. В. Краснової та Р. С. Кіріна; відп. ред. В. І. Андрейцев*. Дніпро: НГУ, 2016. С. 44-57.
18. Інформаційне забезпечення економічного механізму охорони та стійкого використання природних ресурсів [Текст]: монографія / За заг. ред. д.е.н., проф. Замули І.В. Житомир: ПП "Рута", 2017. 308 с.
19. Кірейцева Г.В., Хоменко С.В., Устименко В.І., Андреева О.Ю., Палій О.В. Звітність підприємств зі стійкого розвитку як інструмент розвитку екологічної відповідальності. *Екологічні науки*. 2023. Вип. № 6(51). С. 18-24.
20. Kireitseva H., Demchuk L., Paliy O., Kahukina A. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. № 80 (2). P. 267-276.
21. Kotsiuba I., Herasymchuk O., Shamrai V., Lukianova V., Anpilova Y., Rybak O., Lefter I. 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.
22. Носік В. В. Право власності на землю Українського народу: монографія. Київ: Юрінком Інтер, 2006. 544 с.
23. Кобецька Н. Р. Екологічне право України: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ: Юрінком Інтер, 2008. 352 с.
24. Медведева М. О. Реалізація міжнародно-правових норм з охорони навколишнього середовища у внутрішньому праві України: проблеми та перспективи. *Актуальні проблеми міжнародних відносин*. 2010. Вип. 88. Ч. 1. С. 179-181.
25. Конституція України: Закон України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр#Text>
26. Про інформацію: Закон України від 02.10.1992 № 2657-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2657-12#Text>

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО СТІЙКИХ ТА ПРИЙНЯТНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ М. МИКОЛАЇВ

Магась Н.І.<sup>1</sup>, Жадан Н.М.<sup>2</sup>, Туз Р.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова пр. Героїв України, 9, 54025, м. Миколаїв

<sup>2</sup>Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області вул. Потьомкінська, 14, 54001, м. Миколаїв  
nataly.magas@gmail.com, mk\_vodres@davr.gov.ua

Миколаївська область належить до регіонів з обмеженими запасами прісної води. Частково проблему з кількістю прісної води для обласного центру було вирішено за рахунок водопостачання з річки Дніпро. Враховуючи руйнування водогону Дніпро – Миколаїв внаслідок воєнних дій, склалася катастрофічна ситуація, що потребує пошуку альтернативних рішень та джерел водопостачання, які не тільки відповідають вимогам якості питної води, а й повністю безперервно покривають потреби міста. Встановлено, що експлуатаційні запаси прісних підземних вод в області недостатні для використання їх як основного джерела водопостачання. А вода, що постачалася з перебоями з альтернативних джерел, згодом мала надмірні концентрації хлоридів, сульфатів та інших мінеральних солей навіть після очищення. У роботі представлено результати аналізу та екологічної оцінки придатності водних об'єктів Миколаївської області для забезпечення населення м. Миколаєва питною водою. Оцінку рівня екологічної безпеки та якості води було проведено за гігієнічними та екологічними критеріями. У більшості випадків якість поверхневих вод відповідала другому класу і оцінювалася як «добра», прийнятної якості. Змінювались лише підкласи якості. За окремими показниками спостерігалось погіршення якості води до третього класу – «задовільна», прийнятної якості. Зафіксовані значні перевищення нормативів забруднюючих речовин у воді бажаної якості, зокрема сульфатів, хлоридів, фосфатів, нітритного й нітратного азоту, БСК<sub>2</sub> та ХСК, заліза загального. Найгірша ситуація спостерігалась у водних об'єктах біля м. Миколаїв та р. Інгулець, де якість води погіршувалась за загально-санітарними хімічними показниками до 4 класу, тобто небажаної якості. За обсягом води, річка Південний Буг може задовольнити потреби у водопостачанні міста Миколаїв. Для питного водопостачання необхідно доочищення води до нормативних показників. Найближчою точкою водозабору слід розглядати ділянку вище 50 км від гирла річки, де якість води характеризується як «добра», чиста вода з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої. Наявної кількості води в річці Інгул недостатньо для забезпечення потреб у воді міста Миколаєва, при цьому її якість перевищує норми за різними показниками, що вимагає або реконструкції існуючої системи водопідготовки з введенням споруд для знесолення, або будівництва нової водоочисної станції. За основними показниками якості води, річка Інгулець придатна лише як додаткове джерело водопостачання за умови очищення шахтних стічних вод, що скидаються у неї. Вода в гирлі Південного Бугу та Бузькому лимані за основними гідрохімічними показниками не відповідає вимогам до джерела водопостачання; її використання можливе лише після проведення опріснювальних заходів.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці науково обґрунтованих рекомендацій для визначення найбільш екологічно стійких та прийнятних рішень для забезпечення якісного водопостачання, розробці водоохоронних заходів та стратегії управління водними ресурсами у регіоні. *Ключові слова:* питне водопостачання, оцінка якості води, гідрологічні та гідрохімічні показники, гігієнічні та екологічні критерії, екологічна безпека, водогосподарче значення.

### Identification of environmentally sustainable and acceptable solutions to ensure quality water supply in Mykolaiv. Magas N., Zhadan N., Tuz R.

Mykolaiv region is one of the regions with limited fresh water resources. The problem with the amount of fresh water for the regional centre was partially solved by water supply from the Dnipro River. Given the destruction of the Dnipro-Mykolaiv water pipeline as a result of military operations, a catastrophic situation has arisen. This requires the search for alternative solutions and water supply sources that not only meet the requirements for drinking water quality but also fully meet the city's needs. It has been established that the operational reserves of fresh groundwater in the region are insufficient to be used as the main source of water supply. And the water supplied intermittently from alternative sources subsequently had excessive concentrations of chlorides, sulphates and other mineral salts even after treatment. This paper presents the results of the analysis and environmental assessment of the suitability of water bodies in Mykolaiv Oblast for providing drinking water to the population of Mykolaiv. The assessment of the level of environmental safety and water quality was carried out according to hygienic and ecological criteria. In most cases, the quality of surface water corresponded to the second class and was assessed as "good", of acceptable quality. Only the quality subclasses changed. Some indicators showed a deterioration in water quality to the third class of "satisfactory", acceptable quality. There were significant exceedances of the recommended concentrations of pollutants in water of the desired quality, including sulphates, chlorides, phosphates, nitrite and nitrate nitrogen, BOD<sub>5</sub> and COD, and total iron. The worst situation was observed in water bodies near Mykolaiv and the Ingulets River, where water quality deteriorated to Class 4, that is, of undesirable quality, according to general sanitary chemical indicators. In terms of water volume, the Southern Bug River can meet the water supply needs of the city of Mykolaiv. For drinking water supply, it needs to be treated to meet regulatory standards. The closest point of water intake should be considered a section 50 km from the river mouth, where the water quality is characterised as "good", clean water with a slope towards "excellent", very clean water. The available quantity of water in the Ingul River is insufficient to meet the water needs of the city of Mykolaiv, while its quality exceeds

the standards by various indicators. This requires either reconstruction of the existing water treatment system with the introduction of desalination facilities or construction of a new water treatment plant. According to the main water quality indicators, the Ingulets River is only suitable as an additional source of water supply if the mine wastewater discharged into it is treated. The water in the mouth of the Southern Bug and the Bug estuary does not meet the requirements for a water supply source in terms of key hydrochemical parameters; its use is possible only after desalination.

The results of the study can be used in the development of scientifically based recommendations to determine the most environmentally sustainable and acceptable solutions for ensuring quality water supply. Development of water protection measures and water management strategies in the region. *Key words*: drinking water supply, water quality assessment, hydrological and hydrochemical indicators, hygienic and environmental criteria, environmental safety, water management significance.

**Постановка проблеми.** Забезпечення екологічної безпеки питного водопостачання стало однією з ключових стратегічних цілей України, відображених у законодавстві про національну безпеку [1]. Проте, не дивлячись на цей пріоритет, наша країна має обмежені ресурси питної води через серйозне забруднення як поверхневих, так і підземних джерел водопостачання. Ця проблема набуває особливого значення у містах південних регіонів, де велика частина населення для задоволення своїх побутових та економічних потреб залежить як від підземних, так і поверхневих джерел води [2]. Поверхневі водні ресурси, які використовуються для централізованого водопостачання, піддаються значному антропогенному впливу, що суттєво змінює природний стан цих водних об'єктів. Суттєві зміни гідрохімічного складу води ускладнюють можливість використання певних водних об'єктів для задоволення потреб населення регіону [2, 3].

**Актуальність дослідження.** Аналізуючи структуру системи водопостачання України, стає очевидним, що основну частину складають поверхневі води, це близько 80%. Однак, Україна входить до числа країн з обмеженими запасами прісної води, особливо гостро проблема нестачі водних ресурсів відчувається у південному регіоні країни, зокрема у Миколаївській області [4, 5, 6].

Миколаїв, зі своїм населенням приблизно 470 000 осіб, є дев'ятим за розміром містом в Україні. До лютого 2022 року водопостачання м. Миколаєва здійснювалося з єдиного основного джерела – річки Дніпро – водозабором, розташованим у Херсонській області, та водогоном протяжністю близько 73 км до водоочисних споруд (ВОС) біля міста Миколаїв. У зв'язку з тим, що район водозабору опинився під окупацією внаслідок російського вторгнення в Україну, а водозабірна насосна станція та водогін були частково пошкоджені в ході бойових дій, місто зіткнулося з нагальною потребою забезпечити водопостачання населення, яке залишилось після евакуації, та підприємств міста. Надзвичайні потреби у водопостачанні були вирішені у 2022 році шляхом використання солонуватої води з Бузького лиману, а з 2023 року з річки Інгулець, у поєднанні з мобільними опріснювальними установками та перекачуванням солонуватої води в розподільчу систему лише для технічних потреб. Для забезпечення питною водою було задіяно всі наявні підземні джерела (артсвердловини) суб'єктів господарювання

та виконано встановлення колективних установок доочищення питної води. Додатково споживачі міста забезпечувалися привізною питною водою з резервуарів-накопичувачів та артезіанських свердловин, а також за рахунок фасованої питної води, в тому числі через торгівельну мережу. Однак, такі заходи не вирішували проблему питного водопостачання в довгостроковій перспективі. Тому пошук альтернативного джерела води для безпечного та безперебійного водопостачання мешканців Миколаєва є надзвичайно актуальним завданням.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Робота тісно пов'язана з вирішенням завдань, що наведені у Водній стратегії України на період до 2050 року [2], у Законі України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» [7], Обласній програмі «Питна вода Миколаївщини» на 2021–2025 роки [4], науково-дослідній роботі «Розробка заходів та засобів раціонального водокористування, зниження антропогенного навантаження на водні екосистеми півдня України» (державний реєстраційний № 0124U001593).

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Основою для встановлення рівня екологічної безпеки та оцінки можливості використання водних об'єктів для питних чи інших потреб населення є проведення постійного моніторингу за змінами господарської діяльності в басейнах річок, показниками стану та якості поверхневих вод. Детальні дослідження природно-екологічного потенціалу водних ресурсів басейну річки Південний Буг проводились фахівцями Інституту гідробіології НАН України у 2010–2011 роках [8]. Науковці дослідили гідрохімічний режим руслової частини річки, оцінили її екологічний стан, встановили фонові показники загального азоту та фосфору для верхньої, середньої та нижньої течії. Характеристику антропогенного навантаження на водні ресурси басейну Південного Бугу в межах Миколаївської області нами було виконано у 2013 році [9] та представлено результати оцінки якості води в річках басейну за відповідними категоріями. Аналіз сучасної структури та тенденцій зміни використання води на території Миколаївської області наведено у роботі [10]. У 2015 році спеціалісти Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. В. Думанського НАН України провели оцінку якості води на питних водозаборах Вінницької

області [11]. Результати дослідження якості поверхневих вод за індексами забруднення та інтегральної оцінки якості води у річках басейну Південного Бугу в межах Вінницької та Хмельницької областей представлено у роботах [12, 13], в межах Миколаївської області – у роботах [14, 15]. Після руйнування водогону Дніпро – Миколаїв внаслідок воєнних дій, у м. Миколаїв склалася катастрофічна ситуація, яка потребує вибору та розгляду альтернативних рішень питного водопостачання.

Метою даного дослідження є комплексний аналіз та екологічна оцінка придатності потенційних джерел водопостачання на території Миколаївської області в умовах обмеженості традиційних ресурсів через наслідки воєнного конфлікту та забруднення водойм, і визначення найбільш екологічно стійких та прийнятних рішень для забезпечення якісного водопостачання.

Для досягнення поставленої мети у роботі було розглянуто та проаналізовано наступні питання: аналіз стану системи водопостачання міста Миколаєва до та після руйнування основного водозабору, включаючи інформацію про рівень доступності води, якість води, стан водопровідних мереж та інфраструктури; оцінка проблем, пов'язаних з поточним джерелом води; визначення альтернативних джерел питного водопостачання, включаючи інші річки, підземні води та інші водні ресурси; оцінка рівня доступності та екологічної придатності кожного потенційного джерела води для водопостачання міста, а також можливих ризиків для безпеки водопостачання.

Отримані результати стануть основою для розробки рекомендацій щодо вибору оптимального джерела води та впровадження необхідних заходів для забезпечення надійного водопостачання мешканців Миколаєва в умовах кризи.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Для оцінки рівня безпеки та встановлення можливості використання поверхневих вод на території Миколаївської області для питного водозабезпечення, значення показників якості річкової води у контрольних точках порівнювали із нормативами, зазначеними у «Гігієнічних нормативах якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення», що затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.05.2022 № 721 [16]. Цим документом передбачено, що склад та властивості води водних об'єктів за жодним з показників не повинні перевищувати встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовно допустимі рівні (ОДР) речовин у воді водних об'єктів [16]. Показники якості очищеної води порівнювались з чинними в Україні вимогами до питної води, згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [17].

Оцінку якості поверхневих вод, як джерел питного водопостачання проводили відповідно до Національного стандарту України ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання». За значеннями інтегральних блокових та узагальненого індексів, якість води можна оцінити за чотирма класами від «відмінної» бажаної якості до «посередньої, обмежено придатної» небажаної якості [18]. У роботі оцінку якості води здійснено за середніми та найгіршими значеннями органолептичних, загально-санітарних та токсикологічних хімічних показників.

Розробку картографічного матеріалу за результатами оцінювання якості поверхневих вод виконано з використанням геоінформаційної системи ArcGis.

**Викладення основного матеріалу.** Місто Миколаїв є адміністративним центром Миколаївської області з щільністю населення приблизно 1959 осіб/км<sup>2</sup> [19]. Послуги з централізованого питного водопостачання, водовідведення, а також гарячого водопостачання міста та трьох прилеглих сіл забезпечує Миколаївводоканал. Існуюча система водопостачання розрахована на забезпечення безперервного водопостачання (24/7) всіх районів міста та трьох сільських населених пунктів. За даними статистичної звітності водоканалу [20], доступ до питної води отримує приблизно 82,8% від загальної кількості мешканців. Решта населення використовують місцеві джерела води та пункти локального водопостачання. Окрім населення, близько 21% загального споживання води припадає на промислових споживачів та суб'єктів господарювання. Близько 4% від загального обсягу поданої води споживають бюджетні організації.

До початку бойових дій для водопостачання міста використовували дніпровську воду, яку забирали в Херсонській області. Потужність водозабору складала 280 тис. м<sup>3</sup>/добу, що повністю покривало всі потреби водопостачання міста. Якість очищеної дніпровської води відповідала чинним в Україні вимогам до питної води (ДСанПіН 2.2.4-171-10) (таблиця 1).

Внаслідок пошкоджень, під час бойових дій, існуючого Дніпровського водогону, а потім і насосної станції, водопостачання міста довелося перевести на місцеві джерела. Було використано воду з водозабору місцевого глиноземного заводу, яка відповідає вимогам якості. Однак, запасів питної води було достатньо для забезпечення лише обмеженої кількості мешканців міста. Воду питної якості, очищену на установках зворотного осмосу, можна було отримати у розподільних пунктах, лікарнях, адміністративних будівлях.

Як аварійних захід, для забезпечення населення водою, в магістральну розподільчу мережу у 2022 році подавалась вода з Бузького лиману. Вода з лиману, яка після очищення надходила у централі-



Показники якості води, поданої у розподільчі водопровідні мережі м. Миколаїв  
у період з 2021 по 2023 роки

№	Показники	Одиниці вимірювання	Нормативи якості для питної води ДСанПіН 2.2.4-171-10 [17]	Показники якості очищеної води з Дніпровського водозабору, 2021 рік	Показники якості тимчасово поданої води, 2022 рік (сер зн. / макс.зн.)	Показники якості очищеної (технічної) води зі Інгулецької зрошувальної системи, 2023 рік
1	2	3	4	5	6	7
<b>Органолептичні показники</b>						
1	Запах при t=20°C	бали	≤ 2,0	0-1	1 / 1	1
2	Запах при t=60°C	бали	≤ 2,0	0-1	1 / 1	2
3	Смак і післясмак	бали	≤ 2,0	0	0	-
4	Колір	градуси	≤ 20 (35)	9	11 / 13	47,0
5	Каламутність	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,58 (2.0)	0,28	1,11 / 1,81	6,63
<b>Фізико-хімічні параметри</b>						
6	Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 1000(1500)	324,0	9267 / 11078	1294
7	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 250 (500)	76,0	581 / 712	240
8	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 250 (350)	43,0	4147 / 5533	726
9	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,2 (1,0)	0,14	0,21 / 0,39	0,69
10	Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0,05 (0,5)	0,01	0	0,06
11	Загальна жорсткість	ммоль/дм <sup>3</sup>	≤ 7,0	3,7	32,4 / 42,8	13,0
12	Загальна лужність	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,5-6,5	2,7	4,0 / 4,3	5,0
13	Концентрація водневих іонів	одиниці рН	6,5-8,5	7,8	7,7 / 8,1	8,56
14	Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 1,0	0,05	0,06 / 0,1	0,26
15	Залишковий вільний хлор	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	0,44	0,59 / 0,7	10,0
16	Залишковий хлор зв'язаний	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 1,2	0,9	0,56 / 0,75	0,9
17	Поліфосфати	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 3,5	0,34	0,25 / 0,43	0,78
18	Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 1,0	0,034	0,05 / 0,09	0,044
19	Нафтопродукти	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	0	0,01 / 0,01	0,12
20	Поверхнево-активні речовини	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	< 0,1	-	< 0,1
21	Летючі феноли	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,001	< 0,001	0	< 0,005
<b>Санітарні та токсикологічні показники</b>						
22	Алюміній	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,2 (0,5)	< 0,02	0,03 / 0,1	< 0,02
23	Амоній	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	0,06	0,14 / 0,2	0,31
24	Кадмій	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,001	≤ 0,0002	0	≤ 0,0002
25	Силіцій	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 10,0	3,6	1,86 / 2,67	1,6
26	Окислюваність	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,01	< 0,005	0	< 0,005
27	Молібден	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,07	< 0,0025	0 / 0,055	< 0,0025
28	Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 50	0,74	100 / 174	21,6
29	Нітроти	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	0,0045	0,033 /	0,024
30	Ртуть	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,0005	≤ 0,0005	0,12	≤ 0,0005
31	Свинець	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,01	< 0,0005	0	< 0,0005
32	Фториди	мг/дм <sup>3</sup>	0,7-1,5	0,19	0	0,28

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
33	Хлороформ	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,06	0,043	0,44 / 0,58	0,043
34	Окислення перманганатне	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 5,0	7,0	0	11,6
35	Кобальт	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	< 0,0025	5,4 / 5,6	< 0,01
36	Нікель	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,02	< 0,005	0,002 / 0,01	< 0,007
37	Хром загальний	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,05	< 0,02	0	< 0,031
38	Тригалометани – всього	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	-	-	-
<b>Гідробіологічні показники</b>						
39	Фітопланктон	кг/дм <sup>3</sup>	-	3583	178,5 / 1050	14000
<b>Мікробіологічні показники</b>						
40	Кількість колоній 37 °С	кількість/мл	≤ 100,0	0-1,0	8 / 18	63 200,0
41	Колиформні бактерії	кількість/100 мл	Відсутність	Відсутність	-	15 000,0
42	Е -солі	кількість/100 мл	Відсутність	Відсутність	0	Відсутність
43	Ентерококи	кількість/100 мл	Відсутність	Відсутність	-	Відсутність
<b>Паразитологічні показники</b>						
44	Патогенні кишкові найпростіші	клітин / 50 дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність	-	Відсутність
45	Кишкові гельмінти	клітин / 50 дм <sup>3</sup>	Відсутність	Відсутність	-	Відсутність
<b>Радіологічні показники</b>						
46	Загальна альфа – активність	Бк/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	0,007	0,069 / 0,069	Відсутність
47	Сумарна бета – активність	Бк/дм <sup>3</sup>	≤ 1,0	0,16	0,486 / 0,821	Відсутність

зовану розподільну мережу, характеризувалась підвищеним вмістом мінеральних речовин і не відповідає встановленим нормам за показниками загальної кількості розчинених речовин (сухий залишок), хлоридів, сульфатів та жорсткості. Особливо погіршення води спостерігалось в жаркі місяці року (таблиця 1).

В якості альтернативного тимчасового джерела водопостачання у 2023 році також було використано воду зі Інгулецької зрошувальної системи. Однак, щорічно в річку Інгулець здійснюється скид високомінералізованих шахтних вод гірничорудних підприємств Кривбасу. Тому, її якість значно гірша, а існуюча застаріла технологія водопідготовки на водоочисних спорудах не дозволяє очистити її до нормативних питних показників. Як наслідок, вода, що подається до розподільчих мереж, є технічної якості (таблиця 1).

Подача води з високим вмістом мінеральних речовин з перерахованих джерел та гідравлічні ефекти переривчастого водопостачання значно погіршили технічний стан існуючих розподільчих мереж.

Частина потреб міста у воді забезпечувалась також за рахунок підземних вод басейну

Південного Бугу. Враховуючи те, що територія м. Миколаєва та його муніципального району (прилеглих населених пунктів) характеризується складними гідрогеологічними умовами формування підземних вод, такий варіант питного водозабезпечення населення міста є неможливим. Встановлені експлуатаційні запаси прісних підземних вод в області недостатні для покриття дефіциту поверхневих прісних вод [21]. Крім того, підземні води дуже поганої якості (мінеральний вміст 1,7–4,5 і більше г/дм<sup>3</sup>), а масове та неконтрольоване буріння свердловин безпосередньо в місті призвело до додаткового забруднення та погіршення якості води місцевих джерел, що ускладнює очищення цієї води на місцях.

Така ситуація свідчить про відсутність близько розташованого надійного джерела питного водопостачання у м. Миколаїв.

В якості потенційного альтернативного джерел водопостачання було досліджено басейн найбільшої річки Миколаївської області Південний Буг. Рівень води в річці характеризується вираженим весняним припливом і низькою літньою меженню. У нижній

течії річки спостерігаються припливно-відпливні явища, що доходять до селища Нова Одеса. Басейн річки Південний Буг характеризується хронічним дефіцитом водних ресурсів, оскільки водозабезпеченість на одного мешканця регіону в останні роки (2017–2022 рр.) становить лише 880 м<sup>3</sup>/рік. Загальні ресурси поверхневого стоку становлять 2,81 км<sup>3</sup>. Аналіз рівня води у річці Південний Буг за останні 12 років свідчить про значне зменшення її природного стоку [22].

З 2007 року почастишали маловодні та дуже маловодні роки. Фактична водність річки Південний Буг та її приток у 2007–2020 рр. була на 35–65% меншою за середню багаторічну (норма на гідрологічному посту Олександрівка 2800 млн м<sup>3</sup>/рік), а тривалість маловодного періоду з витратами, меншими за санітарно-екологічні (17 м<sup>3</sup>/с), протягом усього цього періоду зростала.

Сучасна водогосподарська ситуація в басейні р. Південний Буг свідчить про зменшення обсягів водозабору більше ніж у 4 рази. Найбільше водоспоживання здійснюється для задоволення виробничих, питних та санітарно-гігієнічних потреб [6, 10].

Водночас аналіз кількісних показників стоку р. Південний Буг за останні п'ять років засвідчив, що мінімально можливий стік води у маловодний період (рис. 1) покриває як поточні потреби міста Миколаїв (160 тис.м<sup>3</sup>/добу), так і з урахуванням перспективи його розвитку (230 тис.м<sup>3</sup>/добу).

Оцінку якості води виконано за даними спостереження лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів у Миколаївській області у 15 пунктах спостереження, що розміщені на 6 водних об'єктах.

За результатами оцінки якості води р. Південний Буг у вибраних контрольних точках за органолептичними показниками встановлено, що вода була перехідна за якістю від «відмінної», дуже чистої до «доброї», чистої у всіх створах. За середніми річними значеннями така якість води спостерігалась у 98,45% відсотків випадків. Повторюваність якості води з характеристикою «відмінна», дуже чиста вода складала 1,55%. Погіршення якості води до 2-го класу спостерігалось за показниками кольоровості та мутності. За найгіршими значеннями показників у 100% випадків вода належала до 2-го класу якості.

За середніми значеннями загально-санітарних хімічних показників у воді р. Південний Буг перевищення рекомендованих у [16] гігієнічних нормативів якості води спостерігається лише за БСК<sub>5</sub> (1,5–3,0 раза) та ХСК (1,4–2,0 раза). Однак, у всіх точках контролю вода була 2 класу та не відповідала показникам бажаної якості. Крім того, спостерігається чітка тенденція погіршення загально-санітарних показників за течією річки. Якість води змінювалась від «доброї», чистої прийнятної якості у верхніх точках спостереження до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості у контрольних точках нижче 153 км (с. Олексіївка, питний в/з м. Южноукраїнськ). Найвищі показники забруднення спостерігались на ділянці 97 км (м. Вознесенськ, пит. в/з м.Вознесенськ) і нижче за течією річки, де якість води погіршувалась до 3 класу, тобто прийнятної якості. Найбільший негативний вплив на якість води вносили значні концентрації БСК<sub>5</sub>, фосфору фосфатів, нітритного й нітратного азоту, сульфатів, загальна жорсткість.

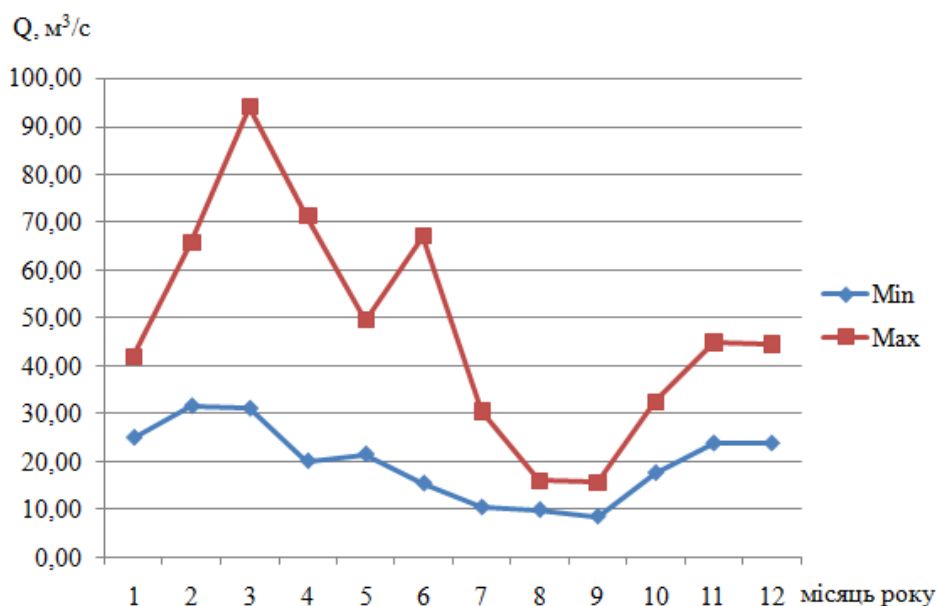


Рис. 1. Середні місячні витрати води р. Південний Буг за даними гідрологічного поста с. Олександрівка, м<sup>3</sup>/с

За результатами оцінки впливу токсикологічних хімічних показників на якість води найгірші значення спостерігались біля м. Первомайськ. Вода у р. Південний Буг на цій ділянці характеризувалась як «добра», чиста вода прийнятної якості. Нижче за течією, за весь період дослідження, вода належала до класу 2 і була «добра», чиста з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості (табл. 2). Однак, за останні роки у точках контролю якість погіршувалась до третього класу якості, а за найгіршими показниками оцінювалась як «задовільна», слабо забруднена вода прийнятної якості. До погіршення якості води призводили підвищені концентрації заліза загального, нікелю та марганцю.

Підсумкові результати оцінки за значеннями інтегральних індексів показали, що за середніми значеннями якість води у всіх контрольних точках оцінювалась другим класом. Змінювались лише підкласи якості (рис. 2, а).

Найбільш забрудненою вода була у водозаборі біля м.Первомайськ (206 км) та у нижній контрольній точці біля с. Ковалівка (50 км), де якість води характеризувалась як «добра», чиста вода прийнятної якості.

Аналіз отриманих даних показав перевищення нормативних значень, рекомендованих у [16], для показників ХСК та БСК<sub>5</sub>, що свідчить про наявність у річці органічних забруднюючих речовин. Такі показники забруднення можуть свідчити як про наявність у воді фітопланктону, так і бути наслідком скиду комунальних стічних вод, розташованих вище за течією від контрольних точок. Решта показників якості води відповідає встановленим вимогам.

Також додатково було оцінено якість води у притоках р. Південний Буг – р. Синюха, р. Мертвовод та р. Інгул.

Водний режим річки Синюха (ліва притока р. Південний Буг) характеризується високим весняним водопіллям та низькою меженню, яка порушується незначними підйомами води внаслідок проходження дощових паводків. Середня річна витрата на р. Синюха – с. Синюхін Брід (12 км від гирла) дорівнює 25,0 м<sup>3</sup>/с [23].

За результатами оцінки, вода у р. Синюха за середніми значеннями є перехідна за якістю від «відмінної», дуже чистої до «доброї», чистої (рис. 2, а). Погіршення якості води до 4 класу (максимальні значення) відбувалось за загальносанітарними хімічними показниками – ХСК, азот амонійний, нітритний та нітратний, загальна жорсткість, лужність. Однак, за значенням інтегрального показника вода відповідала 2 класу якості (рис. 2, б).

Водний режим лівої притоки Південного Бугу річки Мертвовод характеризується високим весняним водопіллям та низькими літньою і зимовою межами. Живлення мішане з переважанням снігового. Середньорічна витрата води у річці за даними

з гідрологічного поста біля с. Крива Пустош (88 км від гирла річки) – 0,35 м<sup>3</sup>/с [23].

Вода у р. Мертвовод за середніми значеннями відповідала також 2 класу і характеризувалась як «добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості (рис. 2, а). За максимальними значеннями спостерігалось погіршення якості води до 3 класу (рис. 2, б). Такі коливання пояснюються гідрохімічними особливостями річки, та викликано підвищенням концентрації БСК<sub>5</sub>, ХСК, азоту нітритного, сульфатів, хлоридів, лужності, жорсткості, мінералізації.

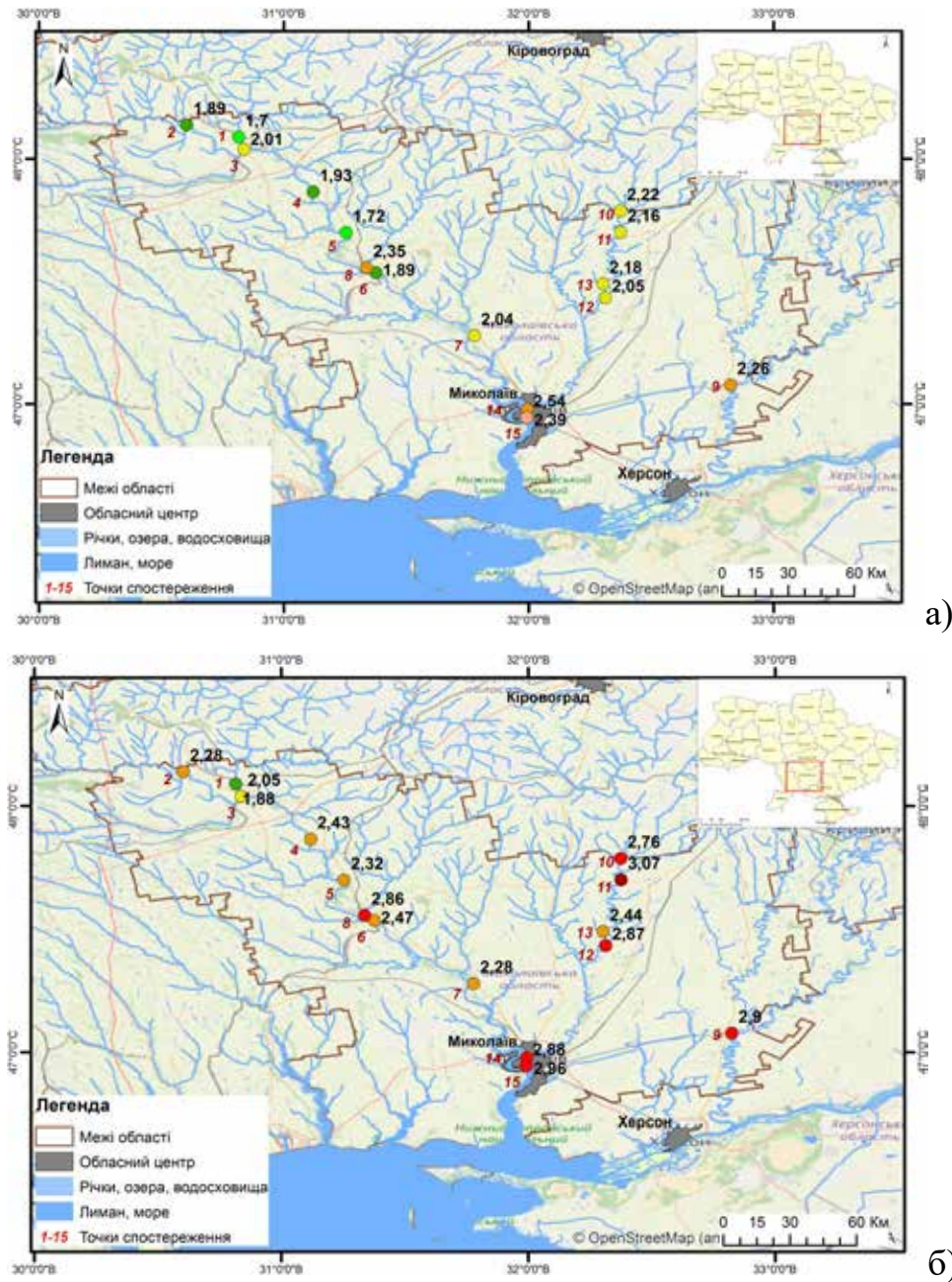
Річка Інгул є найбільшою притокою р. Південний Буг (ліва притока р. Південний Буг). Основним джерелом живлення є снігові та дощові опади. Водний режим річки характеризується високим весняним водопіллям, низькою літньо-осінньою та зимовою меженню та невеликими паводками. Середня витрата води в районі села Новогорожене (118 км від гирла річки) становить 7,48 м<sup>3</sup>/с [23]. Внутрішньорічний розподіл стоку нерівномірний. На пригірловій ділянці спостерігаються згинногінні явища, а також підпір від р. Південний Буг.

Вода Інгулу використовується для питного водопостачання та зрошення. Річка частково зарегульована ставками які використовуються для розведення риби [24].

Згідно результатів оцінки за органолептичними показниками вода р. Інгул характеризувалась високими показниками кольоровості, мутності та не відповідала вимогам бажаної якості.

За середніми значеннями загально-санітарних хімічних показників перевищення рекомендованих у [16] гігієнічних нормативів якості води спостерігається ХСК, БСК<sub>5</sub>, лужність, жорсткість, мінералізація, сульфати, магній, натрій. Ці дані ілюструють як про високі концентрації органічних забруднюючих речовин, так і надмірний вміст солей у воді. Якість води у всіх точках контролю відповідала 3 класу (табл. 2). Низька якість води спостерігається на перехідній ділянці від Кіровоградської до Миколаївської області. В районі питних водозаборів (163–103 км від гирла) спостерігається незначне покращення загальносанітарних показників. Нижче за течією – чітка тенденція до зниження якості води до «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості (2 км від гирла). За максимальними показниками якість води погіршувалась до 4 класу – «посередньої», «обмежено придатної» небажаної якості. Найбільший негативний вплив на якість води вносили збільшення концентрації БСК<sub>5</sub>, нітритного й нітратного азоту, сульфатів, загальна жорсткість, мінералізація. Присутність таких речовин у воді не тільки прискорюють процеси евтрофікації [25], а й роблять її не придатною для питного використання.

За значеннями вмісту токсикологічних хімічних показників якість води відповідала 2 класу по всій довжині річки, зміни спостерігались в межах підкла-



- Якість води:**
- |  |   |   |
|--|---|---|
| <p><b>I клас</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● «Відмінна», дуже чиста вода</li> <li>● «Відмінна», дуже чиста вода з ухилом до класу «доброї», чистої води базової якості</li> </ul> <p><b>II клас</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Вода, перехідна за якістю від «відмінної», дуже чистої до «доброї», чистої</li> <li>● «Добра», чиста вода з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої</li> <li>● «Добра», чиста вода прийнятної якості</li> <li>● «Добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості</li> </ul> | <p><b>III клас</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Вода, перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої</li> <li>● «Задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «доброї», чистої</li> <li>● «Задовільна», слабо забруднена вода прийнятної якості</li> <li>● «Задовільна», слабо забруднена вода з ухилом до класу «обмежено придатної» небажаної якості</li> </ul> | <p><b>IV клас</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Вода, перехідна за якістю від «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості до «обмежено придатної» небажаної якості</li> <li>● «Обмежено придатна» небажаної якості з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої води, прийнятної якості</li> <li>● «Посередня», «обмежено придатна» небажаної якості</li> </ul> |
|--|---|---|

Рис. 2. Характеристика якості поверхневих вод для централізованого питного водопостачання за середніми (а) та найгіршими (б) показниками

Результати оцінки якості поверхневих вод на території Миколаївської області за гігієнічними та екологічними критеріями (за ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання»)

№ контр. точки	Точка спостереження, відстань від гирла річки	Індекси якості води, ум. од. (за органолептичними показниками <sup>1</sup> , за загальносанітарними хімічними показниками <sup>2</sup> , за токсикологічними показниками <sup>3</sup> )		
		<sup>1</sup> I <sub>орг.</sub>	<sup>2</sup> I <sub>з-с</sub>	<sup>3</sup> I <sub>т</sub>
<b>р.Синюха (ліва притока р. Південний Буг)</b>				
1	10 км (м.Первомайськ)	1,67	2,44	1,00
<b>р.Південний Буг</b>				
2	237 км (сmt. Побузьке)	1,67	2,13	1,86
3	206 км (м.Первомайськ)	1,67	2,19	2,17
4	153 км (с. Олексіївка)	1,67	2,38	1,67
5	136 км (с.Олександрівка)	1,67	2,31	1,86
6	97 км (м.Вознесенськ)	1,67	2,44	1,57
7	50 км (с. Ковалівка)	1,67	2,44	2,00
<b>р.Мертвовод (ліва притока р. Південний Буг)</b>				
8	1км (м. Вознесенськ)	1,67	3,06	2,33
<b>р.Інгулець(права притока р. Дніпро)</b>				
9	83 км (м.Снігурівка)	1,67	2,69	2,43
<b>р.Інгул (ліва притока р. Південний Буг)</b>				
10	179 км (с. Розанівка)	1,67	3,00	2,00
11	163 км (с.Софіївка)	1,67	2,81	2,00
12	103 км (с. Одрадне)	1,67	2,81	1,67
13	100 км (с.Привільне)	1,67	2,88	2,00
14	2 км (м. Миколаїв)	1,67	3,00	2,50
<b>Бузький лиман</b>				
15	0,5 км (м. Миколаїв)	1,67	3,37	2,50

сів. Однак, в районах питних водозаборів (163 км, м. Новий Буг та 103 км, м. Баштанка) протягом періоду спостереження спостерігалось погіршення якості води до третього класу, що пояснюється підвищенням концентрації заліза загального, нікелю та марганцю. За найгіршими показниками якість води оцінювалась як «задовільна», слабо забруднена вода прийнятної якості. Найгірші токсикологічні показники хімічного складу води протягом року спостерігаються у нижній за течією точці контролю (2 км, м. Миколаїв), де за середніми та максимальними показниками вода відповідала 3 класу та характеризувалась як перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої.

За значеннями інтегральних індексів якість води за середніми значеннями оцінювалась другим класом (рис. 2, а), за найгіршими – третім класом (рис. 2, б). Змінювались лише підкласи якості.

Результати оцінки ілюструють як високі концентрації органічних забруднюючих речовин, так і надмірний вміст солей у воді. Для забезпечення ефективного видалення таких забруднювачів з води необхідно

або доповнити існуючу технологію водопідготовки на очисних спорудах процесами опріснення води із забезпеченням попереднього очищення вхідного потоку, або побудувати нову водоочисну станцію.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що наявна кількість води в р. Інгул недостатня для повного забезпечення водоспоживання м. Миколаєва. Водночас якість води не відповідає стандартам, і потребує додаткового дороговартісного очищення води.

Річка Інгулець – права притока Дніпра, типова рівнинна річка з високим весняним водопіллям та низькими літньою і зимовою межнями. Основний річковий стік формується у верхній частині басейну (80%). За характером живлення р. Інгулець відноситься до річок з переважно сніговим живленням. Середньорічна витрата води у річці біля Кривого Рогу (332 км від гирла річки) – 7,5 м<sup>3</sup>/с [23].

Екологічний стан річки Інгулець, на сьогоднішній день, є дуже складним. Річка потерпає від антропогенного впливу, що є наслідком гірничо-металургійної діяльності підприємств Криворізького району.

Скиди стічних вод промислових підприємств призводять до забруднення води та погіршення її якості за показниками мінералізації до 6,0–8,0 г/дм<sup>3</sup>, хлоридів – 3,4 г/дм<sup>3</sup>. Високим також є забруднення органічними речовинами, фенолами, нафтапродуктами, сполуками азоту. У пониззі Інгульця розташовано головну насосну станцію Інгулецької зрошувальної системи (83 км від гирла), яка закачує значні обсяги річкової води для подачі на зрошувані масиви. Отже, вплив господарської діяльності є настільки значним, що важко сказати, чим річка є більше: природним об'єктом чи господарським.

Оцінку якості води р. Інгулець було проведено за даними моніторингу у точці контролю біля с. Снігурівка (83 км від гирла) та встановлено, що за всіма органолептичними показниками (запах, кольоровість, мутність) вода річки не відповідає вимогам бажаної якості.

Перевищення рекомендованих у [16] гігієнічних нормативів якості води спостерігається за БСК<sub>5</sub> (2,6–3,7 разів), ХСК (1,9–2,7 разів), сульфатами (2,6–3,1 разів), хлоридами (1,9–3,1 разів), загальною жорсткістю (2,1–2,8 разів), мінералізацією (2,1–2,8 разів). Якість води за середніми показниками відповідала 3 класу і характеризувалась як перехідна за якістю від «доброї», чистої до «задовільної», слабо забрудненої (табл. 2). Погіршення якості води спостерігалось у літній період до показників «задовільної», слабо забрудненої води з ухилом до класу «доброї», чистої.

За середніми значеннями вмісту токсикологічних хімічних показників якість води відповідала 2 класу та характеризувалась як «добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості. Погіршення якості води до 3 класу – «задовільної», слабо забрудненої води з ухилом до класу «доброї», чистої, викликано підвищенням концентрацій заліза загального, нікеля, марганцю та нафтопродуктів.

За значеннями інтегрального індексу вода у р. Інгулець відповідала другому класу і оцінювалась як «добра», чиста вода з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої прийнятної якості (рис. 2, а). За найгіршими показниками спостерігалось погіршення якості води до 3 класу (рис. 2, б).

Про наявність складної екологічної ситуації в басейні р. Інгулець також свідчить підвищення забруднення після підняття рівня води на території південного регіону України, що викликано руйнуванням Каховської ГЕС. Згідно результатів кризового моніторингу якості поверхневих вод в районі підтоплення, у річці Інгулець спостерігалось значне перевищення встановлених нормативів за запахом, БСК<sub>5</sub>, мінералізації, сульфідів, хлоридів, заліза загального. Про підвищення рівня мікробного забруднення свідчив високий рівень лактозопозитивної кишкової палички (перевищення нормативів у 48000 разів) [26, 27].

Враховуючи незначний стік р. Інгулець, а також необхідність вирішення проблеми скидання стічних вод підприємств Кривбасу, р. Інгулець можна розглядати лише в якості додаткового аварійного джерела водопостачання.

Враховуючи складну ситуацію з водопостачанням у місті як альтернативне джерело також було проаналізовано показники якості води у гирлі р. Південний Буг та Бузькому лимані.

Результати оцінки якості води у контрольній точці лиману (0,5 км, м. Миколаїв) свідчать про значні відхилення від нормативних значень для води питної якості за такими показниками, як мінералізація (5,9–11 разів), жорсткість (3,6–5,2 разів), хлориди (10,5–18,1 разів), сульфати (1,9–2,8 разів), БСК<sub>5</sub> (1,8–3,0 разів), ХСК (2,2–2,7 разів). Якість води відповідала 3 класу (рис. 2). Погіршення якості води до «задовільної», слабо забрудненої з ухилом до класу «обмежено придатної» небажаної якості спостерігалось за загальносанітарними хімічними показниками. Серед токсикологічних показників хімічного складу води спостерігались високі концентрації заліза загального, міді, марганцю, АПАР.

Підсумкові результати оцінки підтвердили високі концентрації органічних забруднюючих речовин, так і надмірний вміст солей у воді. Використання Бузького лиману як джерела питного водопостачання можливе лише за умови використання відповідних водоочисних споруд для зменшення мінералізації.

**Висновки.** У зв'язку з воєнними діями, півміське місто Миколаїв зазнало проблем у централизованому водопостачанні через пошкодження як системи подачі води, так і відсутності можливості доступу до джерела водопостачання – річки Дніпро. У зв'язку з критичною ситуацією, проводиться пошук альтернативних джерел води для міста, які б не тільки відповідали вимогам якості питної води, а й повністю безперебійно покривали потреби міста.

Експлуатаційні запаси прісних підземних вод в області недостатні для використання їх як основного джерела водопостачання. А вода, що постачалася з переборами з альтернативних джерел, згодом мала надмірні концентрації хлоридів, сульфатів та інших мінеральних солей навіть після очищення.

За результатами гігієнічної та екологічної оцінки якості поверхневих вод на території Миколаївської області, які могли б бути потенційним альтернативним джерелом питного водопостачання для м. Миколаїв, було встановлено, що в жодному дослідженому водному об'єкті рівень екологічної безпеки води не відповідає вимогам бажаної якості та безпечному рівню.

За результатами гідрологічного та гідрохімічного аналізу встановлено, що за кількістю води річка Південний Буг може забезпечити потребу у воді місто Миколаїв. Однак, у випадку використання води річки для питних потреб необхідно забезпечити її доочищення до нормативних показ-

ників на очисних спорудах водопідготовки. На сьогоднішній день, існуючі очисні споруди розраховані на доведення природної води до якості питної лише у випадку, коли вихідна вода відповідає 1-му класу поверхневих джерел водопостачання та не дозволяють забезпечити населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою. Така ситуація свідчить про необхідність додаткового дослідження щодо вдосконалення існуючої схеми водопідготовки та модернізації очисного обладнання.

Враховуючи вплив згінноагінних явищ з Бузького лиману у гирлі річки Південний Буг, а також розміщення місць скиду стічних вод комунальними підприємствами, які розміщені вище за течією, найближчою точкою водозабору можна розглядати ділянку річки Південний Буг вище с. Ковалівка (50 км), де якість води характеризується як «добра», чиста вода з ухилом до класу «відмінної», дуже чистої.

Наявної кількості води в р. Інгул недостатньо для забезпечення потреб у воді м. Миколаєва. Вода в річці характеризується такими показниками, що значно перевищують нормативні вимоги за показниками хімічне споживання кисню (ХСК), біологічне споживання кисню (БСК), твердість, сухий залишок, сульфати, магній, натрій. Підготовка цієї води для питних цілей потребує або реконструкції техноло-

гічного ланцюга водопідготовки з введенням в нього споруд для знесолення води, або будівництва нової водоочисної станції.

За основними показниками якості води річка Інгулець може бути використана лише як додаткове джерело водопостачання за умови очищення шахтних стічних вод, які скидаються у річку. Крім того, після Каховської катастрофи та у зв'язку з продовженням воєнних дій, не можна повністю виключати вірогідність повторення зміни гідрологічних параметрів нижньої течії річки Дніпро, що призвело до підняття рівня води в річці Інгулець та додаткового забруднення внаслідок затоплення територій. Такі події значно знижують надійність водопостачання з цього джерела.

Вода в гирлі Південного Бугу та Бузькому лимані за основними гідрохімічними показниками не відповідає вимогам до джерела водопостачання, її використання можливе після проведення опріснювальних заходів.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використані при розробці науково обґрунтованих рекомендацій для визначення найбільш екологічно стійких та прийнятних рішень для забезпечення якісного водопостачання, розробці водоохоронних заходів та стратегії управління водними ресурсами у регіоні.

#### Література

1. Про національну безпеку України : Закон України від 21.06.2018 р. № 2469-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>.
2. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 09.12.2022 № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>
3. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, ст.70.
4. Про затвердження обласної Програми «Питна вода Миколаївщини» на 2021-2025 роки: Рішення Миколаївської обласної ради від 29.09.2021 № 4. URL: <https://www.mk-oblrada.gov.ua/UserFiles/decree/1633434255615c3a8f16115.pdf>
5. Річний звіт з питань управління водними ресурсами басейну річок Причорномор'я за 2020 рік. Басейнове управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю. Одеса, 2021. 66 с.
6. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2022 році. Управління екології та природних ресурсів Миколаївської обласної державної адміністрації. Миколаїв, 2023. 232 с.
7. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення : Закон України від 10.01.2002 № 2918-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text>
8. Афанасьєв С.О., Васильчук Т.О., Летицька О.М., Білоус О.П. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. Київ : ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2012. 29 с.
9. Магась Н. І., Трохименко Г.Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. Науковий журнал «Екологічна безпека»: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2013. – Випуск 2/2013 (16). – С. 48-52.
10. Магась Н. І. Оцінка сучасного стану та рівня екологічної безпеки річкових вод в басейні Південного Бугу на території Миколаївської області. Екологія. Довкілля. Енергозбереження. 2024 : колективна монографія / під ред. О. В. Степової. Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка. 2024. с. 109-124.
11. Єзловецька І.С., Шунков В.С., Буланюк С.М. Оцінка якості води Південного Бугу в місяцях потужних питних водозаборів Вінницької області. Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. 2015. № 2 (17). С. 22–39.
12. Залізник Я. І. Оцінка якості вод за інтегральним показником забруднення у річках басейну Південного Бугу в межах Вінницької області. Український гідрометеорологічний журнал, 2021. (28), 37-47. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.04>
13. Малащук О., Руденко О. Оцінка якості вод Південного Бугу в межах Хмельницької області та біотехнологічні шляхи їх очищення. Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Сільськогосподарські науки, 2021. 23 (95), 122-127. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9518>



14. Шахман І. О. Екологічна оцінка якості води середньої течії річки Південний Буг за гідрохімічними показниками. Тарійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / ДВНЗ “ХДАУ”. Херсон: Видавничий дім “Гельветика”, 2020. Вип. 113. С. 260–266.
15. Shakhman I., Bystryantseva A. Water Quality Assessment of the Surface Water of the Southern Buh River Basin by Complex Indices. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 22, Is. 1, P. 195–205.
16. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об’єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення : Наказ Міністерства охорони здоров’я України від 02.05.2022 № 721. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text>
17. ДСанПіН 2.2.4–171–10. Державні санітарні норми та правила “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
18. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання. К., 2007.
19. Демографічна ситуація у Миколаївській області. Експрес-випуск (уніфікований) Головного управління статистики у Миколаївській області. 2022. URL: [http://db.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile\\_c\\_files/pasport.files/pasport/48\\_uk.htm#02](http://db.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile_c_files/pasport.files/pasport/48_uk.htm#02)
20. Звіт про використання води за формою 2ТП\_водгосп (річна). Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області URL: [https://mk-vodres.davr.gov.ua/basseynova\\_rada](https://mk-vodres.davr.gov.ua/basseynova_rada)
21. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2022 році. Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html>
22. План управління річковим басейном Південного Бугу 2025-2030 (проект). Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-pivdenного-bugu>
23. Вишневський В. І., Куций А. В. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ: Накова думка, 2022. – 252 с.
24. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу / В.К. Хільчевський, Р.Л. Кравчинський, О.В. Чунар'єв. – К. : Ніка-Центр, 2012. – 180 с.
25. Магась Н.І. Вплив природних та антропогенних чинників на формування якості поверхневих вод Південного Побужжя. Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти. Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції. Київ: КПІ ім. Сікорського. 2019. с. 136-137.
26. Trokhymenko G., Magas N., Shumilova O., Klochko V. (2023). Analysis of surface water quality indicators in the Dnipro-Bug Estuary region in the first months after the destruction of the Kakhovka hydroelectric power station dam. *Journal Environmental Problems*, 8(4), 231–240. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2023.04.231>
27. Трохименко Г.Г., Магась Н.І. Оцінка впливу затоплення територій після руйнування греблі Каховської ГЕС на якість поверхневих вод у Миколаївській області. Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг : колективна монографія / за ред. проф. Мальованого М. С. Електрон. дан. Київ : Яроченко Я. В., 2023. с. 200-210. DOI <https://doi.org/10.51500/7826-38-4>

УДК 502.1:[006.063:658.782:631.147:338.439.5](477)"20"  
DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.36>

## СЕРТИФІКАЦІЯ – НЕВІД’ЄМНА СКЛАДОВА РИНКУ ОРГАНІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ В УКРАЇНІ

Петровська М.А., Петровський С.В.

Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів  
[petrovskamyr@gmail.com](mailto:petrovskamyr@gmail.com), [sv.petrovskiy@gmail.com](mailto:sv.petrovskiy@gmail.com)

Для сприяння поширення локального виробництва і споживання органічної продукції доцільно підвищити рівень обізнаності споживача щодо неї. У статті з’ясовано поняття «сертифікація», «екологічне маркування», «органічна продукція». Розглянуто стандарти серії ISO 14020, які лежать в основі екологічної сертифікації та маркування, вказують на екологічні характеристики та переваги продукції. Охарактеризовано три типи екологічного маркування. Зокрема, екологічне маркування I типу, базоване на національному стандарті ДСТУ ISO 14024:2018, є орієнтиром для кінцевого споживача у тому, що він використовує більш безпечну для здоров’я продукцію з поліпшеними функціональними характеристиками. Екологічну сертифікацію і перевірку продукції на відповідність конкретним вимогам провадить незалежний акредитований орган. У разі підтвердження відповідності екологічним критеріям, на три роки видається екологічний сертифікат. Україна має власний знак екологічного маркування «Зелений журавлик» і Центр екологічної сертифікації та маркування Всеукраїнську громадську організацію «Жива планета», визнану Глобальною мережею екологічного маркування (Global Ecolabelling Network, GEN). На її території діють знаки екологічного маркування різних країн, що входять до GEN.

Дослідження свідчать, що понад 30% українських споживачів готові обирати екологічно сертифіковані продукти, позначені українським знаком екомаркування «Зелений журавлик». З’ясовано, що знання про органічні продукти обмежуються розумінням про відсутність шкідливих хімічних речовин, а друга їхня складова – сертифікація та інспектування – не актуалізована у свідомості опитаних (48%). Цікавість до теми органічної продукції проявили 88% респондентів. Найбільше їх турбує як відрізнити органічну продукцію від неорганічної (50%). Інформацію про органічну сертифікацію і маркування бажає отримати 33% опитаних.

У статті наголошено, що сертифікація є невід’ємною складовою ринку органічної продукції, яку провадять із дотриманням вимог законодавства. Стандарти, на відповідність яким її здійснюють, поділяють на три групи: основоположні міжнародні, національні та приватні. У 2023 р. запущено Реєстри органів сертифікації та операторів у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції. ТОВ «Органік Стандарт» – перший орган, акредитований відповідно до українського законодавства для проведення інспекційно-сертифікаційних робіт. *Ключові слова:* сертифікація, стандарт, екологічне маркування, органічна продукція, маркувальні знаки.

### **Certification is an integral part of the market of organic products in Ukraine. Petrovska M., Petrovskiy S.**

To promote the spread of local production and consumption of organic products, it is advisable to raise consumer awareness of them. The article defines the concepts of «certification», «environmental labelling», and «organic products». The article considers the ISO 14020 series standards, which are the basis for environmental certification and labelling, indicating the environmental characteristics and benefits of products. The article describes three types of environmental labelling. In particular, environmental labelling of type I, based on the national standard DSTU ISO 14024:2018, is a guideline for the end consumer to use healthier products with improved functional characteristics. Environmental certification and testing of products for compliance with specific requirements is carried out by an independent accredited body. If compliance with environmental criteria is confirmed, an environmental certificate is issued for three years. Ukraine has its eco-labelling mark, the Green Crane, and the Centre for Environmental Certification and Labelling of the All-Ukrainian NGO Living Planet, which is recognised by the Global Ecolabelling Network (GEN). Environmental labelling marks of various GEN member countries are valid on its territory.

Studies show that more than 30% of Ukrainian consumers are ready to choose environmentally certified products marked with the Ukrainian eco-labelling mark «Green Crane». It was found that knowledge about organic products is limited to the understanding of the absence of harmful chemicals, and the second component of organic products – certification and inspection – is not relevant in the minds of respondents (48%). 88% of respondents showed interest in the topic of organic products. They are mostly concerned how to distinguish organic products from non-organic ones (50%). The information on organic certification and labelling is requested by 33% of respondents.

The article emphasises that certification is an integral part of the organic market, which is carried out in compliance with the requirements of the law. The standards for compliance with which it is carried out are divided into three groups: fundamental international, national and private. In 2023, the Registries of certification bodies and operators in the field of organic production, circulation and labelling of organic products were launched. The Organic Standard LLC is the first body accredited under Ukrainian law to carry out the inspection and certification work. *Key words:* certification, standard, environmental labelling, organic products, labelling marks.

**Постановка проблеми.** Ринок органічної продукції є сукупністю соціально-економічних відносин у сфері обміну, завдяки чому здійснюють реалізацію товарів. Без ринку, а саме попиту і пропозицій,

неможливо досягти основної мети будь-якої підприємницької діяльності – отримання прибутку.

Сьогодні на багатьох товарах можна побачити фрази або символи на зразок «еко», «екологічний»,

«натуральний», «екологічно чистий», «екологічно безпечний», «зелений», «дружній до природи», «натуральний», «фермерський» тощо. Але в більшості випадків їхнє використання є необґрунтованим, маркетинговою хитрістю. Така продукція українського походження, як біокефір, натуральний сік, натуральні снеки тощо є органічними лише за своєю назвою. Якщо споживач хоче бути впевненим у тому, що заявлена виробником «екологічність» чи «органічність» відповідає дійсності, він має надавати перевагу саме сертифікованій продукції. При цьому варто відрізнити екологічне маркування від органічного.

**Актуальність дослідження.** Розвиток органічного виробництва в Україні, на відміну від інших країн Європи, характеризується мало розвинутою культурою споживання органічної продукції. Обізнаність про органічні продукти є високою, проте поверхневою, обмежується трактуванням органічних продуктів як продуктів без хімії. Для того, щоб стимулювати попит на органічну продукцію, доцільно пояснити покупцеві в чому її головна перевага, як вона не лише покращує якість життя, а й сприятливо впливає на довкілля. Сертифікація є корисним інструментом для підвищення довіри виробника, адже демонструє, що продукція відповідає потребам споживача.

**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 держзрес-трації 0123U102092.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Екологічне маркування має відповідну сферу застосування, принципи та процедури присвоєння, вимоги до органів з оцінювання та встановлення критеріїв оцінки. Відповідно до них в Україні з 2003 року розвиваються програми екологічного маркування, як незалежні та добровільні системи оцінювання екологічних характеристик і переваг товарів і послуг різних категорій. У 2011 р. затверджено Постанову Кабінету Міністрів України № 529 «Технічний регламент з екологічного маркування», згідно якої застосування екологічного маркування є об'єктом державного регулювання, яку скасували у січні 2018 р.

Перехід на європейську систему незалежної сертифікації в Україні включили до Угоди про Асоціацію з ЄС. Українське законодавство, що регулює сферу сертифікації, зокрема екологічної, приведено у відповідність до міжнародних та європейських норм. Екосертифікація в Україні є добровільною. Відповідність продукції встановленим екологічним критеріям підтверджується сертифікатом екологічного маркування ДСТУ ISO 14024.

З 2018 року в Україні діє закон «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції», який забороняє маркування продукції державним логотипом для органічної продукції або використання у маркуванні позначень та написів «органічний», «біодинамічний», «біологічний», «екологічний», «органік» тощо будь-якими мовами, за відсутності сертифіката, що засвідчує відповідність процесу виробництва продукції та її обігу вимогам законодавства, передбачає штрафи і вилучення такої продукції з продажу контролюючими органами. Щоб отримати дозвіл на органічне маркування, продукт має пройти сертифікацію в міжнародних сертифікаційних органах FiBL, Control Union або в українського – Organic Standard.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** 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. Для сприяння споживанню органічної продукції доцільно підвищити рівень обізнаності щодо неї.

**Новизна.** У статті наголошено на відмінностях екологічної та органічної сертифікації та маркування. Зокрема, екосертифікація та екомаркування в Україні є добровільними. Відповідність продукції встановленим екологічним критеріям підтверджується сертифікатом екологічного маркування ДСТУ ISO 14024. А органічна сертифікація є обов'язковою діяльністю для підтвердження органічної продукції, яку провадять із дотриманням вимог законодавства [1].

**Методологічне або загальнонаукове значення.** У процесі дослідження використано загальнонаукові та спеціальні методи. Під час аналізу нормативно-правового забезпечення сертифікації та маркування органічної продукції застосовано групування як метод наукового дослідження. Історичний метод допоміг охарактеризувати основні етапи розвитку екологічної та органічної сертифікації та маркування. Графічні методи дослідження застосовано для отримання глибшого розуміння споживача органічної продукції. Логічні узагальнення використано при формулюванні висновків.

**Викладення основного матеріалу.** Сучасний ринок продукції пропонує безліч товарів різного призначення та якості. Підвищення екологічних стандартів якості життя стимулює розвиток екологічного

маркетингу. Орієнтуючись на продукцію, позначену екологічним маркуванням, споживач робить свідомий вибір на користь продукції з поліпшеними характеристиками щодо її впливів на довкілля та здоров'я протягом життєвого циклу.

Екологічне маркування в Україні є одним з інструментів державної екологічної політики згідно з законом України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [2], що реалізує Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, і впроваджується за єдиною з ЄС схемою міжнародного стандарту I типу [3].

Екологічне маркування (en – environmental label), екологічна декларація (en – environmental declaration) – це твердження, в якому зазначено екологічні аспекти певної продукції чи послуги. Серія стандартів ISO 14020 стосується різноманітних підходів до застосування екологічних декларацій та маркувань, що вказують на екологічні характеристики та переваги продукції. Зокрема, ДСТУ ISO 14020:2003 Екологічні маркування та декларації. Загальні принципи встановлює принципи, якими варто керуватися при розробленні та використанні екологічних маркувань та декларацій [4].

Вирізняють три типи екологічного маркування. Екологічне маркування типу I (належить до програм «екомаркування», згідно з якими третя сторона – державний орган, недержавна організація чи приватна компанія – встановлює вимоги до категорії продуктів або послуг і дає змогу придатним продуктам або послугам мати свій знак чи символ. До цього типу маркування належить ДСТУ ISO 14024:2018 Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та процедури. Стандарт встановлює принципи та методи, застосовні для розроблення програм екологічного маркування типу I, включаючи вибір категорій продукції, її екологічних критеріїв та функціональних характеристик, а також для оцінювання та демонстрування відповідності. Цей стандарт також установлює процедури сертифікації для присвоєння екологічного маркування. Сертифікація – це процедура письмового засвідчення третьою стороною відповідності продукції встановленим вимогам [5]. Саме екологічне маркування I типу є орієнтиром для кінцевого споживача, що він використовує більш безпечно для здоров'я продукцію з поліпшеними функціональними характеристиками.

Екологічне маркування типу II охоплює «ситуації», коли виникає потреба у стандартах щодо екологічного маркування, які вимагають розглядати усі належні аспекти життєвого циклу продукції. Екологічні самодекларації можуть подавати виробники, імпортери, дистриб'ютори чи будь-які особи, які хочуть мати певні переваги завдяки таким твердженням. Екологічні твердження стосовно продукції може бути представлено у вигляді формувань,

символів чи зображень на етикетках, прикріплюваних до продукції чи пакування, або їх може бути подано в документації на продукцію, технічних бюлетенях, рекламних матеріалах, у мережі телемаркетингу, а також у цифрових чи електронних засобах інформації, таких як Інтернет. Для екологічних самодекларацій суттєвим є запевнення в надійності інформації. До цього типу маркування належить ДСТУ ISO 14021:2016 Екологічні маркування та декларації. Екологічні самодекларації (екологічне маркування типу II). У стандарті подано пояснення до окремих термінів, зазвичай, використовуваних в екологічних твердженнях, а також встановлено вимоги щодо їхнього використання. У ньому також описано загальну методологію оцінювання та перевіряння екологічних самодекларацій і конкретні методи оцінювання та перевіряння деяких наведених у стандарті тверджень [6]. II тип засвідчує лише якусь конкретну екологічну характеристику продукції.

Екологічне маркування типу III створене для надання максимально повної інформації, яка характеризує вплив продукції на довкілля протягом її повного життєвого циклу. Ця інформація є у вигляді кількісних показників екологічних впливів (енергоємність, споживання водних та інших ресурсів, викиди/скиди, обсяги відходів) до обраної одиниці продукції певної категорії на всіх етапах її життєвого циклу. До цього типу маркування належить ДСТУ ISO 14025:2008 Екологічні маркування та декларації. Екологічні декларації типу III. Принципи та процедури [7].

Принципи, вимоги та настанови щодо повідомлення про екологічні аспекти та потенційний вплив на довкілля продукту містить ДСТУ ISO 14026:2018 Екологічні маркування та декларації. Принципи, вимоги та настанови стосовно обмінювання інформацією щодо впливу діяльності людини на довкілля [8].

ДСТУ ISO/TS 14027:2018 Екологічні маркування та декларації. Розроблення правил щодо категорії продукції містить принципи, вимоги та настанови щодо розроблення, перегляду, реєстрації та оновлення правил категорії продукції в рамках екологічної декларації типу III або програм вуглецевого сліду, які базуються на основі ОЖЦ відповідно до ISO 14040 та ISO 14044, а також ISO 14025, ISO 14046 і ISO/TS 14067 [9].

Екологічну сертифікацію і перевірку продукції на відповідність конкретним вимогам провадить незалежний акредитований орган. З цією метою замовник повинен надати виконавцю зразки своєї продукції, наявні документи, інформацію про весь життєвий цикл продукту – походження сировини, виробництва, пакування, транспортування, зберігання, утилізації тощо. У разі, якщо відповідність екологічним критеріям підтверджена, видається екологічний сертифікат, який є підставою для укладання угоди між

його користувачем (власником бренду) та органом з оцінки відповідності на надання права застосування екологічного маркування I типу. Все частіше приватні компанії і органи влади віддають перевагу учасникам тендерів чиї товари і послуги пройшли екосертифікацію або марковані екологічними знаками. Окрім цього, виробники користуються конкурентною перевагою на українському, європейському та міжнародному ринках; мають можливість брати активну участь у зеленому переході, сприяючи досягненню амбіцій України як кандидата у члени ЄС щодо нульового забруднення тощо.

Україна має власний знак екологічного маркування «Зелений журавлик» і Центр екологічної сертифікації та маркування Всеукраїнська громадська організація (ВГО) «Жива планета», визнаний Глобальною мережею екологічного маркування (Global Ecolabelling Network, GEN), де об’єднані близько 80% існуючих екомаркувань. GEN є всесвітньою мережею регіональних і національних систем екологічної сертифікації та маркування згідно ISO 14024 (програм екологічного маркування I типу), а також асоційованим членом Міжнародної організації стандартизації (ISO) та партнером Програми ООН з навколишнього середовища (UN environment). Оскільки Україна є частиною екоспільноти, то на її території діють знаки екологічного маркування різних країн, що входять до GEN.

ВГО «Жива планета» вже надала свою екологічну марку таким українським виробникам, як ТМ «Поділля» (5 найменувань екологічно сертифікованої води питної артезіанської «ЕКО»), ТОВ з іноземними інвестиціями «Чиста Вода» (вода питна негазована «Clearwater» «Чиста Вода» оброблена, штучно-йодована та штучно-фторована), ПрАТ «МКЗ «Регіна» (вода мінеральна «Регіна» сильногазована та не газована), ТОВ «Гормолзавод» (молочні продукти), ПП «Еко-молпродукт» (молоко згущене), ТОВ «ПРАЙМ СНЕК» (сири сухі спінені), ТОВ «Благотрейд» (повітряні зерна кукурудзи), ТМ «Олейна» (олії соняшникові в асортименті). Щодо ТМ «Олейна», то первинну сертифікацію продукції провели у 2013 р. за схемою ДСТУ ISO 14024. З часом перелік сертифікованої продукції розширювався і в 2019 р. відбулась планова повторна сертифікація, оскільки екологічний сертифікат видають на 3 роки. Екологічно сертифіковані олії ТМ «Олейна» виробляють на заводі ПрАТ П «ДЮЕЗ» у м. Дніпро з соняшникового насіння. Вони не містять ГМО, а також ароматизаторів, барвників, консервантів, стабілізаторів, підсилювачів смаку і аромату. На виробництві не застосовують небезпечні хімічні речовини та технології, здатні вплинути на природну корисність натуральної сировини високої якості. Окрім того, впроваджена та сертифікована система управління безпекою харчових продуктів згідно з ДСТУ ISO 22000:2005 та екологічного управління згідно ДСТУ ISO 14001:2015. Екологічна спрямованість підпри-

ємства закріплена в екологічній політиці, основними цілями якої є економити енергетичні та інші ресурси, зменшувати впливи на довкілля та дотримуватись вимог екологічних стандартів [10].

Споживачі та замовники можуть бути впевнені, що сертифіковані товари містять менше небезпечних речовин, мають менший вплив на довкілля, утворюють менше відходів, що сприяє підвищенню рівня відповідальності компаній. За результатами опитування Євробарометра у вересні–жовтні 2017 р. 32% споживачів в ЄС зазначили, що екологічне маркування відіграє важливу роль під час прийняття рішення про покупку, а в опитуванні в лютому–березні 2021 р. 22% європейських респондентів заявили, що обирають лише продукти з екологічним маркуванням [3]. Опитування Onlinedasher свідчать про те, що 72% американців за останні п’ять років віддають перевагу продуктам з екомаркуванням, з них 55% готові платити за такі продукти більше. Подібні тренди мають місце і в Україні. Дослідження, проведене у лютому 2020 р. кафедрою маркетингу Київського державного торговельно-економічного університету, свідчить, що понад 30% споживачів готові обирати екологічно сертифіковані продукти, позначені українським знаком екомаркування «Зелений журавлик» [11]. Сучасний споживач вирізняється вдумливим вибором, віддає перевагу безпечній та якісній продукції, піклується про своє здоров’я та стан довкілля і, як наслідок, обирає натуральні, чисті від сторонніх домішок та екологічно безпечні органічні продукти, підтверджені маркувальними знаками.

Згідно дослідження, проведеного для об’єднання «Органічна ініціатива» [12], знання про органічні продукти обмежуються розумінням про відсутність шкідливих хімічних речовин, а друга їхня складова – сертифікація та інспектування – не актуалізована у свідомості опитаних. При наявності підказки що таке органічна продукція, 80% вважає, що то продукція вирощена натуральним чином без хімії і 79% – екологічно чиста. Про те, що обов’язковою її складовою є органічна сертифікація та маркування, відповіли 52% респондентів (рис. 1). Цікавість до теми органічної продукції проявили 88% опитаних. Найбільше їх турбує як відрізнити органічну продукцію від неорганічної (50%). Інформацію про органічну сертифікацію і маркування бажає отримати 33% опитаних.

Стандарти, на відповідність яким провадять сертифікацію органічних виробництв і продукції, поділяють на три групи: основоположні міжнародні; національні та приватні. Органи сертифікації проходять акредитацію відповідно до закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» від 17 травня 2001 року № 2407-III [13]. Станом на 2020 р. в Україні працювали 23 органи сертифікації, 20 з яких включені до офіційного переліку органів сертифікації в органічній сфері для України



Рис. 1. Знання цільової аудиторії про органічні продукти

Джерело: побудовано на основі [12]

відповідно до Регламенту ЄС № 1235/2008, 9 мають право сертифікувати відповідно до стандартів США (NOP), 2 – відповідно до стандартів COR (Канада) та 13 – відповідно до стандартів Bio Suisse (Швейцарія) [14].

25 травня 2023 р. ТОВ «Органік Стандарт» став першим органом, який акредитовано відповідно до українського законодавства про органічне виробництво, обіг та маркування органічної продукції для проведення інспекційно-сертифікаційних робіт [15], внесений в офіційний Державний реєстр органів сертифікації у сфері органічного виробництва та обігу органічної продукції в Міністерстві аграрної політики та продовольства України. Розпочато сертифікацію за новим стандартом ISCC – глобальної система сертифікації сталого розвитку [16].

Реєстраційний код Органік Стандарт, як органу сертифікації за вимогами законодавства України, для продуктів українського походження: UA-ORGANIC-001. Стандарт «Органічне законодавство України» відкриває доступ на ринки України та є базовим і обов'язковим для можливості використовувати термін «органічний» при маркуванні продукції в Україні. Гарантією органічності продукту є логотип органічного стандарту на упаковці та відповідний сертифікат. За кордоном найбільш поширене маркування – емблема «євролист», а в Україні – коло, в якому жовтий і блакитний кольори зливаються, утворюючи зелений листок, а під зображенням розміщено надпис: «ОРГАНІЧНИЙ ПРОДУКТ» або англійською «ORGANIC PRODUCT» [17].

Статус органічної може отримати лише продукція, яка пройшла весь шлях від поля чи ферми до прилавка з дотриманням низки вимог: органічні методи землеробства та тваринництва, органічна

сировина, органічні компоненти та технологічний процес. Отриманий сертифікат потрібно щорічно підтверджувати, проходити переатестацію. З цією метою у 2023 р. підтверджено спеціальні знання 31 інспектора у сфері органічного виробництва та/або обігу органічної продукції, яких внесено до Реєстру органів сертифікації.

Запуск реєстрів у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції – це ще один важливий крок розвитку органічного сектору економіки, що сприятиме наповненню органічною продукцією, яка маркована українським державним логотипом, полиць вітчизняних магазинів. Станом на березень 2024 р. 177 сертифікованих операторів працюють відповідно до вимог законодавства України у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції [18].

**Головні висновки.** Під впливом споживчого попиту та конкурентного середовища виробники змушені досягати вимог добровільних екологічних стандартів і системно працювати над поліпшенням екологічних характеристик продукції, удосконалюючи технологію та модернізуючи виробництво. Екологічне маркування є одним із надійних інструментів переходу до сталого виробництва через споживчий попит. Стандарт «Органічне законодавство України» відкриває доступ на ринки України та є базовим і обов'язковим для можливості використовувати термін «органічний» при маркуванні продукції.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Інтеграція в міжнародну торгівлю має сильний потенціал для стимулювання зростання попиту органічної продукції в Україні. У руках споживача потужна зброя – вибір, за який

змагаються органічні корпорації, а маркетингові компанії шукають способи, щоб завоювати прихильність. Окрім забезпечення якісними та безпечними сертифікованими органічними продуктами харчування, вибір сприятиме протидії основним

екологічним проблемам: зміні клімату, втраті біорізноманіття та екосистемних послуг, деградації земель, забрудненню повітря, води, ґрунту тощо; розвитку сільських територій, підвищенню зайнятості і добробуту населення.

### Література

1. Петровський С. В., Городняк І. В. Нормативно-правові засади органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції в Україні. Київський економічний науковий журнал. № 3. Київ: Видавничий дім «Гельветика», 2023. С. 122–128. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2023-3-18>.
2. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року від 28.02.2019 № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 28.03.2024).
3. Берзіна С. Екомаркування в Україні. URL: <https://business.diia.gov.ua/cases/sistematizacia-biznes-procesiv/ekomarkuvanna-v-ukraini> (дата звернення: 28.03.2024).
4. ДСТУ ISO 14020:2003 Екологічні маркування та декларації. Загальні принципи.
5. ДСТУ ISO 14024:2018 Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та процедури (ISO 14024:2018, IDT).
6. ДСТУ ISO 14021:2016 Екологічні маркування та декларації. Екологічні самодекларації (екологічне маркування типу II) (ISO 14021:2016, IDT).
7. ДСТУ ISO 14025:2008 Екологічні маркування та декларації. Екологічні декларації типу III. Принципи та процедури (ISO 14025:2006, IDT).
8. ДСТУ ISO 14026:2018 Екологічні маркування та декларації. Принципи, вимоги та настанови стосовно обмінювання інформацією щодо впливу діяльності людини на довкілля (ISO 14026:2017, IDT).
9. ДСТУ ISO/TS 14027:2018 Екологічні маркування та декларації. Розроблення правил щодо категорії продукції (ISO/TS 14027:2017, IDT).
10. Реєстр чинних екологічних сертифікатів. URL: <https://www.ecolabel.org.ua/reestr-sertifikativ> (дата звернення: 28.03.2024).
11. Врятуй планету: що таке екологічне маркування і чому воно так важливе. URL: <https://chas.news/current/vryatui-planetu-i-priskor-porazku-rosii-scho-take-ekomarkuvannya-i-chomu-vono-tak-vazhlive> (дата звернення: 28.03.2024).
12. Презентація PowerPoint (organicinitiative.org.ua). URL: [https://organicinitiative.org.ua/wp-content/uploads/2022/10/Doslidzhennia\\_spozhyvachiv\\_Webinar\\_5.11.pdf](https://organicinitiative.org.ua/wp-content/uploads/2022/10/Doslidzhennia_spozhyvachiv_Webinar_5.11.pdf) (дата звернення: 28.10.2023).
13. 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: 28.10.2023).
14. Дослідження органічного ринку України 2019–2020. URL: [https://organicinfo.ua/Market\\_study\\_2019-2020\\_web.pdf](https://organicinfo.ua/Market_study_2019-2020_web.pdf) (дата звернення: 30.01.2023).
15. Інформаційний портал OrganicInfo. URL: <https://organicinfo.ua/stages/> (дата звернення: 28.10.2023).
16. Історія сертифікаційної компанії України. URL: <https://organicstandard.ua/aboutus/history> (дата звернення: 28.03.2024).
17. Органічне законодавство України. URL: <https://organicstandard.ua/standards/organic-law-of-ukraine> (дата звернення: 28.10.2023).
18. Реєстри у сфері органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reiestry-u-sferi-orhanichnoho-vyrobnystva-obihu-ta-markuvannya-orhanichnoi-produktsii> (дата звернення: 28.03.2024).

---

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

---

**Адамова Ганна Вячеславівна (Харків)** – науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

**Атаєв Сергій Вікторович (Дубно)** – кандидат технічних наук, експерт II категорії, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій, Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», провідний інженер-проектувальник у частині забезпечення безпеки життя і здоров'я людини, захисту навколишнього природного середовища;

**Бакалова Алла Володимирівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

**Берія Віталій Джонійович (Київ)** – аспірант кафедри екології та зоології, Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Бех Ігор Іванович (Київ)** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

**Білецький Олег Олександрович (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Блажівська Ольга Якубівна (Львів)** – бакалавр кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

**Блажівський Олег Якубович (Львів)** – магістр кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

**Бондар Олександр Богданович (Тернопіль)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони, Західноукраїнський національний університет;

**Бондар Олександр Іванович (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, Заслужений діяч науки і техніки України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Босюк Альона Сергіївна (Харків)** – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Буяльська Наталія Павлівна (Чернігів)** – кандидат технічних наук, доцент, харчових технологій та екології, Національний університет «Чернігівська політехніка»;

**Верба Діана Дмитрівна (Кривий Ріг)** – студентка IV курсу природничого факультету, Криворізький державний педагогічний університет;

**Вижива Антон Миколайович (Львів)** – еколог, Товариство з обмеженою відповідальністю «Нордік-Буд»;

**Власенко Олег Васильович (Київ)** – аспірант кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Войтків Петро Степанович (Львів)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

**Волошин В'ячеслав Степанович (Дніпро)** – доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Приазовський державний технічний університет;

**Воротін Валерій Євгенович (Київ)** – доктор наук з державного управління, професор, завідувач кафедри публічного управління, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Гандзюра Володимир Петрович (Київ)** – доктор біологічних наук, професор кафедри екології та зоології, Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Горбенко Наталія Євгенівна (Львів)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ботаніки, деревниознавства та недревних ресурсів лісу, Національний лісотехнічний університет України;

**Гриник Георгій Георгійович (Лодзь, Польща)** – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісівництва, Філія Університету Лодзі в Томашові Мазовецькому;

**Гриник Олена Миколаївна (Секоцін Стари, Польща)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент відділу екології лісу, Науково-дослідний інститут лісового господарства;

**Грицюк Наталія Вікторівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

**Гудзенко Володимир Миколайович (Черкаси)** – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, керівник відділу, Товариство з обмеженою відповідальністю «НВФ «Урожай»;

**Дмитруха Тетяна Іллівна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет;



**Дюдяєва Ольга Анатоліївна (Херсон)** – старший викладач кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю. В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет; сертифікований експерт з експорту продукції до ЄС;

**Жадан Наталія Миколаївна (Миколаїв)** – начальник, Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області;

**Заїменко Наталія Василівна (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії наук України, директор, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Національної академії наук України;

**Залуський Дмитро Михайлович (Київ)** – здобувач, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Іваненко Ігор Борисович (Київ)** – кандидат хімічних наук, Заслужений природоохоронець України, проректор із інноваційного та технологічного розвитку, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Іваненко Костянтин Миколайович (Чернігів)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій та екології, Національний університет «Чернігівська політехніка»;

**Іванов Євген Анатолійович (Львів)** – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

**Іванюк Олена Володимирівна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Іващенко Ірина Вікторівна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

**Іващенко Тарас Григорович (Київ)** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Ільїна Валентина Григорівна (Одеса)** – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

**Каберник Володимир Олегович (Київ)** – аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

**Кагукіна Анастасія Максимівна (Житомир)** – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Кірейцева Ганна Вікторівна (Житомир)** – кандидат економічних наук, доцент, докторант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Кобрюшко Олександр Олексійович (Кривий Ріг)** – військовослужбовець, кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри ботаніки та екології, Криворізький державний педагогічний університет;

**Ковров Олександр Станіславович (Дніпро)** – доктор технічних наук, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

**Ковтунов Олександр Володимирович (Київ)** – аспірант кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Кондакова Тетяна Сергіївна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет;

**Косенкова Ірина Дмитрівна (Харків)** – студентка II курсу, Навчально науковий інститут «Механічної інженерії та транспорту» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Костенко Ігор Андрійович (Чернігів)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій та екології, Національний університет «Чернігівська політехніка»;

**Котюк Людмила Анатоліївна (Житомир)** – доктор біологічних наук, професор кафедри екології факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

**Кравчук Таїса Валеріївна (Житомир)** – асистент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Куракова Наталія Олександрівна (Київ)** – аспірантка кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Курганевич Людмила Петрівна (Львів)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

**Лапань Оксана Володимирівна (Київ)** – Phd з біології, асистент кафедри екології, Національний авіаційний університет;

**Левчик Наталія Яківна (Київ)** – кандидат біологічних наук, науковий співробітник, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Національної академії наук України;

**Лопушанська Марія Романівна (Львів)** – аспірантка кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка, еколог, Товариство з обмеженою відповідальністю «Нордік-Буд», голова комітету оцінки впливу на довкілля та стратегічної екологічної оцінки, Асоціація професіоналів довкілля «РАЕВ»;

**Льодок Віталій Сергійович (Київ)** – провідний інженер відділу ландшафтного будівництва, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Національної академії наук України;

**Магась Наталія Іванівна (Миколаїв)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Маленко Яна Вячеславівна (Кривий Ріг)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри ботаніки та екології, Криворізький державний педагогічний університет;

**Маркіна Людмила Миколаївна (Київ)** – доктор технічних наук, професор кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Мачульський Григорій Миколайович (Чернігів)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедрою лісового господарства та агротехнологій, Національний університет «Чернігівський колегіум імені Т. Г. Шевченка»;

**Машков Олег Альбертович (Київ)** – доктор технічних наук, професор кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Мельник Євген Євгенович (Харків)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник сектору екології лісу, Український ордена «Знак пошани» Науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького;

**Мовчан Микола Михайлович (Київ)** – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Можарівська Інна Анатоліївна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Моторна Тетяна Василівна (Одеса)** – аспірант кафедри водних біоресурсів та аквакультури, Одеський державний екологічний університет;

**Нестер Анатолій Антонович (Хмельницький)** – доктор технічних наук, доцент кафедри будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет;

**Нікітін Павло Сергійович (Одеса)** – аспірант кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський державний екологічний університет;

**Нонік Людмила Юрївна (Житомир)** – аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Оводенко Тамара Сергіївна (Київ)** – аспірант кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Ольшевський Сергій Валентинович (Київ)** – доктор технічних наук, доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем, Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

**Онищук Ірина Петрівна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Пацева Ірина Григорівна (Житомир)** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Петровська Мирослава Андріївна (Львів)** – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

**Петровський Святослав Володимирович (Львів)** – аспірант кафедри маркетингу, Львівський національний університет імені Івана Франка;

**Петрусенко Валентина Павлівна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики, Національний авіаційний університет;

**Печений Володимир Леонідович (Київ)** – аспірант кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Пикало Сергій Володимирович (с. Центральне)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Полив'ян Юлія Володимирівна (Київ)** – випускниця, Національний авіаційний університет;

**Попіль Надія Іванівна (Київ)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу ландшафтного будівництва, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Національної академії наук України;

**Присяжний Володимир Ілліч (Київ)** – докторант, аспірант кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, начальник, Національний центр управління та випробувань космічних засобів;

**Разно Микола Русланович (Харків)** – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Романчук Луїза Михайлівна (Житомир)** – головний фахівець лабораторії моніторингу, агрохімічної паспортизації та підвищення родючості ґрунтів, Житомирська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»;

**Романчук Людмила Донатівна (Житомир)** – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Руденко Валерій Петрович (Чернівці)** – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри економічної географії та екологічного менеджменту, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;

**Руденко Світлана Степанівна (Вінниця)** – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки та екології, Донецький національний університет імені Василя Стуса;

**Руденко Степан Валерійович (Дніпро)** – кандидат географічних наук, докторант кафедри зоології та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Рутта Олена Валеріївна (Херсон)** – асистент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Скрипка Ганна Іванівна (Київ)** – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу квітково-декоративних рослин, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Гришка Національної академії наук України;

**Супрунчук Володимир Ілліч (Київ)** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Сушко Злата Леонідівна (Дніпро)** – магістр кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

**Титаренко Андрій Ігорович (Харків)** – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Тихомирова Тетяна Сергіївна (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Томашевська Алла Михайлівна (с. Центральне)** – завідувачка лабораторії патентно-кон'юнктурних досліджень, економіки та інтелектуальної власності, Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Трофімов Ігор Леонідович (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії і хімічної технології, Національний авіаційний університет;

**Туз Руслан Васильович (Миколаїв)** – начальник відділу водного кадастру та техногенно-екологічної безпеки, Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області;

**Фролов Валерій Федорович (Київ)** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури;

**Хом'як Іван Владиславович (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Хом'як Оксана Іванівна (Фрайбург)** – аспірант, Інститут маркшейдерії та геодезії Фрайберзького гірничо-технологічного університету;

**Цибуля Сергій Дмитрович (Чернігів)** – доктор технічних наук, професор, директор, Навчально-науковий інститут технологій Національного університету «Чернігівська політехніка»;

**Циганок Людмила Василівна (Львів)** – президентка, Асоціація професіоналів довкілля «РАЕВ»;

**Чернишенко Олена Ярославівна (Тернопіль)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри агробіотехнологій, Західноукраїнський національний університет;

**Черняк Лариса Миколаївна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет;

**Шацило Євгеній Геннадійович (Житомир)** – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Шевченко Роман Юрійович (Київ)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Шекк Павло Володимирович (Одеса)** – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри водних біоресурсів та аквакультури, Одеський державний екологічний університет;

**Шестопалов Олексій Валерійович (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

**Шумик Микола Іванович (Київ)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи (ландшафтне будівництво), завідувач відділом ландшафтного будівництва, Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка Національної академії наук України;

**Юрченко Тетяна Василівна (с. Центральне)** – кандидат сільськогосподарських наук, завідувачка відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла Національної академії аграрних наук України.

## НОТАТКИ

Наукове видання

# ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

2(53)

- *Інноваційні технології у сфері захисту довкілля*
- *Екологічний моніторинг*
- *Екологія урбаністичних систем*
- *Управління відходами*
- *Екологія земельних ресурсів*
- *Екологія і виробництво*
- *Екологія водних ресурсів*
- *Агроекологія*
- *Захист рослин*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*
- *Зміна клімату*
- *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](http://www.ecoj.dea.kiev.ua)  
e-mail: [info@ecoj.dea.kiev.ua](mailto:info@ecoj.dea.kiev.ua)

Видавничий дім «Гельветика»

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.  
Україна, 65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1  
Тел. +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Підписано до друку 21.03.2024. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.  
Ум. друк. арк. 32,32. Тираж 100. Замовлення № 0624/406.  
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета